



ФГУП ВСЕРОССИЙСКИЙ НИИ ГИГИЕНЫ
ТРАНСПОРТА РОСПОТРЕБНАДЗОРА

В.А. Капцов, В.Н. Дейнего

ЭВОЛЮЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ: ВЗГЛЯД ГИГИЕНИСТА

Под редакцией
член-корр. РАН М.Ф. Вильк и В.А. Капцова



Москва
2021

УДК 617.7-001.15
ББК 56.7
А20

Капцов В.А., Дейнего В.Н.

А20 Эволюция искусственного освещения: взгляд гигиениста / В.А. Капцов, В.Н. Дейнего; под ред. М.Ф. Вильк, В.А. Капцова. – М.: РАН, 2021. – 632 с.

В книге представлены современные вопросы эволюции искусственного освещения, изменения формы (паттерна) спектрально-энергетических характеристик света и их влияние на функционирование зрительного анализатора человека, его здоровье, здоровье последующих поколений и окружающую среду, создания оптимальной цветовой и световой среды на рабочих местах основных профессий, профилактических мероприятий, направленных на снижение общего и зрительного утомления в процессе работы, сформулированы основные законы гигиены света.

Книга предназначена для врачей-гигиенистов, профпатологов, офтальмологов, специалистов службы охраны труда, врачей медикосоциальной экспертизы, студентов медицинских и технических вузов.

ISBN 978-5-907366-44-2

Оглавление

Предисловие редакторов.....	6
Введение.....	14
Глава 1. Изменение взглядов гигиениста на характеристики световой среды в процессе эволюции источников света.....	30
Раздел 1.1. Светотехника и гигиена.....	33
1.1.1. Законы (постулаты) гигиены, их роль в разработке профилактических мероприятий.....	46
1.1.2. Расширенная интерпретация гигиенических постулатов для характеристики современной световой среды.....	49
Раздел 1.2. Философия гигиениста и характеристики световой среды.....	61
Раздел 1.3. Гигиена и методы «доказательной медицины».....	67
1.3.1. Адекватные биологические модели для ускоренной оценки состояния сетчатки глаз и прогнозирования отложенных негативных эффектов от воздействия избыточной дозы синего света.....	67
Раздел 1.4. Гигиена и принципы медицинской деонтологии.....	69
Раздел 1.5. Дефицит электронов как основа патогенеза электронзависимых заболеваний клеток.....	75
Раздел 1.6. Гигиенические особенности влияния света естественных источников на человека.....	87
1.6.1. Солнечный свет и его влияние на глаза и здоровье человека.....	89
1.6.1.1. Правила приема солнечных ванн и их проекция на спектрально-энергетические характеристики солнечного света. Эффект «бабочки Илия».....	96
1.6.1.2. Пространственно-временные законы проявления солнечного света.....	98
1.6.1.3. Спектрально-энергетические характеристики солнечного света, их «особые точки» и области избыточной дозы синего света... ..	100
1.6.1.4. Гигиенические нормы и правила комфортного освещения.....	103
1.6.2. Лунный и звездный свет.....	109
1.6.3. Поляризация солнечного и лунного света.....	116
Раздел 1.7. Естественные (адекватные) механизмы защиты глаза от солнечного света.....	127
Раздел 1.8. Биохимия соединительной ткани и роговицы.....	153
1.8.1. Роль металлов в метаболизме соединительной ткани.....	153
1.8.2. Методы фильтрации и ограничения энергетики светового воздействия.....	158
1.8.3. Хрусталик как защитный фильтр от «синего» света.....	160
1.8.4. Сетчатка и ее система защиты.....	179
1.8.5. Витамины, обладающие антиоксидантным действием.....	193
1.8.6. Эффект «меланопсинового удержания сужения зрачка» как защита глаза от избыточной энергии света.....	197
1.8.7. Защитные функции водянистой влаги и стекловидного тела.....	215
1.8.8. Изменение сосудистой оболочки глаза японского перепела Coturnica Japonica в зависимости от спектрального состава освещения.....	225
1.8.9. «Желтое пятно» как элемент защиты от синего света.....	231
1.8.9.1. Зависимость накопления липофусцина в клетках ретиального пигментного эпителия от уровня содержания ретиальных оксикаротиноидов.....	240
1.8.10. Клетки Мюллера как элемент защиты от синей части спектра.....	244

1.8.11. Волоконно-оптический подход к функционированию колбочек	248
1.8.12. Влияние на временную задержку восприятия цвета.....	250
1.8.13. Мелатониновая защита клеток глаза от окислительного стресса ...	253
1.8.14. Антиоксидантный эффект.....	253
1.8.15. Амакриновые клетки и оптическая ось глаза	254
1.8.16. Влияние естественного освещения на здоровье, работоспособность и производительность труда человека	267
1.8.17. Влияние естественного освещения на здоровье, работоспособность и производительность труда школьников.....	276
Раздел 1.9. Гигиенические особенности спектра искусственных источников и адекватность естественных механизмов защиты глаз.....	283
1.9.1. История освещения дошкольных учреждений и школ	288
1.9.2. Люминесцентные лампы и влияние их света на здоровье и работоспособность человека	322
1.9.2.1. <i>Влияние избыточной дозы синего света на здоровье и работоспособность человека</i>	332
1.9.3. Светодиоды и их влияние на работу зрительного анализатора человека.....	338
1.9.3.1. <i>Функциональное состояние зрительного анализатора при использовании традиционных и светодиодных источников света</i>	345
1.9.4. Оценка избыточной дозы синего света в спектре светодиодных ламп.....	356
1.9.5. Особенности восприятия цвета в искусственной световой среде	356
1.9.6. Уличная световая среда и ее влияние на здоровье человека	361
Раздел 1.10. Источники отображения информации	366
1.10.1. Подсветка мониторов персональных компьютеров и её влияние на работу зрительного анализатора.....	366
1.10.2. Подсветка мониторов персональных компьютеров и ее влияние на здоровье оператора и его работоспособность	371
1.10.3. Особенности восприятия световых сигналов светодиодных светодиффузоров.....	375
1.10.3.1. <i>Особенности восприятия глазом человека красного света ...</i>	375
Глава 2. Механизмы воздействия искусственной световой среды на основные системы человека	409
Раздел 2.1. Восприятие света и цвета зрительным анализатором	411
2.1.1. Современная парадигма восприятия света	411
Раздел 2.2. Окислительный стресс и антиоксиданты: проявление Q-закона ..	422
2.2.1. Синтез и функция мелатонина: эволюционная история животных и растений	424
2.2.2. Антиоксидантная система защиты ганглиозных клеток сетчатки глаз: мелатонин — глутамат — свет	429
2.2.3. Амакриновые клетки и свет.....	433
2.2.4. Защитная роль мелатонина и ганглионарные клетки сетчатки.....	433
2.2.5. Влияние ближнего инфракрасного облучения и оптика человеческого тела.....	434
Раздел 2.3. Оптика человеческого тела	437
2.3.1. Критический порог содержания синего света ночью	451
2.3.2. Ближний ультрафиолет и детское зрение	452
2.3.3. Защитный эффект солнечного света и активного отдыха в профилактике близорукости	455

2.3.3.1. Основные механизмы защитного эффекта	456
Раздел 2.4. Эффект «меланопсинового креста»	458
2.4.1. Механизм сужения зрачка	461
2.4.2. Уровни освещенности, реакция клеток ipRGC и миопия	462
2.4.3. Диаметр зрачка и восприятие цвета в искусственной световой среде	464
2.4.3.1. Оценка дискомфорта точечных светодиодных источников света	471
Раздел 2.5. Синий свет и ганглиозные клетки	472
2.5.1. Фотоиндуцированные изменения субклеточных структур ретинального пигментного эпителия перепела Coturnix Japonica	473
Раздел 2.6. Влияние света на иммунную систему	477
Раздел 2.7. Влияние света на систему выработки кортизола	480
2.7.1. Воздействие красного и ближнего инфракрасного света на головной мозг человека	486
2.7.2. Свет и биоритмы головного мозга	489
2.7.3. Воздействие на человека устройств с высокой цвето-яркостной динамикой	506
Глава 3. Совместное действие искусственных источников света и электро-геомагнитной обстановки	518
Раздел 3.1. Градиент-гравитационное воздействие Луны на совместную работу мелатониновой и дофаминергической систем защиты головного мозга и здоровье человека	521
3.1.1. Электромагнитное воздействие на дофаминовую систему головного мозга	526
3.1.2. Люминесцентные лампы как факторы риска транспортных объектов	531
3.1.3. Синий свет в транспортных системах	535
3.1.4. Сравнение светодиодных ламп и их люминесцентных аналогов, применяемых для освещения салонов транспортных средств	539
Глава 4. Гигиенические и экологические проблемы светового загрязнения	546
Раздел 4.1. Проблемы снижения светового загрязнения окружающей среды	546
Раздел 4.2. Световое загрязнение как информационный риск для экосистемы и человека	564
Глава 5. Современные концептуальные конструкции полупроводниковых источников света. Законы гигиены света	580
Глава 6. Современные концептуальные бренды конструкций полупроводниковых источников света. Гигиеническая оценка спектров	595
Глава 7. Концепция построения полупроводниковых источников белого света со спектром, подобным солнечному излучению для биологических объектов	612
Глава 8. Новый проект ГОСТ Р «Метрополитены. Термины и определения» и нерешенные проблемы освещения метрополитена	621
Заключение	630

Предисловие редакторов



История написания этой книги началась в далеком 2012 году, когда институт получил распоряжение Главного Государственного санитарного врача России пересмотреть действующие санитарные правила, регламентирующие освещение на железнодорожном транспорте с перспективой внедрения энергосберегающих источников света, подсветки устройств отображения информации и светодиодных сигнальных приборов.

Даже беглое изучение опубликованных в то время результатов исследований медицинскими центрами охраны здоровья, спектральных характеристик света искусственных источников излучения и их возможного влияния на состояние основных жизнеобеспечивающих функций человека показало, что механическая (директивная) смена поколений энергосберегающих источников света может через непродолжительное время существенно повлиять на популяционное здоровье.

Так, недавние исследования, проведенные в Южной Корее, где массово применяются компактные люминесцентные лампы и светодиодные приборы освещения, показали почти сюрреалистический результат, практически (96,5%) от всех 19-летних мужчин призывного возраста имели миопию [1].

По мере углубления наших знаний о природе естественного и искусственного света расширялось понимание его влияния не только на зрительный анализатор, но и интимные процессы гормональной, сердечно-сосудистой, вегетативной и высшей нервной систем. Сопоставительная оценка спектров естественного и искусственного света, осуществляемая через понятия *минимаксной дозы света* (фотонного потока) той или иной длины волны, с учетом критерия оптимальной достаточности и теории подобия побудила авторов поделиться своим опытом и основными исследованиями, результатом чего явилось настоящее издание, которое является развитием основных положений, изложенных в книге «Цветовое зрение и безопасность движения» (СПМ-Индустрия, 2017 г.).

Особенностью книги является совместное авторство врача-гигиениста и инженера (в области системного анализа причин отказов сложных радиоэлектронных систем и комплектующих изделий), чье содружество позволило рассмотреть проблему с позиций системного подхода (*световая среда – паттерн спектра света – адекватная работа системы защиты зрительного анализатора – поглощение фотонов клетками ткани глаза – деструктивные процессы в клетках ткани и эффективность антиоксидантной системы, глиальной системы защиты, системы нейромедиаторов (глутамата-мелатонина), системы аквапоринов – заболевания человека*

и популяции) и попытаться оценить не только лежащие на поверхности прямые эффекты (например, неадекватный отклик зрачка глаза как элемента защиты зрительного анализатора на спектр энергосберегающих источников света и их избыточную дозу синего света), но и показать реакцию практически всех защитных систем зрительного анализатора и организма в целом.

«Молекулярная машинерия» зрения, увязанная с функциональными системами человека, сформировавшаяся в ходе миллионов лет эволюции в световой среде естественного источника света, невероятно сложна и совершенна [2].

Функционирование этой сложной биоэлектронной системы с элементами биомеханики и сложной межклеточной структурой ликвидации продуктов их распада может быть описано системой дифференциальных уравнений в рамках теории Хаоса, которая гласит, что сложные системы чрезвычайно зависимы от первоначальных условий, и небольшие изменения в окружающей среде могут привести к непредсказуемым последствиям. Базовым понятием этой теории являются понятия «начальные условия» и «самоорганизованная критичность». Самоорганизованная критичность (СОК) – свойство динамических систем, которые имеют точки бифуркации. Поведение в окрестности точки характеризуется тем, что при малом возмущении система может пройти точку бифуркации, тем самым полностью изменив свою модель поведения [3]. В этом аспекте очень важны физико-химические взаимодействия молекул, которые делают возможным возникновение живой материи, а также законы неравновесной термодинамики и самоорганизации молекул, в частности, молекул воды [4], которые с аквапоринами организуют систему действия внешним дестабилизирующим факторам.

Классическими примерами самоорганизованной критичности является фазовый переход, или «песчаная куча». Падающие песчинки на песчаную кучу накапливаются до момента схода лавины. В нашем случае это циклические процессы взаимодействия потока фотонов с клетками сетчатки глаза с накоплением деструктивных биологических микрообъектов (например, «пигмента старости» – липофусцина [5]; астроцитов, которые поглощают поврежденные митохондрии из нервного волокна ганглиозных клеток [6]; накопление воды в клетках из-за неэффективной работы аквапоринов [7, 8] или структурного изменения воды, так как аквапорины пропускают только по одной молекуле воды [9], которые после критического накопления под действием избыточной дозы синего света переводят зрительный анализатор человека из состояния «здоров-зрячий» в состояние «болен-слепой». При этом взаимодействии возникают не только электрические сигналы (потоки электронов и ионов), но и потоки микроэлементов (ионы металлов и газов), биологических веществ, структурных кластеров воды, которые через систему аквапоринов влияют на сложные процессы в клетках сетчатки и склеры глаза, и активность радиальной глии. Радиальная глия – это тот запас, из которого образуются нейроны – основные клетки нервной ткани. Уничтожение этого запаса, а следовательно, невозможность образования новых клеток, – это отправная точка процесса старения согласно астроцитарной теории. Все это вместе со световой нагрузкой определяет начальные условия процесса деградации зрения человека.

Чувствительность к *начальным условиям* более известна в теории Хаоса как «эффект бабочки». Термин впервые был применен в статье «Предсказание: Взмах крыльев бабочки в Бразилии вызовет торнадо в штате Техас», которую в 1972 году написал Эдвард Лоренц для американской «Ассоциации для продвижения науки» в Вашингтоне. Взмах крыльев бабочки символизирует мелкие изменения в первоначальном состоянии системы, которые вызывают цепочку событий, ведущих к крупномасштабным изменениям. В нашем случае чувствительность клеток зрительного анализатора и их митохондрий (ее антиоксидантной системы защиты) к спектрально-энергетическому паттерну света во многом определяет энергетику клеток, их функциональную устойчивость и жизнеспособность в условиях светового стресса. Это определяет взаимоувязанное функционирование и устойчивость процессов электронного переноса при окислительно-восстановительных реакциях в клетках зрительного анализатора, структурах мозга, от которых зависит здоровье человека, его работоспособность и долголетие. Малые изменения в спектрально-энергетическом паттерне света могут увеличить риски возникновения заболевания глаз у целой популяции при уменьшении антиоксидантных ферментов, участвующих в детоксикации клеток эпителия пигмента сетчатки, так как спектр, излучаемый белыми светодиодами (синий кристалл, покрытый желтым люминофором), содержит фотоны с энергиями, превышающими порог эффективности для ферментов, служащих механизмом защиты от окислительного стресса клеток [10].

В общественной медицине именно гигиена занимается вопросами профилактики болезней путем формирования гигиенических условий окружающей среды.

С математической точки зрения – это и есть «начальные условия» в теории Хаоса. **Формирование начальных условий (световой среды обитания) является гигиенической задачей при решении проблемы математического моделирования и прогнозирования индивидуального и популяционного здоровья.** Смена паттерна спектрально-энергетических характеристик искусственных источников света через механизмы его воздействия на глаза уже стала одной из основных причин возникновения эпидемии миопии в мире (рис. 1)

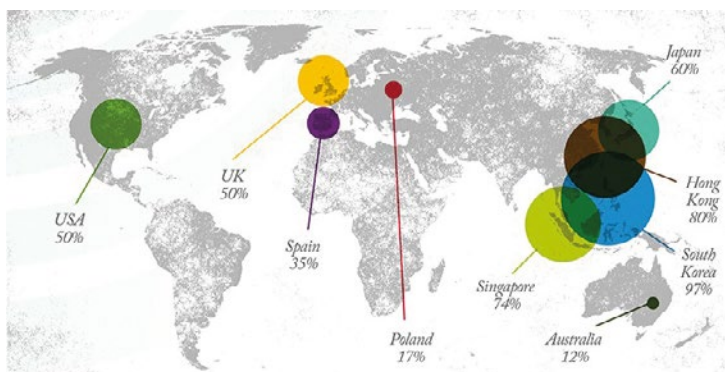


Рис. 1. Распространение миопии в мире [11]

В США частота миопии за последние 30 лет увеличилась в 1,7 раза: с 25 до 42% [12].

К семнадцати годам у 34% школьников в РФ выявляется миопия [13, 14]. Согласно прогнозам, сформированным в 2016 году, к 2050 году почти 50 процентов мира будет близоруким [15]. Хотя генетика играет важную роль в близорукости, ее резкое увеличение указывает на экологические факторы. Несколько исследований показали связь между зрительной работой в световой среде и близорукостью детей [16]. Распространение этого заболевания хорошо коррелирует с массовым применением энергосберегающих и светодиодных ламп и устройств отображения информации [17].

Исследовать «молекулярную машинерию» зрения, в терминах теории Хаоса (самоорганизующейся критичности сложных систем, аттракторов), является увлекательнейшей задачей, т.к. она влияет на все процессы взаимодействия потока фотонов света с материей структур глаза и утилизации продуктов, а также их влияния на эпифиз, гипоталамус и гормональную систему человека. Как показали исследования, эти ключевые железы так же чувствительны к градиент-гравитационным и электромагнитным факторам окружающей среды, что порождает дополнительные последствия для здоровья человека.

Полученные знания могут оказаться полезными для специалистов в области светотехники, оптогенетики, нанотехнологии (например, для нанооптоэлектроники) и градиент-гравитационных систем навигации.

Полученные результаты позволили авторам сформулировать основные законы гигиены света и теоретические основы подобия спектров света [18], а также разработать концепцию создания полупроводниковых источников белого света со спектром, адекватным солнечному излучению, в том числе и в видимом диапазоне [19, 20, 21, 22, 24].

Данная концепция вписывается в общую государственную концепцию природоподобных технологий, принятую в нашей стране, а также является теоретической основой для перспективных разработок полупроводникового источника белого света со спектром, подобным солнечному излучению «spectrum similar to solar radiation (SSSR)» или как у солнца «like the sun (Likesun)», видимом диапазоне длин волн. Концептуальные бренды SSSR и Likesun могут пополнить их мировое многообразие, приведенное на рис. 2.

В ходе эволюционного развития человека в условиях циклического изменения освещенности от естественного источника света сформировалась адекватная система защиты от воздействия его энергетического спектра. Но современные искусственные источники света имеют спектрально-энергетические паттерны, значительно отличающиеся от естественных спектров солнечного света.

В работе, опубликованной в 2003 году [23], специалисты НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина РАМН кандидат медицинских наук З.А. Скобарева и кандидат биологических наук Л.М. Текшева делают следующие выводы:

1. Излучение биологического действия света на человека остается актуальной проблемой гигиены освещения.

2. Экспериментально на клеточном, биологическом и психофизиологическом уровнях доказана биологическая **неадекватность** естественного и искусственного света равной интенсивности, которая сохраняется и при повышении уровня освещенности от искусственных источников света.

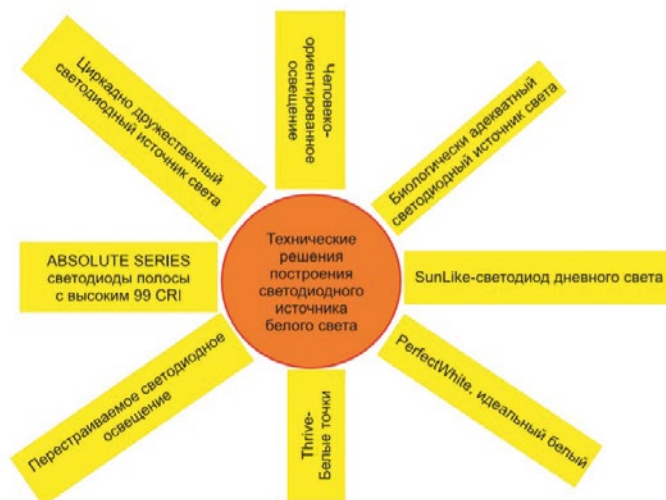


Рис. 2. Корневая диаграмма применяемых запатентованных концептуальных брендов светодиодного освещения [20]

В этой монографии авторы постарались дать оценку:

- адекватности отклика систем защиты зрительного анализатора и организма человека при воздействии энергетического спектра света от искусственных источников, к которым относятся как энергосберегающие лампы (люминесцентные лампы, компактные люминесцентные лампы, светодиодные лампы), так и подсветка устройств отображения информации (мониторы, экраны, светофоры);
- уровням избыточных доз синего, а также дефицита голубого и красного в спектрально-энергетическом паттерне искусственных источников белого света относительно гигиенического спектрально-энергетического паттерна солнечного света;
- влиянию избыточной или недостаточной, дефицитной дозы света, определенной длины волны на функционирование зрительного анализатора человека, эффективность работы антиоксидантной защиты клеток сетчатки и функциональных органов ЦНС, таких как эпифиз и гипоталамус, а также нейронов в схеме «свет – мелатонин – глутамат».

Одним из важнейших выводов авторов является твердая убежденность, что при внедрении новой техники, технологий, приборов и оборудования, несмотря на кажущиеся экономические выгоды (как в нашем случае – экономия электроэнергии), прежде всего должны рассматриваться вопросы воздействия на здоровье ныне живущих и последующих поколений.

Уверенность в безопасности должна обеспечиваться проведением необходимых научных исследований, адекватно обеспеченных как материальной,

так и моральной поддержкой на Государственном уровне через программы первичной профилактики с целью *предупреждения* неблагоприятного воздействия факторов окружающей среды на здоровье. История эволюции искусственных источников света показывает, что вопросы внедрения новых искусственных источников всегда находились под контролем первых лиц государства (королей, царей и президентов). В настоящее время этот контроль возлагается на врачей-гигиенистов, которые комплексно оценивают влияние искусственных источников белого света на здоровье человека.

Эта оценка включает в себя множество критериев:

- визуальных (нормы освещенности, энергетически-частотная характеристика света, комфортность освещения);
- психоэмоциональных (производительность труда, утомление, скорость реакции операторов (машинистов));
- биологических (риски негативного влияния на уровни циркаднозависимых гормонов, таких как мелатонин, вазопрессин, кортизол и инсулин; эффективность антиоксидантной системы защиты; активность структур гематоретинального барьера кровеносной системы стекловидного тела и сетчатки; уровень деградации защитного «желтого пятна»; ускоренного уничтожения запаса радиальной глии; деградации системы аквапоринов);
- энергетических (уровни электромагнитного и геомагнитного излучения).

При этом врачи-гигиенисты комплексно оценивают риски негативного воздействия этих излучений на человека и общественное здоровье. В современных экономических условиях врачу-гигиенисту очень важно для себя лично строго соблюдать принципы профессиональной деонтологии, так как медицинская деонтология рассматривает учение о долге как обязательства не только перед больными, но и перед всем обществом. Именно эта направленность деонтологических проблем имеет особое значение для отечественной гигиенической науки, главной профилактической дисциплины в системе здравоохранения, разрабатывающей научные основы оздоровления условий жизни, труда, быта и отдыха людей, сохранения и улучшения их здоровья.

В книге используется терминология теории Хаоса, фазовых портретов состояния биологических систем, в ней тесно переплетаются теория подобия множеств, закон упорядоченного множества световых стимулов, закон необходимого разнообразия по Уильяму Эшби и закон синергии, а также современные понятия роли света в жизни человека и терминология, взятая из древнегреческого и египетского эпоса, которая подчеркивает особую роль света в жизни предыдущих цивилизаций.

Понимая, что в небольшом издании невозможно в полном объеме отразить все многообразие внешних и внутренних эффектов естественного и искусственного света, авторы с благодарностью примут пожелания по дополнению и расширению разделов книги.

Книга предназначена гигиенистам, профпатологам, специалистам службы охраны труда, студентам и курсантам последипломного обучения медицинских и технических вузов, а также всем заинтересованным в сохранении своего здоровья и здоровья своих детей.

М. Ф. Вильк, В. А. Канцов

Литература к предисловию редакторов

1. Su-Kyung Jung, Jin Hae Lee, Hirohiko Kakizaki, and Donghyun Jee Prevalence of Myopia and its Association with Body Stature and Educational Level in 19-Year-Old Male Conscripts in Seoul, South Korea. IOVS, August 2012, Vol. 53.
2. Фельдман Т.Б., Островский М.А. Фотобиология и фотохимия первичных процессов зрения. Учебно-методическое пособие. – Международный университет природы, общества и человека «Дубна», Кафедра биофизики, Дубна, 2009 г.
3. Подлазов А.В. Теория самоорганизованной критичности – наука о сложности (лекция). <http://mipt.ru/students/organization/mezhpr/archiv/mezhpred2/podlazov.pdf>.
4. Панов А.В. Функциональная биоэнергетика. – Институт молекулярной биологии и биофизики, Академия наук России, Новосибирск, 2017. – С. 324. <http://docplayer.ru/59494089-Funkcionalnaya-bioenergetika.html>.
5. Островский М.А. Парадоксы зрения по капризу природы. // Чудеса и приключения. – 2005. – №2. – С. 12–13.
6. Davis, Chung-ha O.; Kim, Keun-Young; Bushong, Eric A.; Mills, Elizabeth A.; Voassa, Daniela et al. Transcellular degradation of axonal mitochondria // PNAS – 2014 – p. 1404651111
7. Kevin L. Schey, Zhen Wang, Jamie L. Wenke, and Ying Qi Aquaporins in the eye: Expression, function, and roles in ocular disease Biochim Biophys Acta. 2014 May; 1840 (5): 1513–1523.
8. Сукманский О.И., Пасечникова Н.В., Вит В.В., Науменко В.А. Аквапорины (водные каналы): офтальмологические аспекты. // Офтальмолог. журн. – 2013. – №1. – С. 66–73.
9. Alan S. Verkman. Aquaporins at a glance (Аквапорины с первого взгляда 2018). Journal of Cell Science 124 (13). <http://jcs.biologists.org/content/124/13/2107>.
10. Научный комитет по здоровью, окружающей среде и новым рискам SCHEER Предварительное заключение по потенциальным рискам для здоровья человека светоизлучающих диодов (светодиоды) SCHEER принял это мнение в письменной форме 6 июля 2017 года.
11. Richard Gallagher. Myopia Dystopia. Five questions that must be answered on the causes and consequences of near-sightedness By Richard Gallagher Ophthalmologist NOVEMBER/DECEMBER 2013. – С. 16–20.
12. Иомдина Е.Н., Тарутта Е.П. Современные направления фундаментальных исследований патогенеза прогрессирующей миопии. // Вестник Российской академии медицинских наук. – 2014; 69 (34): 44–49.
13. Епишина М.В. Автореферат к. м. н. «Клиническое течение миопии на фоне ортокератологической коррекции и функционального лечения». – М., 2015.
14. Тарутта Е.П., Проскурина О.В., Тарасова Н.А., Маркосян Г.А. Анализ факторов риска развития близорукости в дошкольном и раннем школьном возрасте // Анализ риска здоровью. – 2019. – №3. – С. 26–33. DOI: 10.21668/health.risk/2019.3.03.
15. Holden B.A. et al. 2016. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. Ophthalmology 123 (5): 1036–1042.
16. Huang et al., 2015. The association between near work activities and myopia in children – a systematic review and meta-analysis. PLoS One 10 (10): e0140419.
17. Милушкина О.Ю., Скоблина Н.А., Маркелова С.В., Татаринчик А.А., Бокарева Н.А., Федотов Д.М. Оценка рисков здоровью школьников и студентов при воздействии обучающих и досуговых информационно-коммуникационных технологий // Анализ риска здоровью. – 2019. – №3. – С. 135–143. DOI: 10.21668/health.risk/2019.3.16.

18. Капцов В. А., Дейнего В. Н. Закон необходимого разнообразия и гигиена освещения // Санитарный врач. – № 12. – 2019.

19. Гордиенко В. Р., Дейнего В. Н., Капцов В. А. Светильники-трансформеры с комплексированным полупроводниковым источником света с солнцеподобным спектром излучения. // Полупроводниковая светотехника. – № 4. – 2019. – С. 68–73.

20. Дейнего В. Н., Капцов В. А. Современные концептуальные конструкции полупроводниковых источников света. // Полупроводниковая светотехника. – № 5. – 2019. – С. 38–45.

21. Капцов В. А., Дейнего В. Н. Фотобиологическая безопасность и техническая политика на светодиодном рынке. // Энергосовет. – № 4 (46). – 2016.

22. Капцов В. А., Дейнего В. Н., Уласюк В. Н., Кошиц И. Н. Полупроводниковые источники белого света с биологически адекватным спектром излучения. // Глаз. – № 1. – 2018. – С. 25–33.

23. Скобарева З. А., Текшева Л. М. Биологические аспекты гигиенической оценки естественного и искусственного освещения. // Светотехника. – № 4. – 2003. – С. 7–13.

24. Дейнего В. Н., Капцов В. А. Современные концептуальные бренды конструкций полупроводниковых источников света. Часть 2. Гигиеническая оценка спектров. // Полупроводниковая светотехника. – № 6. – 2019. – С. 42–51.

Введение

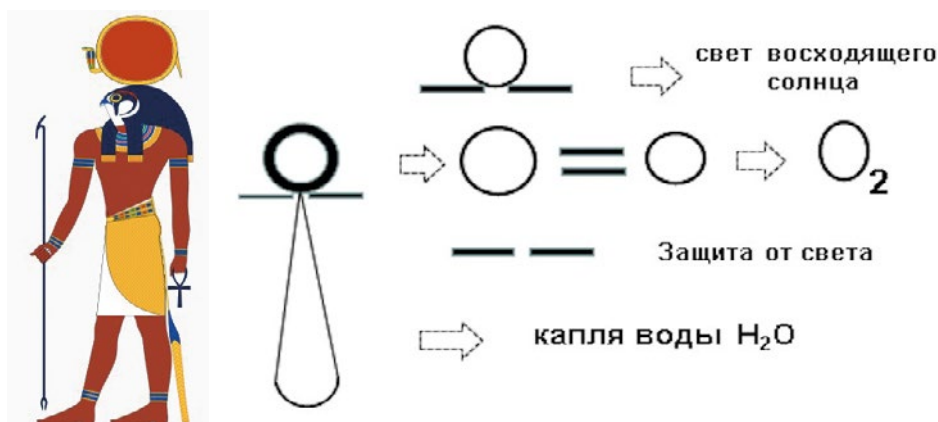
Если кто-нибудь указывает на что-нибудь новое, люди противятся этому со всею силой... Новой истине приходится ожидать долгое время, пока ей удастся проложить дорогу.

Гёте

...Я убедился, что либо не следует сообщать ничего нового, либо придется тратить все силы на защиту своего открытия.

И. Ньютон

Историческая преемственность знаний – очень важный принцип движения в понимании механизмов воздействия света на зрительный анализатор человека и его здоровье в целом. На этот постулат обращает внимание академик Сергей Иванович Вавилов в своей замечательной книге «Глаз и Солнце», в которой оперирует фактами древнеегипетского эпоса. К нему прибегает в своей лекции Джон Маршалл (заслуженный профессор Королевского колледжа в Лондоне) – специалист в области офтальмологии и пионер в области лазерной хирургии глаз [1]. Многовековая история человечества иллюстрирует глубокое понимание человеком влияния естественных источников света не только на его здоровье, но и на его судьбу. Человек, исходя из своего исторического понимания этого влияния, наделил Солнце, Луну и Звезды силой богов и символами, в которых зашифрованы знания о силе воздействия их света. Рассмотрение этого через призму древней египетской и греческой культуры и позволяет дать гигиеническую интерпретацию этим образам и знакам.

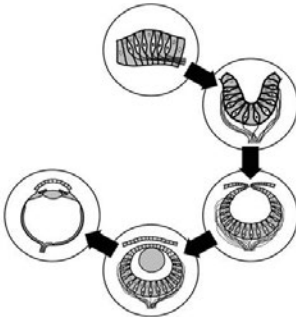
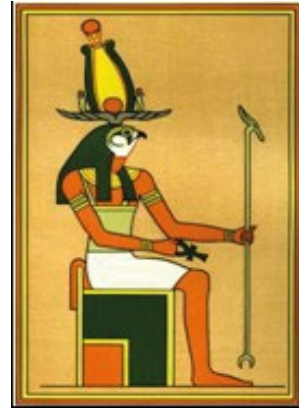


Ра (др.-греч. Ρα; лат. Ra) – древнеегипетский бог Солнца. Змея окормляет Солнце – солнечный свет лекарство и яд. Фотобиологический парадокс зрения, по М. А. Островскому, который говорит о вреде и пользе солнечного света.

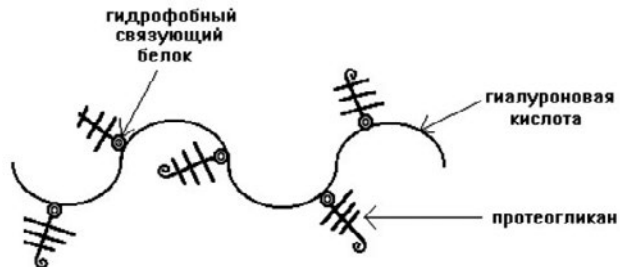
Бог Солнца держит в левой руке «ключ жизни» – символ восходящего солнца и неба (воздуха), тела (воды). Спектр света восходящего (заходящего) солнца – жизнетворящий свет. При этом в нашем контексте элементы «ключа жизни» для глаз означают:

Свет – кислород O_2 (активные формы кислорода) – антиоксидантная защита – вода (водянистая влага).

Гор (бог солнца в зените и бог заходящего солнца). Необходимо рассматривать спектр света солнца в зените и восходящего солнца. В пантеоне Древнего Египта изображался с головой сокола и двумя глазами – лунным и солнечным. Это острота зрения – вблизи и вдали, а также ночное и дневное зрение. Важно положение тела для хорошего наблюдения предмета (посоха) вблизи. Для побед в жизни нужно соколиное зрение и жизнетворящий свет восходящего солнца.



Головной убор шишкообразной формы говорит, что квант энергии поступает через отверстия и поглощается шишкообразным телом, которое находится в голове. Но с точки зрения эволюции глаза это говорит о том, что кванты света участвуют в формировании глаза на ранних этапах его развития. На этапе формирования «камеры обскуры» – простейшего оптического глаза из пигментной ямки, которая сформировалась из пигментного пятна.



Правый глаз Гора – символ Солнца. Спираль – линия энергии – раскручивается, наполняя все живое солнечной энергией. Энергией роста и развития. Линия энергии напоминает спиральное строение протеогликанов, которые образуют промежуточное (основное) вещество соединительной ткани

роговицы и стекловидного тела глаза. Символ *брови* указывает на то, что эта энергия света должна быть ограничена и иметь свои граничные условия для сохранения зоркости зрения, как у сокола. Расширение зрачка при свете – предупреждение о рисках заболевания зрительного анализатора.



– символ птицы сокола и капли. Зрение зависит от оттока влаги глаза. Половина стрелочки указывает на соотношение скоростей ее притока и оттока.



Левый глаз Гора – символ Луны. Сегодня лунный глаз Гора, смотрящий в бессознательное, символизирует удивительную способность заглядывать в глубины человеческой души, возвращать человеку ощущение целостности и внутреннего единства, указывает на влияние света на психоэмоциональное состояние и гормональную систему человека. Открытый зрачок – яркий свет не должен попадать в него в ночное время. Основная проблема – световое загрязнение. Спираль – линии энергии скручиваются. Такой фазовый портрет характерен для всех циклических угасающих процессов в тканях глаза и, в частности, характерен для гормональной системы человека. Символ указывает на связь ночной Луны с эпифизом (шишковидной железой).



Символ формы глаза – петля (узкие места). Функция зрения у обоих глаз может быть нарушена из-за нарушения системы кровоснабжения, водотока и циркуляции потоков органических и неорганических веществ, места переплетения оптического нерва и кровеносной системы сетчатки.



Ра и Гор с головой птицы сокола, с вытянутыми руками в перспективу и шагом в будущее. Глаза птицы имеют аналогичное строение, что и глаза человека. Это указывает на то, что именно глаза птиц могут дать полную информацию о влиянии света на глаза человека и послужить моделью для прогноза состояния зрения при воздействии определенной световой среды.

Гигиеня – богиня здоровья. Она лечила солнечным светом, воздухом и водой. Змеиный яд, так же как и свет, в зависимости от его дозы имеет положительное или негативное воздействие и может стать методологической основой оптимальных параметров полноспектральной световой среды.



Знания о *свете* приближают человека к пониманию великой созидательной силы природы (свет (поток фотонов) – воздух (газ) – вода) и во все века привлекали великие умы человечества.

6-й век до н. э. – Пифагор, 4-й в. до н. э. – Аристотель, 3-й в. до н. э. – Евклид, все они занимались изучением света. Евклид открыл 2 закона геометрической оптики и закон прямолинейного распространения и отражения света.

Архимед около 287–212 гг. до н. э. писал: «Почему вогнутые зеркала, помещенные против Солнца, зажигают подложенный прут?».

Пифагор считал, что тела испускают частицы, благодаря которым мы и видим.

Аристотель выдвинул теорию о том, что свет представляет собой возбуждение среды.

Спустя века и столетия все повторяется на новом витке познания.

И. Ньютон – корпускулярная теория (свет поток частиц – фотонов).

Х. Гюйгенс – волновая теория (свет – волновой процесс, распространяющийся в гипотетической среде эфира).

*Одно из первых открытий Ньютона – разложение солнечного света, проходящего сквозь призму, на основные цвета спектра (цвета радуги). Этот эффект заложил основы измерения спектрального состава белого света от различных искусственных источников. Ньютон первым предложил для получения белого света смешивать **синий и желтый** свет, что легло в основу получения белого света в системе – полупроводниковый кристалл, испускающий синий свет, покрытый желтым люминофором.*

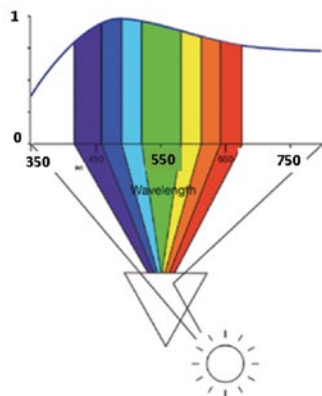


На рис. 1.1 приведен спектральный состав света от солнца, лампы накаливания, галогенной лампы, люминесцентной энергосберегающей лампы и белого светодиода, изготовленного по технологии **желтый** люминофор, возбуждаемый **синим** светом, который излучает полупроводниковый кристалл [2].

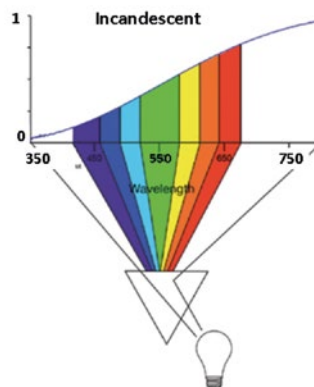
Каждый источник света характеризуется своим паттерном спектра белого света, в рамках которого может менять его коррелированную цветовую температуру.

Паттерн спектра – огибающая спектрально-энергетической характеристики излучения, которое определяется физикой работы источника света.

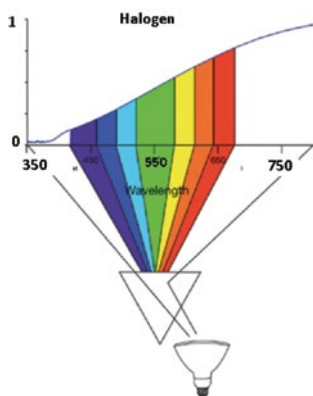
В спектре каждому поддиапазону длин волн соответствует поток фотонов с определенной энергией, таблица 1.1.



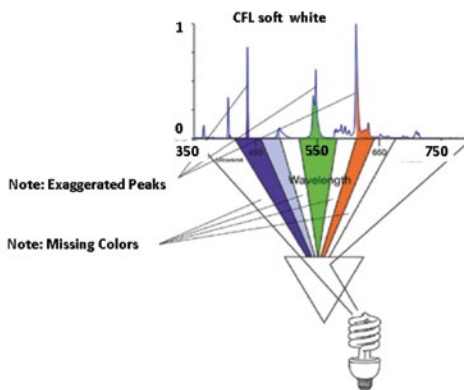
А. Спектр солнечного света.



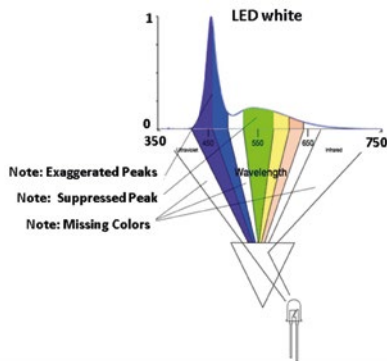
Б. Спектр лампочки накаливания с вольфрамовой нитью. Русский электротехник А.Н. Лодыгин в 90-х годах 19-го века предложил в качестве нити накаливания использовать вольфрам, кроме того, он также начал выкачивать воздух из баллона для увеличения ресурса горячей спирали. Свои идеи он сумел доработать до промышленного образца.



В. Спектр галогенной лампы



Г. Спектр света широко продаваемых компактных люминесцентных ламп



Д. Спектр светодиодного источника света. В 90-е годы прошлого века японские ученые И. Акасаки, Х. Аmano, С. Накамура достигли значительных результатов в исследовании светодиодов на основе нитрида галлия, что позволило осуществить прорыв в создании сверхъярких синих светодиодов, которые покрыли желтым люминофором, и это стало основой светодиодного освещения.

Рис. 1.1. Спектральный состав света от солнца (а), лампы накаливания (б), галогенной лампы (в), люминесцентной энергосберегающей лампы (г) и белого светодиода (д)

Таблица 1.1.

Соответствие частот электромагнитного излучения и цветов

Цвет	Диапазон длин волн, нм	Диапазон частот, ТГц	Диапазон энергии фотонов, эВ
Фиолетовый	380–440	790–680	3,26–2,82
Синий	440–485	680–620	2,82–2,56
Голубой	485–500	620–600	2,56–2,48
Зеленый	500–565	600–530	2,48–2,1
Желтый	565–590	530–510	2,19–2,10
Оранжевый	590–625	510–480	2,10–1,98
Красный	625–740	480–405	1,98–1,68

Соотношения фотонных потоков в поддиапазонах длин волн в рамках спектрального паттерна определяют цветовую температуру света. Для бытовой оценки характеристики спектрального состава света используется понятие «цветовая температура и коррелированная цветовая температура для искусственных источников света». Цветовая температура определяет оттенок излучаемого света, который определяется по шкале Кельвина, построенной на основе цвета свечения раскаленного металла (нити вольфрама) в лампе накаливания. Коррелированная цветовая температура лампы накаливания равна 2 600–2 800 К, что соответствует теплоте (желтому) свечению, а холодный свет – более 6000 К.

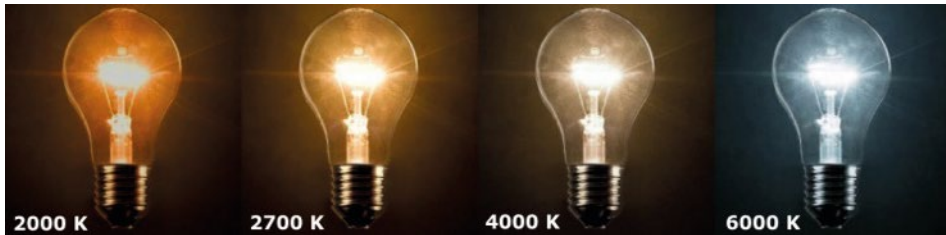


Рис. 1.2. Цветовая температура излучаемого света при различных температурах нагрева нити накала лампы

Источники белого света могут иметь разный паттерн света, но создавать световую среду, которая характеризуется одинаковым значением коррелированной цветовой температуры. Лампа накаливания, компактная люминесцентная лампа и светодиодная лампа могут создавать теплую световую среду, которая характеризуется коррелированной цветовой температурой 2700 К. При такой коррелированной цветовой температуре световая среда от разных по физике работы источников света будет по-разному воздействовать на зрительный анализатор человека и его здоровье в целом.

Из рассмотрения спектров на рис. 1.1 видно, что спектры отличаются по составу и огибающей кривой, которая определяет спектрально энергетическую зависимость, характеризующую источник света и создаваемую им световую среду. При этом каждой длине волне соответствует свой энергетический фотонный поток.

Согласно энергоинформационному подходу при воздействии различных спектров света на «молекулярную машинерию» зрения будут формироваться различные матрицы откликов управляющих сигналов и зрительных образов.

В современных условиях спектр света стал сутью гигиены освещения и предметом исследований его воздействия на зрительные и незрительные эффекты, а также широкого применения отдельных поддиапазонов спектра в медицинских целях.

Человеческая раса развивалась под солнцем и поклонялась ему тысячи лет.

Именно солнечный спектр света сформировал структуру «молекулярной машинерии» зрения, которая в этой световой среде формирует адекватную матрицу откликов управляющих сигналов, зрительных образов и психологических состояний.

В самом деле, наши предки, вероятно, были лучше информированы о свойствах солнечного света, чем мы сейчас. На протяжении истории солнечный свет использовали для профилактики и лечения широкого спектра заболеваний, и некоторые врачи по-прежнему используют лечебные свойства солнечного света с хорошими результатами. Интерес к фототерапии не угасает с конца 19-го века, когда Эдвин Бэббитт опубликовал свою монографию «Принципы света и цвета. Исцеляющая сила цвета». Монография эта была опубликована в 1878 году и вызвала целую волну откликов, к началу 20-го века светотерапия была уже полноценной частью физиотерапии в медицине, однако и сейчас ученые находят все новые области применения для нее в рамках лазерной терапии.

Изучая историю терапии солнечным светом, были обнаружены интересные факты. Потеряны традиции проектирования солнечных домов для профилактики заболеваний и знания врачей, которые практиковали это древнее искусство исцеления, а также традиции архитекторов и инженеров, которые поддерживали врачей, использующих солнечный свет. Люди придерживаются очень разных взглядов на солнечные ванны в зависимости от того, где они живут и где они родились. В 1903 году Нобелевская премия по медицине была присуждена датскому врачу Нильсу Финсену за лечение коротковолновой частью спектра солнечного света. В современное время синонимом терминам «светолечение» и «фототерапия» является термин «квантотерапия», который уже сформировался как самостоятельная перспективная медицинская дисциплина [3].

«Глаз нельзя понять, не зная Солнца. Вот почему глаз – солнечен, по словам поэта» – такими словами заканчивает Сергей Иванович Вавилов свою замечательную книгу «Глаз и Солнце».

Во все времена человек оберегал глаза от интенсивного солнечного света. Интересно, что очками древнеегипетского фараона Тутанхамона были два тончайших спила изумруда, соединенные бронзовыми пластинками, а образцы их находятся в Британском музее. «При ослаблении зрения в старости не остается ничего другого, как только слушать чтение рабов...» – писал Цицерон. Римский император I века до н. э. Нерон любил наблюдать за смертельными боями гладиаторов. Чтобы лучше рассмотреть схватку, он подносил к глазам отшлифованный смарагд (изумруд). Алая кровь уми-

рающего раба при взгляде сквозь камень становилась зеленой. Но Нерон носил изумруд не только ради извращенного эстетства. Вогнутые поверхности камня компенсировали близорукость императора. К тому же изумруд считался амулетом, улучшающим зрение, а зеленый цвет древнеримские лекари, как и сегодняшние, прописывали от усталости глаз. В X веке нашей эры арабский медик Ибн аль-Хайсам первым описал действие шаровидного увеличительного стекла. Он же сделал расчеты и чертежи, обосновывающие пользу подобных стекол для слабовидящих. Первое упоминание о близорукости встречается у Аристотеля (384–322 гг. до н. э.). Он отмечал, что при слабости щурящегося глаза к нему близко подносят то, что хотят увидеть. У Аристотеля впервые встречается и слово «миопс», означавшее «закрывать глаза, мигая», от которого произошел современный термин «миопия». В то время люди много работали либо под палящем солнцем, либо в условиях низкого освещения костра, факела, свечи. Эти источники искусственного света имели значительный провал в области голубого света и выброс в области красного света, что вносило дисгармонию в работу зрительного анализатора.

Современные очки – Tesla Light Wear, по данным специалистов фирмы ZEPTEK IMPACT, защищают от синей дозы в спектре белого света. Они утверждают, что когда луч солнечного света проходит через инновационные запатентованные линзы очков Тесла, он взаимодействует с молекулами фуллерена, приобретает их идеальную симметрию по Фибоначчи и становится гармонизированным и во времени, и в пространстве, т. е. становится гипергармонизированным.

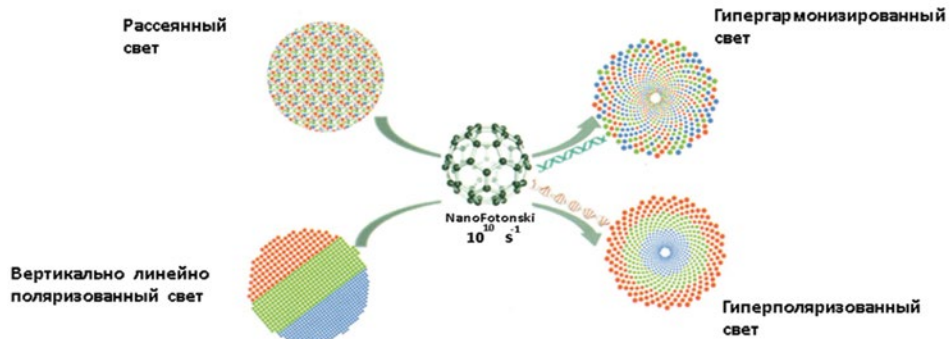


Рис. 1.3. Гиперполяризованный свет и гипергармонизированный свет молекулами фуллерена

Качественная гигиеническая оценка такого типа очков будет дана ниже по тексту.

Изучая историю отношения человека к воздействию солнечного света, нам приоткрылись и стали понятнее проблемы влияния искусственного света на глазные болезни (близорукость, возрастную макулярную дегенерацию, глаукому, катаракту).

Ежегодно в Российской Федерации сорок пять тысяч человек получают статус инвалида по зрению. Эти сведения обнародовали специалисты

из научно-исследовательского института глазных болезней имени Гельмгольца. Всемирная организация здравоохранения бьет тревогу: если не принять срочные меры, то к 2020 году на планете будет 75 миллионов слепых. Прогноз неумолим? Чем больше нагрузок на глаза, а то, что их становится больше, бесспорно, тем стремительнее рост глазных болезней, в том числе миопии и тех, что ведут к слепоте. Всемирная организация здравоохранения разработала «Глобальный план действий по обеспечению всеобщего доступа к здоровью глаз на 2014–2019 гг.», который имеет целью сократить масштабы предупреждаемых нарушений зрения в качестве одной из глобальных проблем общественного здравоохранения и обеспечить доступ к реабилитационным услугам для тех, кто страдает такими нарушениями [4].

На рис. 1.4 приведены результаты прогноза уровня миопии среди населения США по результатам исследования Национального института глаза.

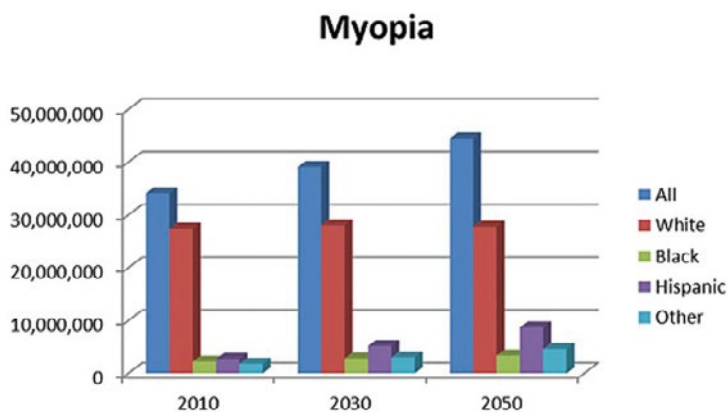


Рис. 1.4. Прогноз близорукости (2010, 2030, 2050 гг.) в США по данным Национального института глаза

В стране, где применяется эффективное люминесцентное освещение и регистрируется высокий уровень светового загрязнения, тратятся огромные деньги на борьбу с миопией и слепотой, уровень которых продолжает расти. Согласно прогнозу (2016 г.), распространенность приобретенной миопии (ПМ) к 2050 году достигнет 5 млрд человек, что составит около 50% населения Земли. Фактически нас ожидает самая массовая эпидемия в истории человечества – «пандемия близорукости». В Центральной, Восточной, Западной и Южной Африке, а также в Океании приобретенная миопия почти достигнет рубежа в 50% от численности населения в регионе. Все остальные части планеты будут иметь более 50% населения с ПМ, с максимумом в Тихоокеанском регионе Азии – 66,4% [5].

Врачи-офтальмологи отмечают, что «пандемия близорукости» грядет на фоне тотальной компьютеризации и массового внедрения энергосберегающего освещения. Данные источники световой нагрузки на глаза имеют избыточную дозу синего света в их спектре.

К поражению глаз и слепоте в ряде случаев ведет и сахарный диабет, который является результатом гормональных расстройств. Работа гормональной системы человека, в частности синтез мелатонина, зависит от уровня освещенности и спектра света. Эффект системы «мелатонин – инсулин» зависит от включения специфических рецепторов двух основных типов, представленных в том числе на мембранах β - и α -клеток островков панкреатической ткани. Специалисты открыто говорят, что диабет – неинфекционная эпидемия XXI века – число заболевших во всем мире стремительно растет, и все чаще от диабета страдает зрение людей молодого возраста.

В этих условиях проблемы гигиены зрения (гигиены освещения) требуют смены парадигмы и своего дальнейшего развития.

Великий Н. И. Пирогов говорил: «Я верю в гигиену. Вот где заключается истинный прогресс нашей науки. Будущее принадлежит медицине предупредительной».

Термин (понятие) «гигиена» происходит от греческого *hygieinos* – «приносящий здоровье». Есть и другая версия происхождения данного термина, связанная с древнегреческой легендой о боге врачевания Асклепии (Эскулапе) – сыне бога Солнца Аполлона. В деле врачевания ему помогали две дочери: Гигиия и Панакея (Панацея). Вследствие того что Гигиия, будучи, по преданиям, богиней здоровья, стремилась прежде всего предупреждать возникновение заболеваний, профилактическое направление в медицине стало ассоциироваться с наукой, названной гигиеной.

Гигиия – изображавшаяся красавицей с чашей в руке, обвитой змеей, – богиня здоровья, лечившая солнцем, водой и воздухом, соблюдением чистоты тела. *Этот гигиенический паттерн для микромира – клетки – звучит так: квант света, внутриклеточный газ (кислород, окись азота, углекислый газ, ионы хлора.), уровень pH и eH воды и потенциал мембраны клетки. Малые флуктуации в составе спектра света, концентрации состава газа, величине pH и eH воды приводят к изменению потенциала мембраны клетки, которые являются кирпичиком построения органа человека. Высокая чувствительность циклических процессов, протекающих в клетках с накоплением деструктивных составляющих, приводит к возникновению масштабных изменений в органах человека и развитию различных болезней. Все пристальнее гигиенисты присматриваются к воде и работе системы аквапоринов, которые имеются во всех клеточных структурах человека.*

В работе «Аквапорины человека: Регуляторы трансклеточного потока воды» [6] приведена общая схема размещения типов аквапоринов в органах человека (рис. 1.5).

Аквапорины имеют структуру «песочных часов», только пропускают не песчинки, а воду по одной молекуле. Столь тонкая их настройка делает их чувствительными к структурному состоянию воды, которое может определяться электромагнитным и другими видами загрязнений окружающей среды человека. Аквапорины, как правило, работают в паре с Na^+/K^+ АТФ.

В структуре аквапорина есть атомы серы, которые служат мишенью для атомов ртутных ингибиторов. То есть ртуть уменьшает производительность

аквапорина по перепуску воды. Аквапорины через управление потоками воды влияют на геометрические размеры элементов оптической системы глаза. К таким элементам относятся роговица, радужка (ирис), хрусталик, стекловидное тело, клетки Мюллера и другие клетки системы глии. Аквапорины управляются циркаднозависимым (светозависимым) гормоном вазопрессинном.

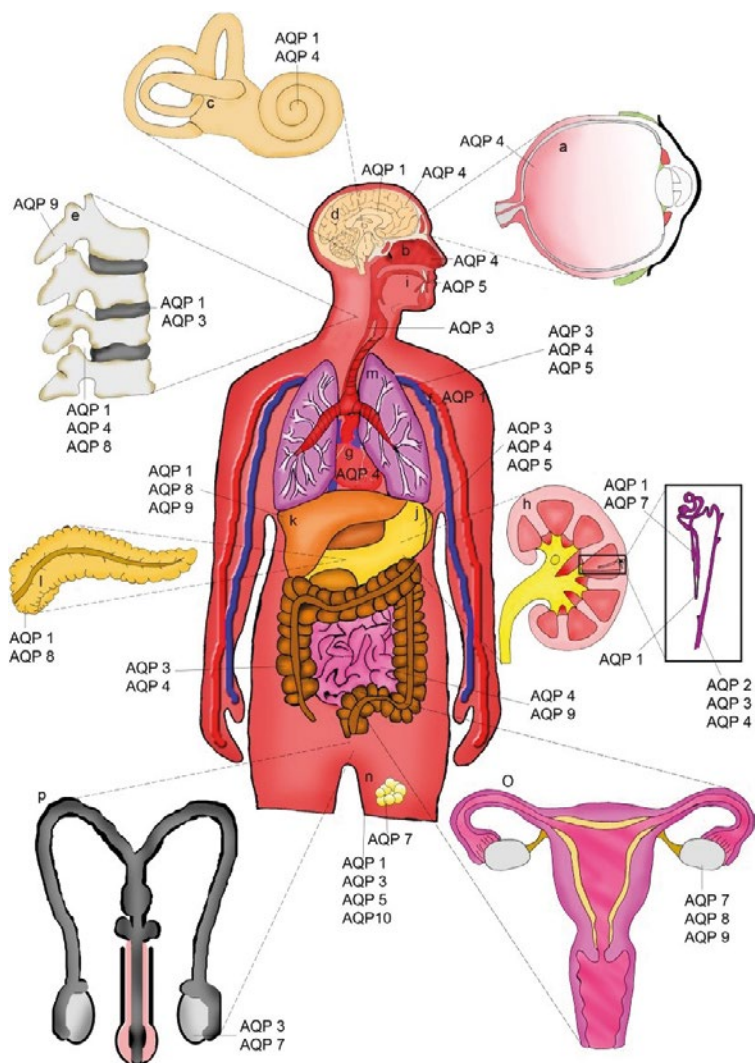


Рис. 1.5. Общая схема размещения типов аквапоринов в органах человека

Другая сестра Панацея лечила лекарствами – родоначальница современного фармацевтического бизнеса. «Чтобы изгнать болезнь или вернуть себе здоровье, людям зачастую легче положиться на помощь целителей, чем пойти по более трудному, но правильному пути – жить разумно и рационально» – Рене Дубос. То есть соблюдать каждый час своей жизни гиги-

енические нормы и требования. Известный хирург Николай Михайлович Амосов, автор системного подхода к здоровью («метод ограничений и нагрузок»), говорил, что *«врачи лечат болезни, а здоровья нужно добиваться самому»*. В нашей модели энергия света – поток фотонов с определенной энергией (или его отсутствие) – является нагрузкой для глаз, которую нужно регламентировать путем ограничения до оптимально достаточного уровня для обеспечения здоровья глаз и организма в целом.

Отсутствие потока фотона с определенной энергией или его ограниченность нарушает гармонию в работе «молекулярной машинерии» зрения. Если сбоят одна система, то дополнительно нагружаются другие системы для обеспечения главной функции зрения и жизни. Нарушается принцип минимаксной стратегии живучести системы.

Древнегреческий эпос формирует мировоззренческую парадигму «свет – HYGIENA – здоровье – жизнь».



Авторское фото при посещении водолечебницы в Карловых Варах

В своих исследованиях по анализу специализированных и интегральных научных подходов к решению гигиенических проблем профилактического здравоохранения академик РАН Юрий Анатольевич Рахманин считает, что со временем понятие «гигиена» эволюционирует и наполнится новым содержанием (рис. 1.6).

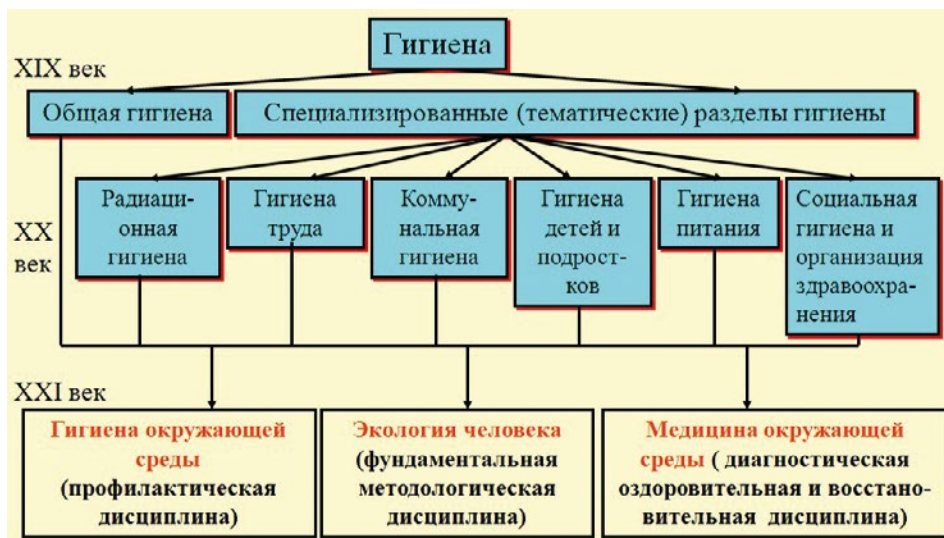


Рис. 1.6. Эволюция внутреннего содержания гигиены (по академику Ю. А. Рахманину)

ГИГИЕНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (Environmental health) – прикладная область науки, направленная на разработку и внедрение государственной системы первичной профилактики с целью *предупреждения* неблагоприятного воздействия факторов окружающей среды на здоровье настоящего и будущих поколений людей.

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА (Human Ecology) – фундаментальная методологическая область науки, изучающая на популяционном уровне основные биологические закономерности и механизмы взаимодействия окружающей среды и человека (связь «среда – здоровье», например «свет – здоровье»).

МЕДИЦИНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (Environmental Medicine) – специальная область медицинской науки, направленная на разработку методов диагностики и лечения заболеваний, вызванных или опосредованных воздействием факторов окружающей среды, а также на укрепление здоровья населения.

Новое содержание подразделов гигиены меняет структуру внешних воздействий. Структура витальных факторов (свет), необходимых для жизни, определяющих взаимосвязь состояния здоровья человека с факторами окружающей среды, необходимыми для сохранения валеостаза (состояние, характеризующее относительное постоянство показателей жизнедеятельности организма), тысячелетиями оставалась неизменной. Однако в последние годы происходит интенсификация антропогенного влияния на биоту. При этом наряду с известными факторами риска жизни и здоровью человека происходят изменения и в структуре витальных факторов, в пределах валеостаза и условий валеокинеза человека (совокупности протекающих в организме процессов).

Солнечный свет как витальный фактор состоит из двух условных частей:

- первая часть – животворящий свет. Недаром еще в Библии говорилось: «Сладок свет и приятно для глаз видеть солнце» (Екклезиаств, 11:7)

- вторая часть – избыточные дозы света, которые за малый промежуток времени воздействия испепеляют все живое. Человек для защиты от этого кратковременного воздействия избыточной дозы света применяет гигиенические методы защиты.

В современном мире человек все больше времени проводит в искусственной световой среде, которая заменяет человеку солнечную среду обитания.

При этом избыточная доза света (синего) и дефицит (голубого и красного) воздействует не кратковременно, как в среде солнечного света, а длительно – от момента просыпания до момента засыпания (рис. 1.7).

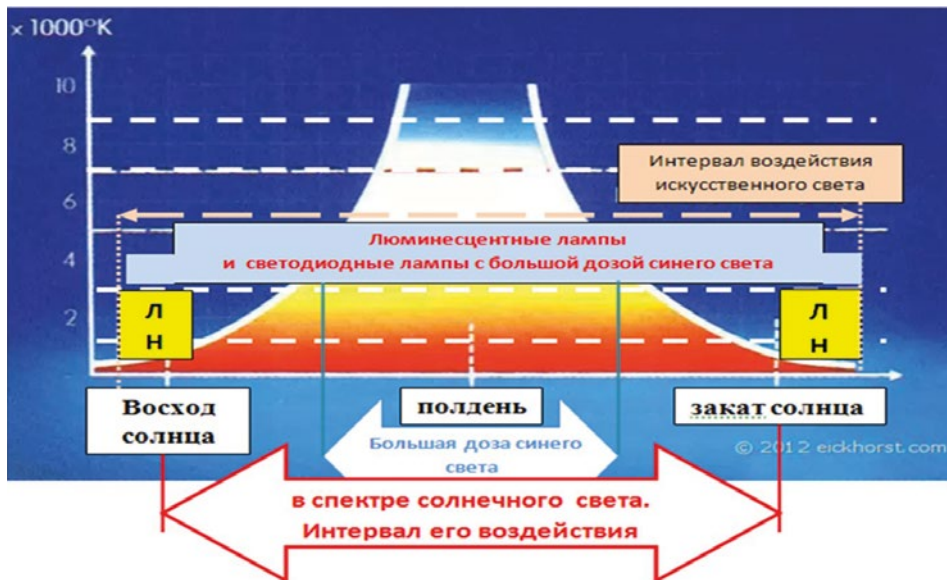


Рис. 1.7. Изменение спектра (цветовой температуры) в течение дня при естественном и искусственном освещении

Негативное воздействие избыточной дозы синего возрастает по мере использования мобильных устройств отображения информации и современных энергосберегающих источников света.

Из вышесказанного следует, что эволюция воздействующих факторов окружающей среды и перераспределение причин болезней человека в сторону неинфекционных заболеваний является движущими силами эволюции гигиены.

При этом оценка гигиенических мероприятий должна проводиться на макроэкономическом государственном уровне. Например, уменьшением доли выплат из бюджета государства его членам по инвалидности, которые не стали ими вследствие проводимой профилактики неинфекционных заболеваний. Или приростом ВВП из-за формирования здорового и успешного поколения молодых людей. Искусственные источники света в значительной степени могут влиять на здоровье и производительность труда людей различных возрастных групп.

Эволюция искусственных источников света вызвала смену гигиенической парадигмы, которая определяла сущность профилактических мероприятий по обеспечению здоровья человека и продолжительности его жизни. Это новая гигиеническая парадигма учитывает не только воздействие на зрительный анализатор спектра светового излучения, но его не зрительное воздействие на организм человека.

Зрительное воздействие – это световое воздействие на сетчатку глаза, которое индуцирует адекватное формирование зрительной (цветовой) информации об окружающем мире в условиях комфортного уровня освещения данным источником света.

Не зрительное воздействие света – это бессознательное управление элементами структурной защиты глаза, а также гормональной и иммунной системами человека.

Источники света, кроме излучения в видимом диапазоне спектра, излучают электромагнитные волны в невидимом диапазоне. К ним относятся низкочастотные и высокочастотные, электромагнитные излучения, а также градиент гравитационных волн от естественных источников света. Совокупность этих излучений влияет на здоровье человека в зависимости от чувствительности его организма, которая определяется эффективностью защитных функций.

Эволюция взглядов гигиенистов состоит в том, что при естественном солнечном освещении профилактические мероприятия гигиены были ориентированы на разработку защитных мероприятий от негативного влияния энергии спектра излучений (света) при высокой цветовой температуре более 5000 К и предупреждение населения о геомагнитной обстановке, которое может менять планы принятия лекарств.

При искусственных источниках света эти мероприятия должны быть направлены на изменение спектрально-энергетических параметров излучения источника в видимом и невидимом диапазонах.

Это значит, что уже при разработке гигиенических требований к искусственному источнику света должны применяться требования по исключению возможного негативного влияния его энергетического спектра на здоровье человека и продолжительность его жизни. А на государственном уровне должны приниматься гигиенические программы по первичной профилактике с целью *предупреждения* неблагоприятного воздействия факторов окружающей среды (света от искусственных источников) на здоровье настоящего и будущих поколений людей.

Основатель современного экологического сознания В.И. Вернадский говорил: «Нет неизлечимых заболеваний, есть недостаток знаний. И старение – это болезнь, которую можно лечить». Сдвиг распределения заболеваний в сторону неинфекционных причин повышает актуальность этого высказывания.

Болезни возникают при наличии их возбудителя (побудителя) и снижении защитных функций организма в условиях заданных внешних воздействий (частотно-энергетического спектра света, уровня освещенности, электромагнитной обстановки). Уменьшение скорости деградации защитных функций организма это и есть суть гигиенических мероприятий по борьбе

с проблемой старения организма. В решении этой проблемы гигиеническая наука продолжает быть методоориентированной, а не проблемно-ориентированной.

Новые революционные достижения в области искусственных источников света ставят перед гигиенистами новые проблемы, которые должны сменить парадигму своих представлений о влиянии электромагнитного излучения (света) на здоровье человека [7].

Вот почему в этой монографии проблемы «света — цвета» и воздействие на здоровье человека спектра электромагнитного излучения будут рассматриваться через призму новой гигиенической парадигмы. Эта парадигма, как нам видится, должна определять современную стратегию создания искусственных источников белого света, руководствуясь лозунгом: **«Все для здоровья человека при исключении возможного вреда ему и окружающей среде»**.

Литература к введению

1. «Blue Light Paradox – Problem or Panacea». <https://www.youtube.com/watch?v=nCPw7N-lkRk> By Professor John Marshall The Blue Light Paradox: Problem or Panacea 2 CPD in Australia | 0.5G in New Zealand | 27 July 2017.

2. Dr Ian Rowbottom Choosing the best light source for your application Technical white paper World Headquarters Lutron Electronics Co., In November 2, 2009.

3. Капаедашов В.И., Петухов Е.Б., Зародников В.С. Квантовая терапия / Под ред. Н.Р. Палеева. Учебное пособие. – М.: ОАО «Издательство «Медицина»», 2004. – С. 336.

4. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data Universal eye health: a global action plan 2014–2019.

5. Brien A. Holden at al., 2016, American Academy of Ophthalmology.

6. Rebecca E. Daya, Philip Kitchen, David S. Owena, Charlotte Blandd, LindsayMarshall, Alex C. Connerc, Roslyn M. Billd, Matthew T. Connera Human aquaporins: Regulators of transcellular water flow *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – General Subjects* Volume 1840, Issue 5, May 2014, Pages 1492–1506.

7. Рахманин Ю.А. Концепция электромагнитной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года (охрана здоровья граждан от воздействия электромагнитных излучений и холодно-плазменных технологий) ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровья» Минздрава России НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина, Заседание Комитета по социальной политике, Совет Федерации ФС РФ, г. Москва, 8 ноября 2018 г.

Глава 1. Изменение взглядов гигиениста на характеристики световой среды в процессе эволюции источников света

Нам не дано предугадать, как слово наше отзовется...

Ф. И. Тютчев

Свет и тьма – философские категории. Еще философ Диоген занимался осмыслением этих категорий (рис. 1.8).



Рис. 1.8. Диоген, решающий задачу освещения в своем жилище (Картина Жан-Леон Жерома «Диоген». Музей искусств Уолтерс Балтимор)

И в прошлом веке, и в настоящее время писатели-философы осмысливают эти категории в своих произведениях. В статье [1.1] рассматриваются философские категории «света» и «тьмы» и их общие и отличительные черты в повести «Котлован» А. Платонова. Особое внимание уделяется художественным средствам, к которым прибегает автор при описании времени суток и других возможных «светотеневых» отношений, связанных со сменой эпох. Онтологическая дихотомия «свет – тьма» является постоянным объектом исследований философии, психологии, религиоведения, лингвистики и литературы. В философии «свет» отождествляется со «знанием, истиной», «тьма», соответственно, – с «невежеством, незнанием». Концепты «темнота» и «свет» взаимозаменяемы и антонимичны. Традиционно в литературе концепт «свет» вербально реализуется лексемами «добро», «благо», «знание», «тепло», «истина». Смысловое ядро категории «тьма» составляют лексемы «мрак», «холод» и даже «смерть». Основными источниками света в литературных произведениях выступают небесные светила, которые выражают отношение к происходящим событиям, становясь голосом автора, желающего придать повествованию особую выразительность или скрыть свое явное присутствие. Для мировой литературы, и русской в частности, характерно использование

искусственных источников света, которые впоследствии стали литературными символами и рассматриваются литературоведами как своеобразные указатели важности происходящих в произведении событий. Для мира поэзии свеча – это один из самых сильных образов: она встречается в стихотворении К. Бальмонта «Свеча горит и меркнет и вновь горит сильней»

*Свеча горит и меркнет и вновь горит сильней,
Но меркнет безвозвратно сиянье юных дней,
Гори же, разгорайся, пока еще ты юн,
Сильней, полней касайся сердечных звонких струн.*

*Чтоб было, что припомнить на склоне трудных лет,
Чтоб старости холодной светил нетленный свет –
Мечтаний благородных, порывов молодых,
Безумных, но прекрасных, безумных – и святых*

в поэзии А. Ахматовой («Страх, во тьме перебирая вещи...»)

*Страх, во тьме перебирая вещи,
Лунный луч наводит на топор.
За стеною слышен стук зловецкий –
Что там, крысы, призрак или вор?*

и Б. Ахмадулиной («Свеча»).

*Всего-то – чтоб была свеча,
свеча простая, восковая,
и старомодность вековая
так станет в памяти свежа.*

*И поспешишь свое перо
к той грамоте витиеватой,
разумной и замысловатой,
и ляжет на душу добро.*

*Уже ты мыслишь о друзьях
все чаще, способом старинным,
и сталактитом стеариным
займешься с нежностью в глазах.*

*И Пушкин ласково глядит,
и ночь прошла, и гаснут свечи,
и нежный вкус родимой речи
так чисто губы холодит.*

Свет свечи и сам образ свечи имеет сильное психологическое воздействие и побуждает переживание сильных эмоций и страстей.

В 1946 году Б. Пастернак напишет одно из своих самых известных стихотворений «Зимняя ночь», в котором образ *свечи* – «центр мироздания». Свет, излучаемый *свечой*, поглощает все вокруг и становится символом безграничной чистой любви. Используя свечу одновременно как обрамление и как ключевой символ, Б. Пастернак возвращается к ее первоначальному глубинному значению как предмету таинства, необходимому атрибуту человеческой жизни на всех уровнях (бытийном и духовном). В романах И.С. Тургенева «Отцы и дети» и «Рудин» появление образа *лампады* неслучайно. В момент гибели Рудин говорит: «Все кончено, и масла в лампаде нет... Смерть, брат, должна примирить, наконец...». Главный герой романа «Отцы и дети» Базаров во время последнего свидания с Одинцовой произносит: «Дуньте на умирающую *лампаду*, и пусть она погаснет». «Затухающая лампада или свеча – символическое изображение конца человеческой жизни».

Позднее этот образ встретится в финальной части «Анны Карениной». За несколько минут до смерти Анна думает: «Все неправда, все ложь, все обман, все зло!...» Поэтому ей и хочется «потушить *свечу*», т.е. умереть. «Отчего же не потушить свечу, когда смотреть больше не на что, когда гадко смотреть на все это?»

В повести «Котлован» А. Платонов выступает продолжателем литературной традиции сопровождения кончины героя или момента сна и покоя исчезновением света и наступлением тьмы («припотушенная лампа освещала бессознательные человеческие лица»). Мать Насти, которую Чиклин неожиданно находит в помещении без окон, где единственным источником света служит *керосиновая лампа*, просит «потушить лампу и повернуть ее (женщину – В. Ш.) на бок», она хочет умереть. Заходя в здание сельсовета, первым предметом, который замечает Чиклин, становится «*самая большая лампа*», предназначенная для проведения заседаний, но в этот момент она освещала мертвецов, лежащих на столе. А. Платонов уточняет, что лампа сельсовета горела до самого утра, и всем было все равно, «что свет, что тьма», тогда как матери Насти, которая готовилась покинуть земной мир, было важно «уйти» при абсолютной темноте. Многослойность повествования, двойственность смысла делают Платонова «одним из самых мистических писателей русской литературы» [1.1].

Никто так не раскрыл тему «свет – тьма» как Александр Блок в стихотворении.



*Ночь, улица, фонарь, аптека,
Бесмысленный и тусклый свет.
Живи еще хоть четверть века –
Все будет так. Исхода нет.
Умрешь – начнешь опять сначала
И повторится все, как встарь:
Ночь, ледяная рябь канала,
Аптека, улица, фонарь.*

10 октября 1912 г.

© Александр Александрович Блок
<https://www.inpearls.ru/>

Но при такой безысходности вспоминаются слова Конфуция: «Легче зажечь одну маленькую свечу, чем клясть темноту».

По мере перехода от естественных источников света к динамично трансформируемому многообразию искусственных источников света изменялись взгляды гигиенистов на обеспечение безопасности зрительного анализатора и здоровья человека в целом.

Раздел 1.1 Светотехника и гигиена

Предмет зрения – видимое. В своих трудах Аристотель отмечал, что – «...Видимое есть цвет. А цвет принадлежит к тому, что видимо само по себе; само по себе не в том смысле, что быть видимым – это существо его, а в том, что оно в самом себе включает причину того, почему оно видимо. Всякий цвет есть то, что приводит в движение действительно прозрачное, и в этом – его природа. Вот почему нельзя *видеть цвета без света*, а всякий цвет каждого предмета видим при свете».

Проблемами света и цвета в настоящее время занимается целый ряд наук и научных дисциплин, каждая из которых изучает свет и цвет с интересующей ее стороны. Физику, прежде всего, интересует энергетическая природа света и цвета, физиологию – процесс восприятия цвета человеческим глазом и превращения его в цвет, психологию – проблема восприятия света и цвета и воздействия их на психику, способность вызывать различные эмоции, биологию – значение и роль света (цвета) в жизнедеятельности живых и растительных организмов. Все это порождает разные концепции взглядов специалистов на процесс восприятия света (рис. 1.9).

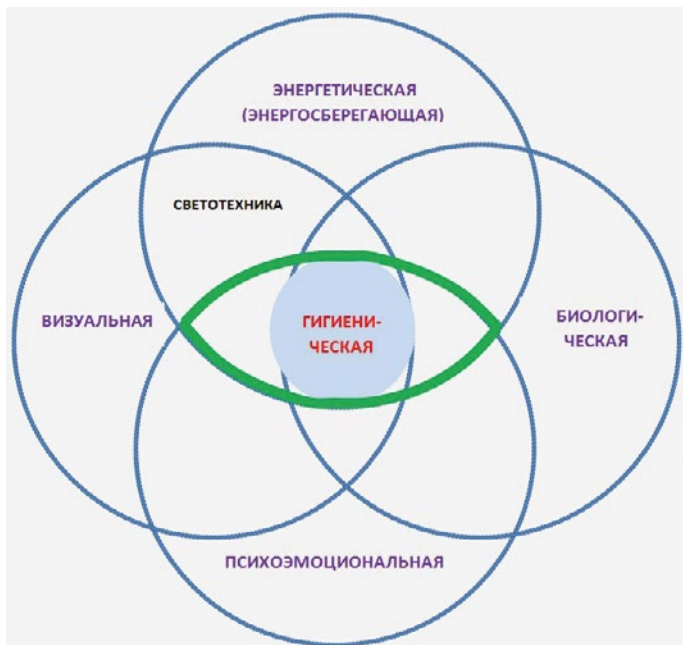


Рис. 1.9. Взгляды специалистов на процесс восприятия света

Все частные концептуальные взгляды интегрирует гигиеническая концепция, но в настоящее время при исследовании энергосберегающих источников света преобладает светотехническая концепция и ее частная реализация – энергосбережение.

Современная светотехника – это наука о свойствах света, возможностях и принципах его использования, а также о новых альтернативных источниках получения света [1.2]. Светотехника как наука *плотно связана с энергетикой, электроникой, оптикой, архитектурой*. Наиболее востребованные и популярные направления светотехники – изучение и разработка световых приборов на основе светодиодов, световой дизайн. В современной науке о свете и цвете важная роль принадлежит и *математике*, с помощью которой разрабатываются методики измерения света и цвета. Этот математический аппарат широко применяется в светотехнике, так как *математические и измерительные модели позволяют сравнивать между собой разные искусственные источники света*.

Светотехника включает в себя также конструкторскую и технологическую разработку источников излучения и систем управления ими, осветительных, облучающих и светосигнальных приборов, устройств и установок, нормирование, проектирование, монтаж и эксплуатацию светотехнических установок. Оптическое излучение все в большей степени используется в современных технологических процессах в промышленности и сельском хозяйстве, становится неотъемлемой частью фотохимических производств, играет всевозрастающую роль в повышении продуктивности животноводства и птицеводства, урожайности растительных культур.

Световая сигнализация является одним из распространенных средств связи, особенно на всевозможных видах транспорта. Эффективное использование света с помощью достижений современной светотехники – важнейший резерв повышения производительности труда и качества продукции, снижения травматизма и сохранения здоровья людей. Светотехническими исследованиями и разработками в нашей стране систематически занимаются многие научные и учебные центры. Среди них:

- Всероссийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический светотехнический институт им. С.И. Вавилова (ВНИСИ, г. Москва);
- Всероссийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт источников света им. А.Н. Лодыгина (ВНИИС, г. Саранск);
- светотехнические лаборатории научно-исследовательских институтов охраны и гигиены труда, кафедры светотехники ряда учебных институтов (Московского ордена Ленина энергетического института, Мордовского Государственного университета им. Н.П. Огарева).

Становление и развитие светотехники неразрывно связаны с прогрессом в области *физиологии зрения*, оптики, учения об электричестве. Большое значение для формирования светотехники имели работы И. Ньютона, И. Ламберта, М.В. Ломоносова, П. Бугера, Т. Юнга, В.В. Петрова, Я. Пуркинье, Г. Гельмгольца. Новая эра в истории развития светотехники открылась с переходом на использование электрических источников света. Ра-

боты А. Н. Лодыгина, Т. Эдисона, П. Н. Яблочкова, приведшие к созданию электрических ламп, послужили основой бурного прогресса светотехники. Важными вехами на этом пути явились разработка и внедрение люминесцентных ламп, газоразрядных ламп высокого давления, галогенных ламп накаливания. Советская и российская светотехническая школа внесла значительный вклад в прогресс мировой светотехники, эти работы:

С. И. Вавилова (люминесценция, воздействие света);

М. А. Шателена (фотометрия, нормирование);

С. О. Майзеля (физические основы процесса зрения);

А. А. Гершуна (теоретическая фотометрия);

П. М. Тиходеева (нормирование, световые эталоны и измерения);

В. В. Мешкова (принципы нормирования и проектирования);

В. А. Фабриканта (теория и создание люминесцентных ламп, открытие принципа действия квантовых генераторов);

Г. М. Кнорринга (принципы светотехнических расчетов и проектирования осветительных установок) – сыграли большую роль в развитии как отечественной, так и мировой светотехнической науки и техники.

Эти ученые видели главной задачей современной светотехники обеспечение *комфортной световой среды* для труда и отдыха человека, а также повышение *эффективности* и масштаба применения света в технологических процессах на основе рационального использования электрической энергии, расходуемой в светотехнических установках, и снижения затрат на их создание и эксплуатацию [1.2].

Однако при каждой смене поколений световых приборов уровень миопии у подрастающего поколения увеличивался в два раза и в ряде стран уже достиг уровня эпидемии [1.3, 1.4].

Из приведенного выше следует, что хотя вопросы гигиены света напрямую не входят в круг проблем светотехники, в последнее время возрастает общественный интерес к этим вопросам в связи с появлением энергосберегающих источников света, *таких как компактные люминесцентные лампы и светодиодные светильники, у которых частотно-энергетический спектр значительно отличается от спектра солнечного света при той же цветовой температуре и уровне освещенности.*

К таким отечественным исследованиям относятся:

– «Сравнительная гигиеническая оценка условий освещения люминесцентными лампами и светодиодами в учреждениях общего образования». Исполнитель работы НИИ Гигиены и охраны здоровья детей и подростков ФГБУ «НЦЗД» РАМН. По результатам исследований написана монография «Гигиенические основы использования светодиодов в системах искусственного освещения» (В. Р. Кучма, Л. М. Текшева, Л. М. Сухарева и др. – М.: Издатель ФГБУ «Научный центр здоровья детей» РАМН, 2013. – 246 с.);

– «Проведение проблемно-ориентированных поисковых исследований в области разработки комплексной методики психофизиологической и гигиенической оценки эффективности осветительных установок со светодиодными источниками света» (Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева»);

– «Исследование эффективности и безопасности для здоровья светодиодных источников света» (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет));

– «Исследования по оценке влияния различных светодиодных светильников на организм человека (работоспособность и психоэмоциональное его состояние)» (работа проводилась на базе ФГУБОУ ВПО «Казанского государственного энергетического университета» на кафедре «Светотехника и медико-биологическая электроника» при участии заказчика компании «Световые технологии»);

– НИР «Физиолого-гигиеническое обоснования возможности применения светодиодных источников света в обитаемых помещениях, подземных сооружениях и зданиях Министерства обороны РФ» – НИР «Буревестник», где АО «ЭРА» является заказчиком. Вторым этапом станет разработка для нужд ВМФ нормативных документов и технических требований к светодиодному освещению на судах ВМФ. НИР проводилась за счет финансирования АО «ЭРА», производителя светодиодных светильников;

Экспериментальные исследования «Гермокамерные испытания светодиодных светильников для космических летательных аппаратов с оценкой психофизиологических эффектов их использования» ГНЦ РФ-ИМБП РАН 2014–2015 гг. [1.5] в рамках договора № 14-04-735 с ЗАО НПЦ «НИИ Микроприборов» от 27.03.2014, который является поставщиком световых приборов на борт орбитальных станций [1.5].

Указанные исследования проведены в интересах, при финансировании и поддержке организаций, которые заняты директивным внедрением светодиодного освещения в России. Они активно внедряют светодиодные лампы (кристалл, излучающий синий свет (450–460 нм), покрытый желтым люминофором), от идеологии которых отказался создатель светодиода лауреат Нобелевской премии 2014 года по физике Сюдзи Накамура.

В рамках проводимых исследований на Биологическом факультете Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова и в лаборатории физико-химических основ рецепции ФГБУН «Институт биохимической физики имени Н. М. Эмануэля» РАН выполнена работа «Возрастные структурно-функциональные изменения ретинального пигментного эпителия при облучении коротковолновым видимым светом» [1.6]. Данная работа посвящена воздействию белого света ламп накаливания и синего света (450 нм) на сетчатку глаза.

В 2008 г. в рамках программы DARPA США были проведены исследования – SB082–055 (DARPA) «A Spectrally Dynamic Berth Light for Active Circadian Cycle Management» – «Спектрально-динамический свет причала для активного управления суточным циклом». Повторное исследование DARPA выявило изменения суточного ритма под влиянием улучшения освещения для военно-морского флота. В этих источниках света регулируется их спектр в течение дня для улучшения сна и производительности личного

состава. В армии это особенно важно для бойцов, чьи обязанности включают 24-часовую оперативную готовность [1.7]. В штате Калифорния США фирма SORAA сегодня выпускает светодиодные лампы (кристалл, излучающий 413 нм, покрытый смесью из трех люминофоров (RGB)). Проиграв в энергоэффективности, лампа Soraа выиграла в качестве спектра света и в обеспечении комфортности световой среды. Это лампа является полной функциональной заменой галогенной лампы [1.8].

В своих исследованиях врачи отечественных медицинских центров не ответили на главный вопрос современной гигиены – какие требования должны предъявляться к спектрально-энергетической характеристике искусственного источника света, чтобы минимизировать (исключить) риски его негативного влияния на здоровье человека (детей) и последующих поколений. В частности, они не обращают внимания на повышение рисков подавления выработки эпифизом мелатонина при светодиодном свете в системе «мать – ребенок». Мелатонин играет важную роль в цепи «мать и внутриутробное формирование структуры мозга ребенка» (рис. 1.10).

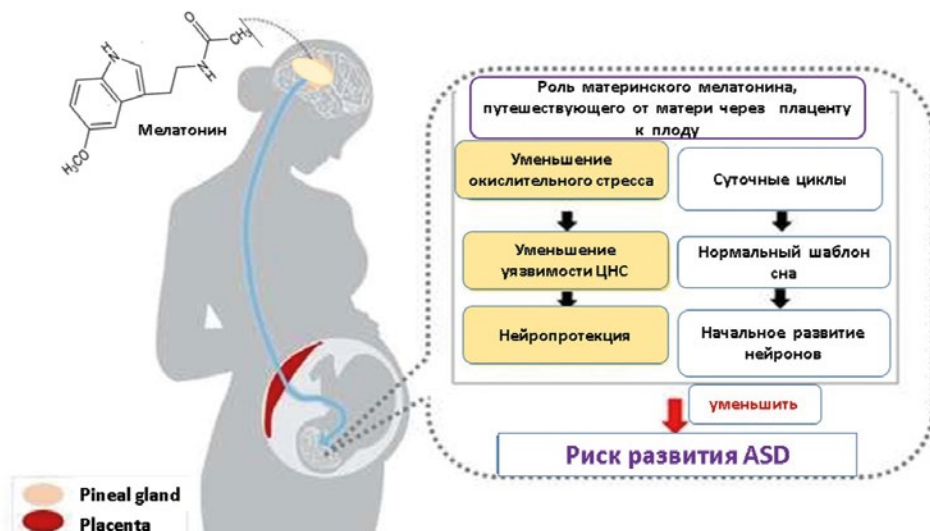


Рис. 1.10. Благоприятная роль материнского мелатонина, который передается от матери к плоду через плаценту

Функция мелатонина в области психозащиты и суточных ритмов может снизить риск возникновения расстройства спектра аутизма (ASD). Нормальные концентрации мелатонина во время беременности способствуют нормальному развитию нервной системы плода через ингибирование чрезмерного окислительного стресса в уязвимой центральной нервной системе. Кроме того, адекватные уровни мелатонина поддерживают нормальный сон и суточный ритм и способствуют нормальному развитию ребенка.

Расстройство спектра аутизма (ASD) относится к разнообразному спектру нейроразвивающихся расстройств, сопровождающих нарушения в социальном взаимодействии, трудностях в общении и стереотипном или

повторяющемся поведении. В отличие от более старого термина, аутизм, более новый термин ASD лучше отражает широкий спектр симптомов аутизма и обозначает диагностическую категорию аутизма, сопровождающуюся многочисленными состояниями. Мелатонин шишковидного гормона – хорошо известный нейропротектор и циркадный приемник. Этот гормон пересекает плаценту, входит в циркуляцию эмбриона, затем передает фотопериодическую информацию плоду во время беременности. Эти действия обеспечивают нормальный режим сна и циркадные ритмы, а затем нормальное нейроразвитие. Мелатонин также снижает окислительный стресс, который вреден для центральной нервной системы. Таким образом, мелатонин действует как нейропротектор и циркадный интенсор и может снизить риск развития нейроразвивающих расстройств, таких как ASD [1.9].

Французское национальное агентство санитарной безопасности питания, окружающей среды и труда (ANSES) опубликовало доклад «Системы освещения на базе светодиодов: вопросы охраны здоровья, которые необходимо учитывать», в котором рассматриваются потенциальные проблемы, вызываемые светодиодным освещением. В докладе был рассмотрен риск для здоровья, связанный с использованием определенных светодиодных ламп (синий светодиод 450–460нм покрытый желтым люминофором). В результате исследований агентства было показано, что синий свет белых светодиодов несет риск токсического воздействия для глаз, в первую очередь, для сетчатки, очень чувствительной к синему свету, а также риск возникновения слепоты. *Синий свет определяет фотохимический риск после интенсивного повторяющегося воздействия светодиодного излучения в течение длительного времени.* Такой свет может вызвать реакцию, лежащую в основе окислительного стресса. Особенно подвержены такому риску три группы: *дети, люди, имеющую высокую светочувствительность, люди после замены хрусталика глаза и рабочие,* подвергающиеся воздействию освещения высокой интенсивности и блескости.

Теория рисков негативного влияния света была разработана на базе основополагающих статей основателя фотобиологической безопасности искусственных источников света доктора David H. Sliney (Давида Слайни). Он в течение многих лет руководил отделом в Центре по укреплению здоровья и профилактической медицины армии США. Его научные интересы сосредоточены на предметах, связанных с УФ-воздействием на глаза, взаимодействии лазерного излучения и тканей, опасности применения лазеров в медицине и хирургии. Он служил в качестве члена, консультанта и председателя многочисленных комиссий и учреждений (ANSI, ISO, ACGIH, IEC, BOZ и ICNIRP), которые разрабатывали стандарты безопасности для защиты от неионизирующих излучений, в частности от лазеров и других высокоинтенсивных источников оптического излучения. Он соавтор справочника «Безопасность лазеров и других оптических источников» (Нью-Йорк, 1980). Доктор David H. Sliney был также президентом Американского общества по фотобиологии в 2008–2009 годах. На его научных трудах воспитана плеяда последователей и учеников, которые продолжают развивать методоориентированные основы фотобиологической безопасности искусствен-

ных источников света. В своих трудах они пытаются через классификацию рисков обосновывать и продвигать светодиодное освещение при поддержке Philips, Osram и других производителей светодиодного освещения.

На основе руководящих принципов ICNIRP был разработан МЭК 62471:2006 «Светобиологическая безопасность ламп и ламповых систем» (IEC 62471:2006 «Photobiological safety of lamps and lamp systems»). На базе этого документа Государственным унитарным предприятием Республики Мордовия «Научно-исследовательский институт источников света имени А. Н. Лодыгина» (ГУП Республики Мордовия НИИИС им. А. Н. Лодыгина) на основе собственного аутентичного перевода на русский язык стандарта МЭК 62471:2006 был выпущен отечественный ГОСТ Р МЭК 62471–2013 «Лампы и ламповые системы. Светобиологическая безопасность».

К сожалению, в разработке этого документа ни гигиенисты, ни офтальмологи, ни специалисты ФГБУН «Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля» РАН участия не принимали.

На Третьем ежегодном национальном саммите «Здоровье глаз», который состоялся 18 июня 2014 году в Национальном пресс-клубе в Вашингтоне, округ Колумбия, был представлен доклад «Будущее зрение: прогнозирование состояния и расходы на проблемы со зрением». Основной докладчик контр-адмирал Lushniak, доктор медицинских наук, исполняющий обязанности главного хирурга Соединенных Штатов, отметил большое значение профилактики слепоты в здоровом обществе и напомнил каждому из участников саммита, что они являются защитниками общественного здоровья. В подготовке этого доклада приняли участие специалисты «Национального центра изучения общественного мнения Чикаго» (Chicago's National Opinion Research Center (NORC)). В нем был поставлен вопрос «Что мы можем сделать, чтобы помочь уменьшить затраты, связанные с проблемами зрения?» (What can we do to help reduce the toll of vision problems?). При этом в докладе отмечалось, что это – «*существенный вопрос для пациентов, их семей и опекунов, специалистов здравоохранения, ученых и политиков, участвующих в решении проблем глаза и зрительного здоровья.* Но прежде чем мы сможем правильно ответить на этот вопрос, мы должны понять следующее:

- 1) где в настоящее время мы находимся в плане понимания проблем со зрением в США;
- 2) к каким последствия и издержкам приведут проблемы со зрением;
- 3) *к чему мы придем в будущем, если ничего не будет сделано* [1.10].

В докладах на Третьем ежегодном национальном саммите «Здоровье глаз» было сказано, что на решение проблем, связанных со зрением, в 2050 году потребуется около \$ 377000000000. Одновременно в этот период планируется массовое внедрение светодиодного освещения. Государственная программа США была принята Конгрессом США еще в 2005 г. как часть Акта об энергетической политике и названа «Светодиодное освещение» (Solid-State Lighting (SSL)). Правительство США, в соответствии с этим актом, поддерживает исследования, разработки, публикации и коммерческое применение, связанные с технологией светодиодного освещения, которые касаются светодиодов белого света.

По заказу Управления охраны труда, промышленной безопасности и экологического контроля ОАО «РЖД» специалисты ФГУП ВНИИЖГ Роспотребнадзора провели работу «Изучение возможности применения светодиодного освещения (светодиодных источников света) на железнодорожном транспорте при выполнении работы в профессиях, связанных с безопасностью движения, прежде всего машинистов-водителей и диспетчеров-операторов».

Учитывая недостаточную изученность вопросов влияния светодиодного света на здоровье людей разных возрастных групп и оценки отдаленных рисков такого влияния Министерство здравоохранения Белоруссии своим Постановлением от 29 декабря 2014 г. № 115 внесло в Санитарные нормы и правила изменения. В частности, в разделе «Требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению помещений жилых и общественных зданий» было внесено изменение в пункт 25: «Применение светодиодных источников света не допускается для искусственного освещения помещений учреждений образования, в которых организован образовательный и воспитательный процесс, а также помещений функционального назначения организаций здравоохранения».

Специалисты ГУ «290 Военный медицинский центр ВС РБ» отмечают, что близорукость является наиболее частой причиной понижения зрения у военнослужащих. В связи с бурным развитием научно-технического прогресса неуклонно растет количество лиц, имеющих близорукую рефракцию. Впервые эта закономерность была прослежена на примере исследования больших групп населения в Японии – до 85% (Сато). Постоянно возрастающая потребность в высокообразованных кадрах для нужд Вооруженных сил настойчиво требует пересмотреть подходы к использованию специалистов, имеющих пониженную остроту зрения, вызванную сильной рефракцией. Наибольшие зрительные нагрузки испытывают операторы, несущие *службу у дисплеев*. Причем это касается буквально всех родов войск. Считается установленным, что основное влияние на оператора оказывает не электромагнитное излучение, а напряженная зрительная работа с монитором. Причем зрительный дискомфорт проявляется не только при использовании дисплеев на электронно-лучевых трубках, а может возникать и в случае применения жидкокристаллических и газоразрядных дисплеев, а также дисплеев, выполненных на иных физических принципах. Особое внимание следует уделить контролю зрения операторов, а также профилактике острых и хронических поражений глаз. Длительная работа у экранов дисплеев вызывает значительное зрительное утомление операторов и может явиться причиной нарушения аккомодации, хронических заболеваний конъюнктивы и век. При работе на индикаторах различных типов возможны различные функциональные перегрузки органа зрения. Работа на яркостных индикаторах ведет к постепенному понижению контрастной чувствительности глаза, создает значительные нагрузки на аккомодацию. Особенно большие перегрузки аккомодации могут возникать при работе на амплитудных индикаторах. Выделение полезного сигнала среди массы помех требует максимального увеличения угла зрения, т. е. приближения глаз к экрану. Длительное напряжение аккомодации временами может достигать предель-

ного уровня. Все это нередко является причиной аккомодативной астенопии и соответствующих жалоб. При сильном переутомлении может наступить частичная или даже полная временная утрата зрительной трудоспособности. Это чревато серьезными последствиями, особенно у лиц, заступающих на боевое дежурство. При проведении расширенного медицинского освидетельствования в ряде воинских частей Бобруйского гарнизона на протяжении последних лет количество лиц, заявивших астенопические жалобы и впервые выявленное во время обследования снижение остроты зрения вдаль (миопическая рефракция) стабильно составляет 8–10% и имеет тенденцию к росту [1.11].

По данным специалистов ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова», Министерство обороны Российской Федерации (МО РФ) столкнулось с рядом проблем, касающихся использования светодиодных источников света на кораблях ВМФ, в подземных сооружениях и зданиях МО. При этом главной проблемой остается отсутствие данных о влиянии длительного пребывания людей в световой среде, созданной светодиодными источниками света с цветовой температурой 2700 К. Офтальмологи ВМА считают важным продолжить исследования, расширив сроки наблюдения и длительность пребывания добровольцев в световой среде, созданной светодиодными источниками света, т. к. обзор современной литературы указывает на возможные отдаленные проявления результатов воздействия светодиодными источниками света на орган зрения [1.12]. Испытания проводились в условиях освещения обычными люминесцентными лампами – фоновые показатели, и светодиодными светильниками СЭБМ – СД-1–1 Т= 2900 К, изготовителем являлось предприятие «ЭлектроРадио-Автоматика» (АО «ЭРА»), которое было заказчиком исследований [1.12].

В мире проблема «синей опасности» вызвала настолько серьезную озабоченность, что 20 июня 2012 г. в г. Чикаго в последний день своего ежегодного совещания АМА приняла новую политику, которая признает, что воздействие чрезмерного света в ночное время может привести к усугублению нарушений сна и создает опасные условия вождения. *Эта политика также поддерживает необходимость разработки технологий освещения, которые сводят к минимуму нарушения циркадного ритма и поощряет дальнейшее исследования рисков и эффектов в производственной и экологической сфере при воздействии света в ночное время.* Поддерживая новые технологии, которые позволят уменьшить блики и сводят к минимуму нарушения циркадного ритма, АМА предпринимает шаги по улучшению здравоохранения и обеспечению общественной безопасности [1.13, 1.14].

В 2014 году был опубликован документ СІЕ (Международная комиссия по освещению (МКО)) «О не визуальных эффектах света. Рекомендации по нужному освещению в нужное время. Сопровождение», в котором были определены новые подходы к концепции искусственного освещения. Эта концепция получила свое дальнейшее развитие в последующих документах.

Во-первых, было дано определение света – это электромагнитное излучение, которое стимулирует зрение. Там же указывалось, что фоторецепция глаза не только ведет к зрению как таковому, но также воздействует на физиологию человека, настроение и поведение, которые часто называ-

ют не визуальными эффектами света. Исследования этих эффектов усилились в начале этого тысячелетия. Это было вызвано обнаружением нового класса фоторецепторов человеческого глаза, которые обнаруживали оптическое излучение, но не способствовали формированию изображения. Они впервые были обнаружены в связи с их ролью в циркадном регулировании, в частности, гормона мелатонина. Постепенно становилось известно, что фоторецепторы влияют также на многие другие процессы. В последние годы появился термин «человекоцентрическое освещение» (*Human-Centric Lighting or HCL*), которым начали описывать эффекты освещения. Основные доказательства существования новых фоторецепторов, которые называются меланопсинсодержащими или внутренними светочувствительными ганглиозными клетками сетчатки (*ipRGC*), а также первые выявленные последствия освещения были обобщены в докладе CIE 158:2004. CIE продолжала изучать эту тему в течение двух экспертных симпозиумов в 2004 году и 2006 году, семинаров на своих заседаниях сессии в 2007 году и 2011 году, а также было создано несколько технических комиссий. Ученые, светотехническая промышленность, дизайнеры и другие заинтересованные стороны продолжают выявлять возможности и разрабатывать продукты и решения, которые благотворно используют не визуальные эффекты освещения, несмотря на то, что знания в этой области все еще накапливаются. Достигнуто общее соглашение, что не визуальные эффекты освещенности зависят от спектра, интенсивности, продолжительности, сроков и времени светового воздействия для того, чтобы предложить рекомендации по будущему использованию не визуальных эффектов света для здоровья человека и производительности и избежать возможных рисков.

CIE представила две новые публикации по состоянию науки в этой захватывающей научной области:

Как измерить свет по отношению к не визуальным эффектам: Техническое примечание CIE DR 6–42 (TN 003). В нем говорится, что одно из самых больших препятствий в выработке конкретных рекомендаций для здоровой не визуальной экспозиции к свету – это трудность выявления влияния освещенных ipRGC. В 2013 году независимый семинар в области определения количества света для не визуальных эффектов состоялся в Манчестере. Этот семинар привел к научному консенсусу и согласию в отношении активного спектра фоторецепторов ipRGC и стратегии для определения стимулов для не визуального ввода в фоторецепторную систему человека, с учетом взаимодействия между всеми фоторецепторами (Лукас и др. 2014).

2. Участники Манчестерского семинара (Технический отчет CIE TC 3–46) пришли к выводу, что не визуальные ответы зависят от сложной обработки сигналов в центральной нервной системе под влиянием пока еще не установленных взаимодействий фоточувствительных единиц. Недостаточное понимание характеристик ввода-вывода между световым сигналом и полученным в результате не визуальным ответом делают невозможным применение света для желаемого эффекта освещения. С другой стороны, наблюдения в лабораторных и прикладных исследованиях демонстриру-

ют, что возможно достичь благотворного воздействия на здоровье человека и на его производительность в результате использования световых систем, разработанных на основе даже самых общих представлений о том, как перевести базовые научные открытия в варианты дизайна освещения. Основные принципы этих наблюдений состоят в том, чтобы увеличить уровень света и/или изменить спектральный состав в дневное время для того, чтобы увеличить световое воздействие на ipRGCs и уменьшить световой вклад в эти клетки для восстановления в вечернее и ночное время.

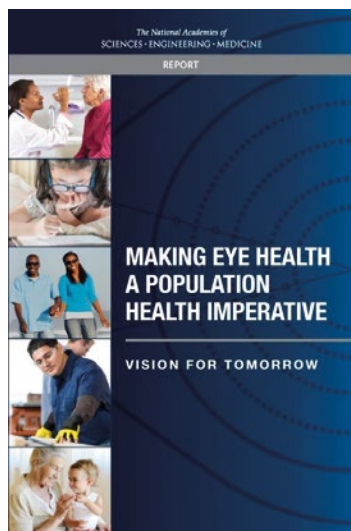
СИЕ в своем документе TC 3–46 WD «План исследований применительно к здоровому внутреннему освещению» обратила внимание на выявление *пробелов в знаниях*, чтобы обеспечить безопасное и полезное использование света в будущем, учитывая в том числе невидимые ответы. В докладе также обсуждался план исследований и инструменты для систематического и глубокого понимания биологической системы, с тем, чтобы **прогнозировать биологический эффект**. Цель этого доклада заключалась в том, чтобы сосредоточить внимание исследователей на *пробелах в знаниях, мешающих* разработке рекомендаций для внутреннего освещения.

Сегодня СИЕ создает новый совместный Технический комитет между частными отделами для того, чтобы обеспечить практическую реализацию результатов семинара в Манчестере и разработать первые международные стандарты по определению количества освещенности для стимуляции всех глазных фоторецепторов. Чтобы разрешить вопросы безопасного и здорового применения, СИЕ будет координировать эту работу с ISO/TC 274 и другим заинтересованными сторонами. Такой двойной подход, по мнению ISO, приведет к полному пониманию влияния освещения на человека и к более здоровому освещению в будущем.

Доктор David H. Sliney в статье «Влияние новых светотехнических приборов на здоровье и безопасность людей» [1.15] говорит следующее: «МКО играет очень важную роль в обеспечении максимально полного применения современных научных знаний на благо светотехники. Она принимает участие в имеющих интерес для светотехники исследованиях потенциальных ограничений и выявлении потенциальных рисков. Уверен, что предпринимаемые в настоящее время усилия по составлению технических отчетов и рекомендаций по оптимизации качества освещения приведут к ограничению энергопотребления и одновременно наметят пути для реалистичных и разумных действий как правительственных, так и неправительственных организаций».

В 2014 году Отдел здравоохранения и медицины Национальной академии наук, техники и медицины США созвал междисциплинарную комиссию для «изучения основных принципов и стратегий в области общественного здравоохранения, чтобы уменьшить ухудшение зрения и укрепить здоровья глаз в Соединенных Штатах», и обсудить краткосрочные и долгосрочные стратегии по приоритетам здорового видения посредством совместных действий сообщества заинтересованных сторон и уровней власти. Следуя рекомендациям междисциплинарной комиссии, коллектив авторов, состоящий из 15 экспертов во главе со Стивеном Тойч, MD, MPH, и при спонсорской поддержке:

- Американской академии офтальмологии;
- American Academy of Optometry – Американской академии оптометрии;
- American Optometric Association – Американской оптометрической ассоциации;
- The Association for Research in Vision and Ophthalmology – Ассоциации по исследованиям в области зрения и офтальмологии;
- Centers for Disease Control and Prevention – Центра по контролю и профилактике заболеваний;
- The National Alliance for Eye and Vision Research – Национального альянса для глаз и Vision Research;
- National Center for Children's Vision and Eye Health – Национального центра детского видения и здоровья глаз;
- National Institutes of Health Национальных институтов здоровья Prevent Blindness по предотвращению слепоты в течение двух лет провели исследования и составили отчет.



Авторы отчета призывают Министерство здравоохранения и социальных служб, CDC, профессиональные образовательные программы, а также государственные и местные органы здравоохранения принять общенациональные меры к снижению нарушения зрения в течение жизни, от самых маленьких до самых старых среди нас. К сожалению, в этом отчете не концентрируется внимание на энергосберегающей световой среде жителей США, которая является световой нагрузкой для глаз. В США установлено 2,5 млрд компактных люминесцентных ламп, при этом уровень миопии подрастающего поколения достиг 43% и продолжает расти. В Китае ежегодно выпускается 1,1 млрд компактных ламп и на каждые 100 жителей приходится по 80 ламп, а в Японии – 95. При этом в Японии уровень миопии подрастающего поколения достиг 70%.

В 1981 году экономические потери от зрительных расстройств и инвалидности составили приблизительно \$ 14,1 млрд [1.16].

В 1990 году финансовые затраты на лечение близорукости в Соединенных Штатах были оценены в \$ 4,8 млрд.

В 1995 году экономические потери от зрительных расстройств и инвалидности составили \$ 38,4 миллиарда, из них 22,3 \$ млрд прямых затрат и еще \$ 16,1 млрд в виде косвенных расходов [1.17].

В 2012 году на решение проблем с нарушением зрения было потрачено около \$ 140 млрд. И эти расходы будут продолжать резко расти, если решения не будут найдены в проводящихся исследованиях для предотвращения слепоты.

Итак, дилемма между экономической целесообразностью энергосберегающего освещения и здоровьем человека нуждается в решении в рамках новой гигиенической парадигмы, которая может стать теоретической основой гигиены света и концепций создания искусственных источников белого света со спектром как у солнца в видимом диапазоне излучения.

В настоящей монографии представлена попытка показать с гигиенической точки зрения, что нужно изменить в энергосберегающих полупроводниковых источниках белого света, чтобы адаптировать (гармонизировать) спектр излучения к основным биохимическим процессам, протекающим в организме человека, исключив их возможное негативное влияние на здоровье человека в краткосрочном и долгосрочном временных интервалах.

С гигиенической точки зрения очень важен методологический опыт оценки фотобиологической безопасности оптических источников света, изложенный в документе Международной комиссии по защите от неионизирующего излучения (ICNIRP) – «Заявление: общий подход к защите от неионизирующего излучения», опубликованный в ж. Health physics 82 (4): 540–548; 2002.

Процесс оценки, используемый ICNIRP, состоит из трех этапов. Неизбежно, что части этого процесса являются предметом научного обсуждения и что детали этого процесса могут варьировать в зависимости от рассматриваемого вопроса. Таким образом, в описании ниже приведены общие рекомендации, а не строгие правила.

Следующие три шага:

– *Первый шаг.* Оценка отдельных исследований с точки зрения их значимости для воздействия на здоровье и качества используемых методов. Критерии, описанные в приложении, могут быть использованы в качестве руководства при проведении этой оценки и могут привести к исключению некоторых исследований из дальнейшего использования или присвоению различных весов для исследований в зависимости от их методологического качества.

– *Второй шаг.* Для каждого оцениваемого воздействия на здоровье требуется анализ всей необходимой информации. Во-первых, этот обзор, как правило, делается отдельно для эпидемиологических исследований, для человеческой популяции, для исследований на животных и исследований в пробирке, с дальнейшим разделением, как это уместно для гипотезы.

– *Третий шаг.* Наконец, результаты этих шагов должны быть объединены в общую оценку, включая оценку последовательности данных, полученных на людях, данных животных и данных *in vitro*. Постоянные комитеты ICNIRP, при поддержке соответствующих членов, как правило, выполняют первые два этапа этого процесса, в то время как полная Комиссия в сотрудничестве с постоянными комитетами выполняет последний шаг.

Но при этом нам хочется привести слова академика Николая Николаевича Боголюбова, который любил повторять известное высказывание: «Нет ничего практичнее хорошей теории». *Мы и постарались сформулировать теоретические основы гигиены света в виде основополагающих законов, которые будут рассмотрены в соответствующих разделах данной монографии.*

1.1.1. Законы (постулаты) гигиены, их роль в разработке профилактических мероприятий

*Нет ничего практичнее хорошей теории.
Густав Роберт Кирхгоф*

В 1887 году Ф. Ф. Эрисман отмечал, что «...неминуемой точкой отправления при всех гигиенических исследованиях является стремление найти те **законы**, которые управляют здоровьем человека, и исследовать как при помощи эксперимента, так и путем *статистических* наблюдений все те общественные и частные явления, понимание которых непосредственно может содействовать открытию этих законов, так что все явления окружающей среды интересуют гигиенистов лишь настолько, насколько они могут отражаться на здоровье человека».

Если вторая часть цитаты подтверждает указанное выше о сущности гигиены, то первая часть говорит о необходимости в своей деятельности устанавливать такие *закономерности*, которые бы носили статус законов (постулатов), определяющих стратегию гигиены света.

С точки зрения современной теории сложных систем это высказывание Ф. Ф. Эрисмана является предпосылкой к внедрению теории Хаоса в практику гигиены света в части формирования *начальных условий в виде гигиенического спектрально-энергетического паттерна излучения.*

В соответствии с законами гигиены нарушение уровня здоровья людей может возникнуть только при наличии трех обязательных условий:

- наличие вредного фактора или комплекса вредных факторов. *При анализе спектра излучений (света) необходимо определить, какие негативные процессы запускаются в организме человека при данной совокупности длин волн, их энергетической мощности и характера поляризации излучения;*
- наличие механизма воздействия вредных факторов на организм человека. *С гигиенической точки зрения очень важно найти общие закономерности для этих процессов и механизмов;*
- наличие восприимчивого (чувствительного к воздействию вредных факторов) органа при комплексном воздействии спектра света и электромагнитного или другого вида воздействия (градиент-гравитационного)

и состояние антиоксидантной, иммунной, нервной и кровеносной системы в момент воздействия вредного фактора.

Это очень важный посыл, так как из него следует методологическое следствие: на каждом этапе защиты скорость образования продуктов взаимодействия фотонов светового потока с материей, их поглощающей, должна быть меньше скорости утилизации этих продуктов. При этом необходимо учитывать следующий закон – воздействует только те фотоны, которые поглощаются. Поток фотонов того или иного видимого диапазона должен соответствовать критерию оптимальной достаточности и отвечать минимаксной стратегии. Он должен обеспечивать оптимальность протекания процесса и достаточность, чтобы не нарушались оптимальные режимы других процессов, обеспечивающих комфортную зрительную работу. Критерий минимаксной стратегии – максимум зрительной эффективности при минимуме энергетических затрат биомеханической системой глаза.

При отсутствии хотя бы одного из указанных факторов нарушения здоровья не произойдет. При этом уровень воздействия должен соответствовать оптимально достаточным нормам, а несоответствие им расценивается как негативная доза воздействия.

Гигиенисты оценивают риски от уровня воздействия по критериям закона оптимума, или закона В. Шелфорда (рис. 1.11).

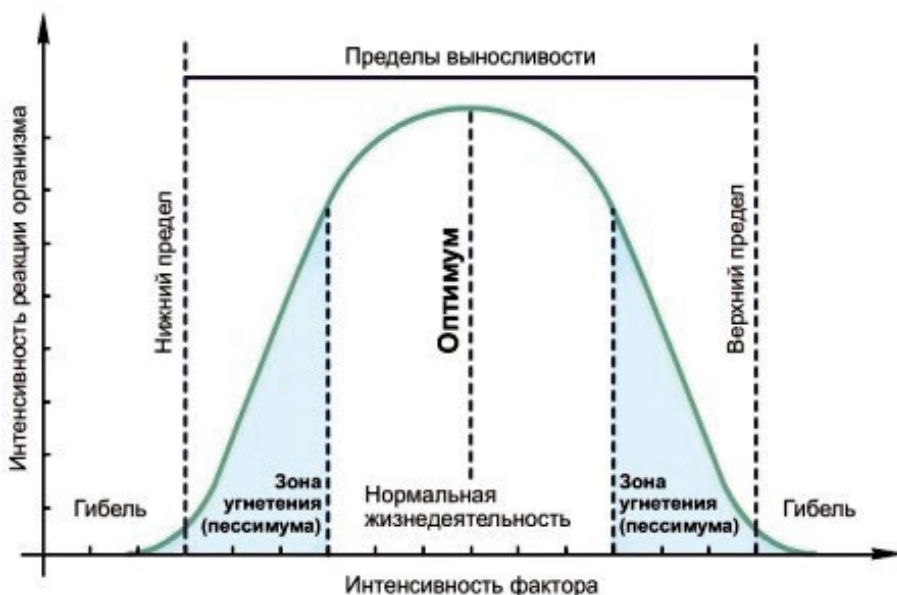


Рис. 1.11. Кривая закона оптимума, или закона В. Шелфорда

Из этого закона следует, что есть оптимальные значения воздействующего фактора, при котором обеспечивается нормальная жизнедеятельность клетки, зоны пессимума и гибели. Закон оптимума распространяется и на концентрацию антиоксидантов.

Этот гигиенический подход получил развитие при применении методов лазерной терапии. Низкий уровень лазерной (легкой) терапии (НУЛТ) был известен с 1967 года, при ней использовали видимый (как правило, красный) или почти инфракрасный свет, генерируемый лазером или светодиодом (LED) для лечения различных патологий у людей и животных. Этот свет обычно имеет узкую спектральную ширину между 600 и 1000 нм. При выборе уровня воздействия применяется трехмерная модель кривой Арндта – Шульца (рис. 1.12).

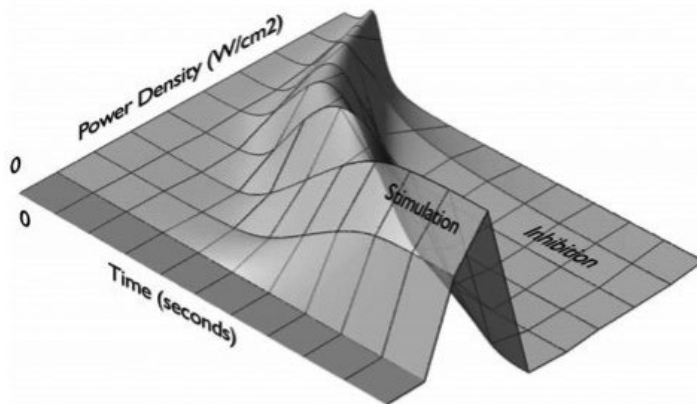


Рис. 1.12. Трехмерная модель кривой Арндта – Шульца, иллюстрирующая, как излучение или время освещения может иметь двухфазную реакцию дозы при низком уровне лазерной (легкой) терапии [1.18]

Из этих рассуждений следует гигиеническое следствие – *компонентом профилактической деятельности должно являться прерывание возможного механизма воздействия источника вредности, то есть приведения его к биологически оптимальным (адекватным) нормам.* Именно в этом заключается истинный смысл гигиенической науки и практики, всей системы первичной профилактики. Через призму этих условий:

- скорости «утилизации деструктивных продуктов взаимодействия»,
- наличия «избыточных или дефицитных доз излучения» – мы рассмотрим воздействие искусственных источников света.

Таких, как:

- люминесцентных ламп с учетом их электромагнитного излучения;
- светодиодных ламп с учетом их невизуального воздействия;
- подсветки экранов мониторов персональных компьютеров с учетом комплексного воздействия электромагнитного излучения и невизуального воздействия;
- светодиодных светофоров и сигналов с учетом особенностей их цветовосприятия.

В методическом плане предлагается рассматривать восприятие света (излучений) зрительным анализатором и системами человека, как сложную самоорганизующуюся синергическую систему со свертыванием информации [1.19] в процессе ее упорядочивания.

Спектр света активно участвует в формировании структур глаза и их функционировании, обеспечивая:

- формирование стекловидного тела и структуры его кровеносной системы;
- формирование главной оптической оси при изменениях свойств соединительной ткани сетчатки и коллагена роговицы и склеры глаза;
- зрительные циклы «разрушения и восстановления» родопсина в сетчатке глаза;
- незрительные эффекты (биомеханика управления веками и диаметром зрачка, гормональной системой человека, скоростью гибели митохондрий в ганглиозных клетках, накоплением пигмента старости в сетчатке, управление системой аквапоринов через циркаднозависимые гормоны, состояние клеток глии и другие подобные процессы);
- преобразование света в электрические сигналы нервных импульсов, которые в структурах мозга преобразуются в образы.

Это позволит:

- разработать комплекс взаимоувязанных мероприятий, которые могут стать основой современной гигиены искусственного освещения;
- сформулировать требования к искусственным источникам белого света в видимом и невидимом диапазонах.

1.1.2. Расширенная интерпретация гигиенических постулатов для характеристики современной световой среды и профилактических мер защиты

Гигиена как наука имеет свои простые постулаты, которые являются итогами анализа массовых заболеваний людей и результатом обобщения многовекового опыта медицинской практики. Эти простые постулаты перешли в ранг народных пословиц, но в современных условиях наполняются новым содержанием.

Например, к этим простым гигиеническим постулатам, которые нам знакомы с детства, относятся:

- соблюдай распорядок дня – «кто рано ложится и рано встает, тот дольше живет!». *Это говорит о том, что распорядок дня и нагрузки должны быть гармонизированы с циклами солнца и биоритмами человека;*
- «солнце, воздух и вода – наши лучшие друзья». Это говорит об исключительной важности для здоровья клеток и организма в целом таких факторов, как спектр света, концентрации кислорода и окиси азота, а также pH и Eh воды и ее структуры;
- «на солнышко во все глаза не взглянешь» – береги глаза от яркого солнечного света и принимай меры гигиенической защиты;
- «от солнца бегать – света не видать» – прогулки в дневное время благотворная профилактика глазных болезней, в частности миопии;
- соблюдай правильный режим питания с оптимальным набором микроэлементов и витаминов. *Такой режим не приводит к дисбалансу в работе системы синтеза глюкоза-инсулин; ведет к достаточному поступлению триптофана для последующего синтеза мелатонина, фосфорно-кальцие-*

вого обмена соединительной ткани, балансу глутамат-мелатонин и обеспечивает водный баланс в клетках;

- сиди правильно, держи спину, не горбись. Подчеркивает влияние деформации спинного мозга и его шейного отдела на кровоснабжение глаз, эпифиза, отделов мозга и выработку дофамина.

В работе [1.20] показано, что близорукость у детей школьного возраста в 79,2% случаев сочетается с синдромом дисплазии соединительной ткани (фосфорно-кальциевого обмена соединительной ткани) и в 12,5% – с аномалиями развития краниовертебральной области.

Массаж шейного отдела также является профилактическим мероприятием против миопии [1.21, 1.22, 1.23].



В кровеносной системе человека нас интересуют узкие места для питания ткани глаз, эпифиза и мозга в целом, который формирует картину окружающего мира. Таким местом являются шейные позвонки, в теле которых проходят артерии и вены, обеспечивающие питание глаз, эпифиза и отделов мозга.

Кровеносная система наполняет глазную артерию кровью для снабжения функциональных систем глаза (мышц, сетчатки, стекловидного тела) (рис. 1.13).

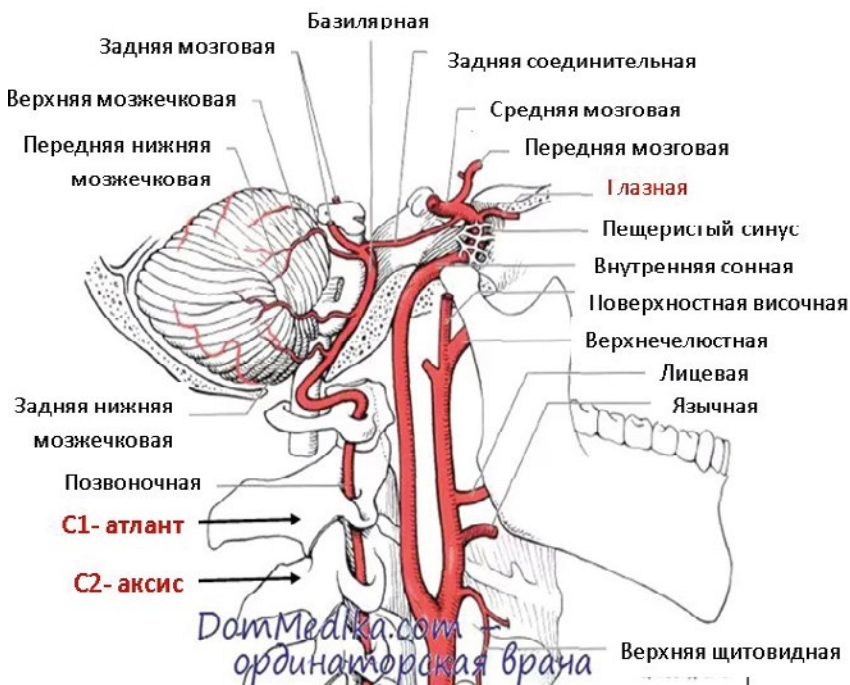


Рис. 1.13. Общая схема кровеносной системы глазной артерии

Из рисунка видно, что глазная артерия наполняется кровью через артерию, проходящую через шейные позвонки, и сонную артерию, которые объединены задней соединительной артерией.

Первый шейный позвонок С1 – атлант (лат. Atlas), на котором «сидит» голова, и второй С2 – аксис (axis), при их блокировке могут становиться причиной многих проблем в организме – как легких, так и серьезных, из-за нарушения кровотока.

Часто блокировка атланта случается у детей, и это негативно влияет на их зрительный анализатор, умственное и физическое развитие. Такая блокировка в остеопатической практике диагностируется не аппаратурой, а руками – за несколько секунд. Корректируется по методике швейцарского мануального терапевта Рене Шумпера у детей, а также руками мануального терапевта у взрослых – с выраженным положительным результатом сразу же, на столе. Например: один из пациентов, который имел значительное нарушение кровообращения в голове, не поленился дважды сделать ультразвуковое исследование сосудов шеи и головы: в день приема перед сеансом – и на следующий день. Повторное УЗИ зафиксировано улучшение кровообращения на 25%. Исследование позвоночных артерий методом ультразвуковой доплерографии выявило снижение в них линейной скорости кровотока на $21,9 \pm 0,63\%$ при стационарной близорукости и на $30,1 \pm 3,26\%$ – при прогрессирующей по сравнению со здоровыми детьми.

Нарушения в позвонках шейного отдела может повлиять на систему управления зрачком. В монографии [1.24] В.В. Вит (доктор мед. наук, профессор, заведующий лабораторией патоморфологии и иммунологии Одесского института глазных болезней и тканевой терапии им. академика В.П. Филатова) приведена следующая схема управления зрачком (рис. 1.14).

Через шейные позвонки также проходят нервы, соединяющие ганглиозные клетки сетчатки глаза и клетки эпифиза (рис. 1.15).

Из приведенных примеров видно, какое важное значение имеет состояние костно-мышечного каркаса человека для органов зрения и гормональной системы.

Из совокупности простых постулатов и проведенных исследований сформировались своды гигиенических правил, такие как Санитарные нормы и правила, подкрепленные государственными законами и актами. В законе «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» говорится, что благоприятными условиями жизнедеятельности человека является состояние среды обитания, при котором отсутствует вредное воздействие ее факторов на человека (безвредные условия) и имеются возможности для восстановления нарушенных функций организма человека. Это говорит о том, что внешним воздействующим фактором, которым является свет, можно управлять в части оптимизации уровней спектрально-энергетических характеристик воздействующего фактора.

Например, надев солнцезащитные очки, мы вырезаем из солнечного спектра вредную избыточную дозу синего света, которая опасна для глаз человека. Например, очки Real Kids Shades (США) имеют 100%-ю защиту от ультрафиолетовых лучей (UVA и UVB) до 400 нанометров. Модельный ряд очков рассчитан для детей от 0 до 12 лет.

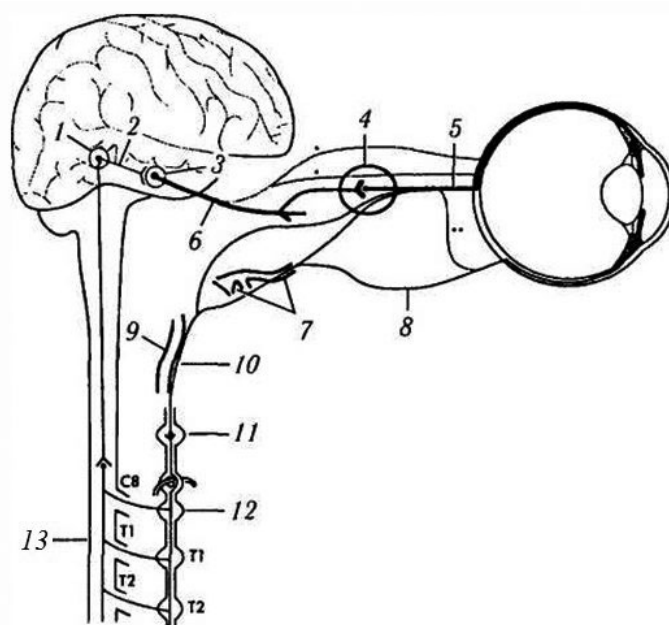


Рис. 1.14. Контроль автономной нервной системы центральной нервной системой: 1 – гипоталамический центр; 2 – симпатический ингибирующий путь; 3 – ядро Якубовича – Эдингера – Вестфаля; 4 – ресничный ганглий; 5 – короткие ресничные нервы; 6 – III нерв; 7 – носоресничный нерв; 8 – длинный ресничный нерв; 9 – тройничный ганглий; 10 – сонное сплетение; 11 – верхний шейный ганглий; 12 – нижний шейный ганглий; 13 – цилиоспинальный центр

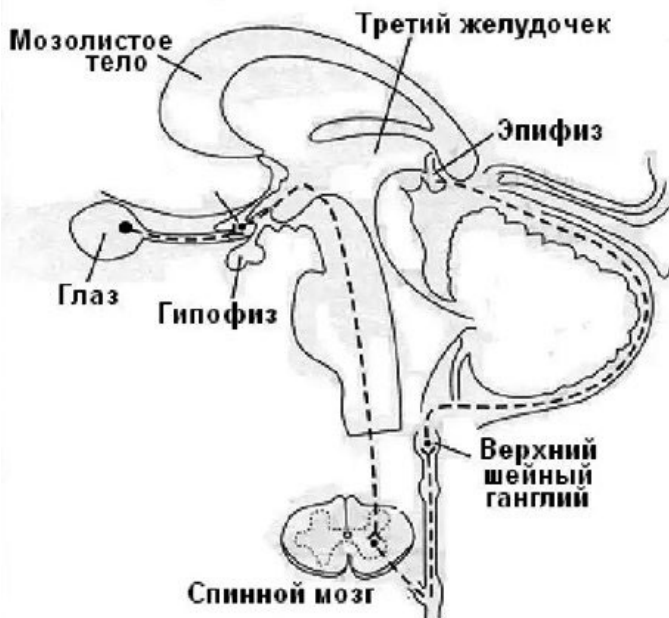


Рис. 1.15. Общая схема связи ганглиозных клеток сетчатки глаза и эпифиза



Однако эти очки надо носить только при определенном солнечном спектре, когда естественная защита глаз не справляется с повышенной избыточной дозой солнечной радиации. Вот категории фильтров солнцезащитных очков, указывающие на степень защиты от видимого света:

0 – солнцезащитные очки пропускают 80–100% света. Такие очки стоит носить в пасмурные дни (цветовая температура 5000 К – 5500 К);

1 – солнцезащитные очки пропускают 43–80% света. Такие линзы идеальны для дней с переменной облачностью (цветовая температура 5500 К – 6000 К);

2 – солнцезащитные очки пропускают 18–43% света. Очки с такой категорией солнцезащитного фильтра – самые распространенные. Их стоит выбирать для солнечных дней в городе (цветовая температура более 6500 К);

3 – солнцезащитные очки пропускают 8–18% света. Очки с таким фильтром незаменимы в солнечные дни на море, в горах (цветовая температура 7500 К);

4 – солнцезащитные очки пропускают 3–8% света. В горах и на море такие очки тоже будут хороши, а вот садиться в них за руль автомобиля запрещено (цветовая температура выше, чем 7500 К) [1.25].

Но парадокс состоит в том, что наиболее распространенные модели солнцезащитных очков не защищают сетчатку глаз от синего света более 400 нм при высокой цветовой температуре более 5000 К, так как зрачок в очках расширен.

На рис. 1.16 приведено состояние зрачка человека без очков и с защитными очками.

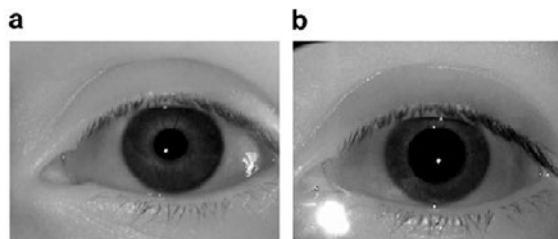


Рис. 1.16. Состояние зрачка человека без очков и с защитными очками [1.26]

При расширенном зрачке увеличиваются риски негативного влияния на сетчатку синего света.

Академик М. А. Островский, заведующий лабораторией государственного учреждения «Институт биохимической физики имени Н.М. Эмануэля» Российской академии наук и доктор биологических наук П. П. Зак в своих исследованиях вскрыли механизмы повреждения сетчатки глаза под воздействием солнечной радиации. Исходя из законов фотобиофизики, они считают, что каждый фотон определенной длины волны имеет свои биологические мишени [1.27].

Каждая избыточная доза синего света, поглощенная своей мишенью, порождает свой каскад цепных реакций. По их мнению, повреждение сетчатки коротковолновым видимым излучением – медленная фотохимическая цепная реакция, результаты которой постепенно накапливаются в течение всей жизни. Одним из действующих начал фотохимического повреждения является липофусцин – фототоксичный пигмент «старости», который из-за избирательного поглощения света в полосе 440–460 нм (при максимальном значении 450 нм) генерирует свободные радикалы, отравляющие пигментный эпителий сетчатки. Токсичные гранулы липофусцина постоянно и необратимо накапливаются в клетках пигментного эпителия сетчатки и являются одной из основных причин ее возрастных заболеваний. Накопление липофусцина зависит от интегральной световой нагрузки на глаза. При этом отмечается, что к 10–20-летнему возрасту количество липофусциновых гранул (ответственных за степень фотоповреждения сетчатки) достигает половинного значения от накапливаемого в течение всей человеческой жизни. Накопление – это нарушения процесса утилизации и оттока деструктивных биологических микробъектов (токсичных гранул липофусцина).

Множественная совокупность биологических и медицинских данных свидетельствует о том, что фототоксичные эффекты синего света являются кумулятивными и приводят к медленному необратимому падению зрительных функций. Скорость такого процесса зависит от световой нагрузки и эффективности работы антиоксидантной (защитной) системы глаза.

Интегральная световая нагрузка на глаза складывается из световой нагрузки от солнечного света и света от искусственных источников света (энергосберегающих люминесцентных ламп, светодиодных ламп и подсветки экранов различных устройств отображения информации). Формирование глаза и его функциональных структур происходит при постоянном влиянии солнечного света. Цветовая температура и уровни освещенности меняются в широких пределах и формируют световую среду. От избыточной дозы опасной синей составляющей части солнечного спектра человек научился защищаться, применяя различные гигиенические меры по защите глаза от повреждения сетчатки. Однако при недостатке освещенности применяются искусственные источники света, которые зачастую требуют обязательного применения специальных мер защиты от синей составляющей спектра. Но для разработки таких средств защиты сначала необходимо выбрать или разработать объективные критерии опасности источников света для глаз.

По нашим представлениям о гигиене зрения и по закону сохранения паттерна адекватного и безопасного спектрального состава источника белого света эта оценка возможна на основе предложенных нами критериев эквивалентности и адекватности по отношению к комфортному (естественному) составу спектра солнечного света, при котором сформировано наше нормальное зрение.

Критерий эквивалентности представляет собой суммарную оценку величины избыточной дозы энергии (соответствующих длин волн) в спектре искусственного источника белого света по отношению к гигиенически безопасному солнечному спектру света при одинаковой цветовой темпера-

туре и уровне освещенности на сетчатке глаза. Критерии эквивалентности формируются на основе теории подобия.

Критерий адекватности представляет собой оценку спектра света по эффективности управления фотонными потоками биомеханическими процессами (управлением диаметром зрачка, формированием слезистой оболочки глаза и его хрусталиком), психоэмоциональными процессами (показатель цветопередачи, освещенности) и показателям оптимально протекающих биологических процессов в зрительном анализаторе и гормональной системе человека (окислительного стресса, энергетического потенциала митохондрий, уровня гормонов) [1.28, 1.29].

По мере появления новых искусственных источников света для общего освещения и подсветки мониторов гигиенические правила расширились по объему и наполнились новым содержанием и рекомендациями. *Например*, для защиты зрения от различных повреждающих факторов, улучшения зрительной функции глаз и повышения эффективности профилактики их заболеваний необходимо соблюдать *традиционные* правила.

Организуя комфортное рабочее место. Оно должно быть достаточно освещено, световое поле равномерно распределено по всей площади рабочего пространства, лучи света не должны прямо попадать в глаза. Укомплектуйте компьютер хорошим монитором, правильно его настройте, используйте качественные программы.

2. Обеспечьте специальное питание для глаз. Людям с ослабленным зрением нужно употреблять продукты, укрепляющие сосуды сетчатки глаза: чернику, черную смородину, морковь. В рационе «близоруких» должны присутствовать печень трески, петрушка, салат, укроп и зеленый лук. При дистрофии сетчатки помогает шиповник (настой, отвар), клюква.

Эти правила не отвечают на очень актуальный вопрос: Что такое хороший монитор?

Без гигиенического анализа излучаемого монитором спектра света ответить на этот вопрос трудно [1.30], а на государственном уровне невозможно, т. к. в России расформированы лаборатории гигиенических институтов, которые занимались проблемами здоровья в световой среде.

При искусственных источниках света вышеуказанные гигиенические правила являются **необходимыми, но недостаточными условиями**. Это хорошо иллюстрирует пример модернизации монитора. Так, известный производитель дисплеев компания АОС представила новую технологию, которая защищает зрение пользователей от негативного влияния синего излучения экрана со светодиодной подсветкой. Разработчики уже подали заявку на патентное оформление своего изобретения, которое получило незамысловатое имя Anti-Blue Light (ABL). Благодаря новой технологии пиковое значение длины волн, излучаемых подсветкой, увеличено с 450 нм до 460 нм (рис. 1.17).

По утверждению АОС, даже такое незначительное изменение в 10 нм позволяет вывести синюю составляющую из опасного диапазона. Изготовители мониторов считают опасным диапазоном длины волн от 380 нм до 450 нм. При длительной работе за монитором именно они оказывают пагубное воздействие на зрение. Несмотря на снижение интенсивности

подсветки, в целом качество изображения при использовании данной технологии не страдает, так как здесь не применяются никакие дополнительные фильтры и программное обеспечение, а подавление опасных волн не приводит к нарушению цветового баланса. Компания АОС планирует внедрить свою новинку в мониторы 76V Series. Но уменьшая или исключая вредные факторы в спектре для глаз человека, усиливается влияние света (460 нм) на гормональную систему человека и, в частности, подавление выработки гормона мелатонина. Это снижает эффективность работы защитных систем организма человека, увеличивая риски нанесения вреда его здоровью. Не нарушая гигиенические нормы по одному параметру, разработчик создает потенциальную угрозу здоровью организма в целом. При этом не оценивается влияние величины выброса избыточной дозы синего света 460 нм на сетчатку глаза и, в частности, глаз детей.

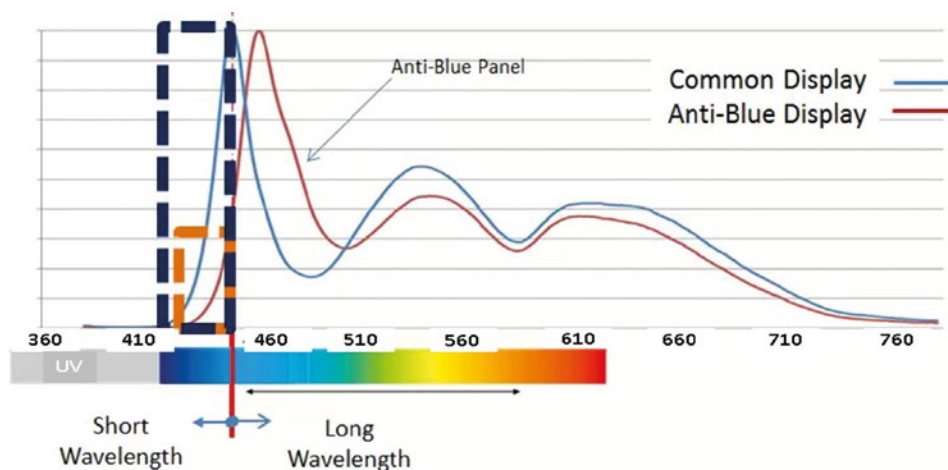


Рис. 1.17. Спектр света подсветки Common Display (450nm) и модернизированного монитора по технологии Anti-Blue Display (460nm) (www.aoc-europe.com)

Рассмотрим обещанную выше эффективность защиты уникальных солнцезащитных очков Tesla (ZERPTER IMPACT) от искусственных и естественных источников белого света.

В первую очередь следует отметить, что внедрение современных фильтров на основе фуллеренов для защиты глаз от синей дозы синего в спектре белого света от искусственных источников света не решает проблему защиты глаз.

Это обусловлено тем, что паттерн спектра остается прежним (рис. 1.18 и рис. 1.19).

В обоих случаях мы видим провал снижения дозы синего света, но остается провал в области 480 нм и в области красного света. Этих провалов мы не наблюдаем при солнечном свете (рис. 1.20).

В отфильтрованном солнечном свете нет выброса синего и отсутствуют вышеуказанные провалы в области голубого (480 нм) и красного света (633 и 670 нм).

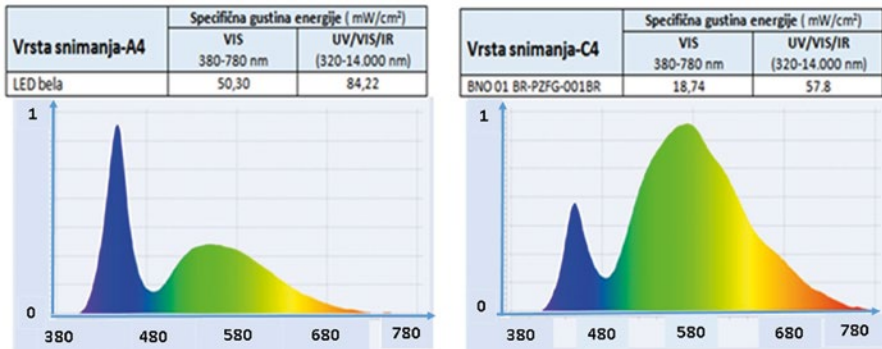


Рис. 1.18. Изменение спектра света от светодиода, излучающего белый свет при применении нанофотонных очков Тесла (справа)

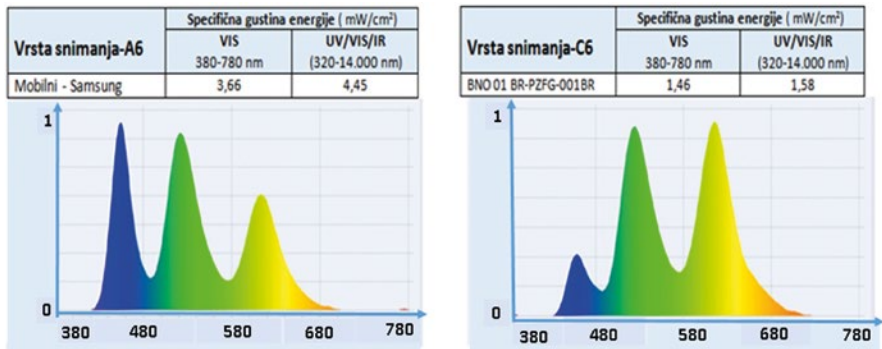


Рис. 1.19. Изменение спектра света от RGB-светодиодов, излучающих белый свет при применении нанофотонных очков Тесла (справа)



SUNNY DAY (at 1PM)

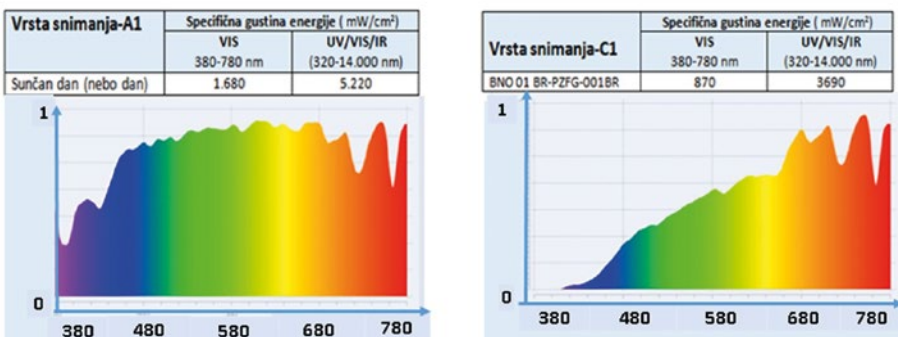


Рис. 1.20. Видимая часть спектра солнечного света записана в 1 час дня без фильтра (слева) и тот же спектр света через нанофотонные очки Тесла (справа)

Спектр современных искусственных источников света отличается от спектра солнечного света, который является жизнеобразующим фактором для природы (рис. 1.21). В этом биологически полном спектре каждая длина волны, при определенной энергетике, запускает специфические биохимические процессы и механизмы защиты.

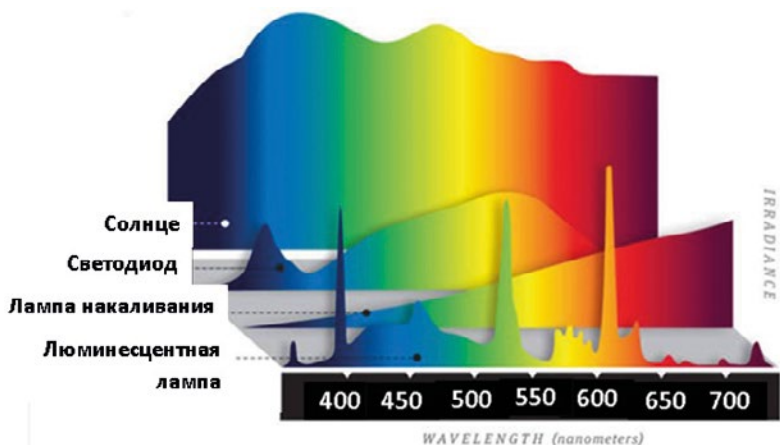


Рис. 1.21. Сравнение частотно-энергетических характеристик спектров от различных источников света (PopularMechanics.com)

Из сравнительного анализа спектров видно, что они отличаются от солнечного спектра как по ширине, так и соотношению амплитуд в диапазоне длин волн.

Представляет интерес сравнение спектров солнечного и искусственных источников света, которые применяются для общего освещения и подсветки мониторов (рис. 1.22).

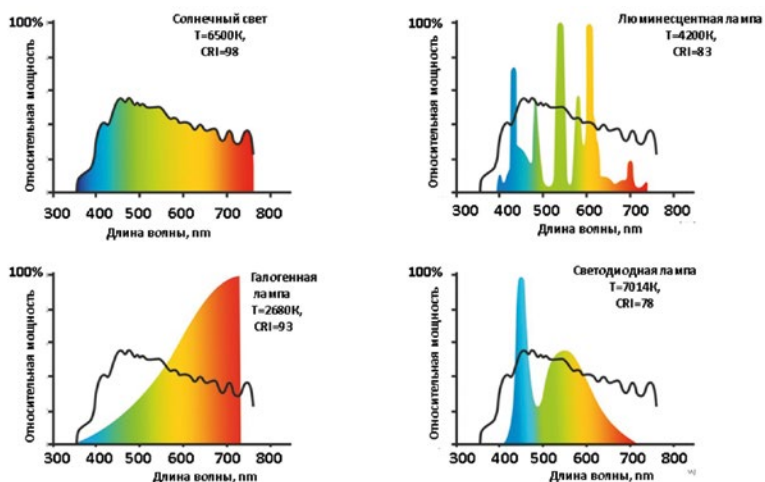


Рис. 1.22. Сравнение спектра солнечного света цветовой температуры 6500 К со спектрами искусственных источников света. Измерения проведены Mardaljevic [1.31]

Из представленных графиков видно следующее:

- лампы накаливания имеют дозу избыточного света в области красного света;
- люминесцентные лампы имеют избыточные дозы света в области синего, зеленого и оранжевого света;
- светодиодные лампы (синий кристалл, покрытый желтым люминофором) имеют значительную величину избыточной дозы синего света.

В устройствах отображения информации часто применяются светодиоды белого света с коррелированной цветовой температурой 7000 К, которые имеют значительную величину избыточной дозы синего света, которая ускоряет процессы разрушения сетчатки глаз [1.32] при неадекватном управлении диаметром зрачка глаза. Прошло уже немало времени с тех пор, как ученые впервые доказали вред синей части спектра, которую излучают мониторы компьютеров и дисплеи смартфонов и планшетов. Избыточный синий свет с длиной волны в диапазоне 450–480 нм и при наличии провала в области 480 нм увеличивает риск перенапряжения органов зрения, а также подавляет выработку мелатонина, препятствуя быстрому и легкому засыпанию. Сегодня компания Philips анонсировала технологию SoftBlue, которая представляет собой эффективную систему отсеечения избыточной части синей части спектра. По данным компании, модернизированные смартфоны испускают до 86% меньше «грязного» синего света. Первыми устройствами компании с данной технологией стали телефоны Philips Sapphire S616 и Sapphire Life V787 [1.33].

Это значит, что влияние спектров искусственных источников света на зрительный анализатор человека и его здоровье отличается от влияния солнечного спектра, учитывая роль вновь открытых функциональных возможностей ганглиозных клеток по управлению гормональной системой человека и диаметром зрачка.

Гигиенист при анализе спектра должен обращать свое внимание на следующие области и точки, указанные на примере спектра светодиода, излучающего белый свет с различной коррелированной температурой (рис. 1.23).

В статье 2012 года [1.34] авторы впервые обратили внимание отечественных производителей светодиодов на комплексный эффект светодиодного освещения в части управления синим светом через ганглиозные клетки гормональной системой человека (выброс в области 460 нм) и на неэффективное управление закрытием зрачка глаза (провал в области 480 нм).

В первую очередь обращалось внимание на выброс в области синего света, который, по литературным источникам, определялся как «синяя опасность». В иностранных источниках также широко обсуждается «синяя опасность» [1.35] и ее влияние на возникновение глазных болезней [1.36].

При этом обсуждается уровень избыточной (высокой) доли синего света в солнечном спектре света при высоких значениях цветовой температуры (более 5000 К) и ее влияния на причины возникновения глазных болезней (М. А. Островский, П. П. Зак), но не затрагиваются вопросы *избыточной доли синего света при искусственном освещении при цветовой температуре 4000 К и неадекватном управлении диаметром зрачка.*

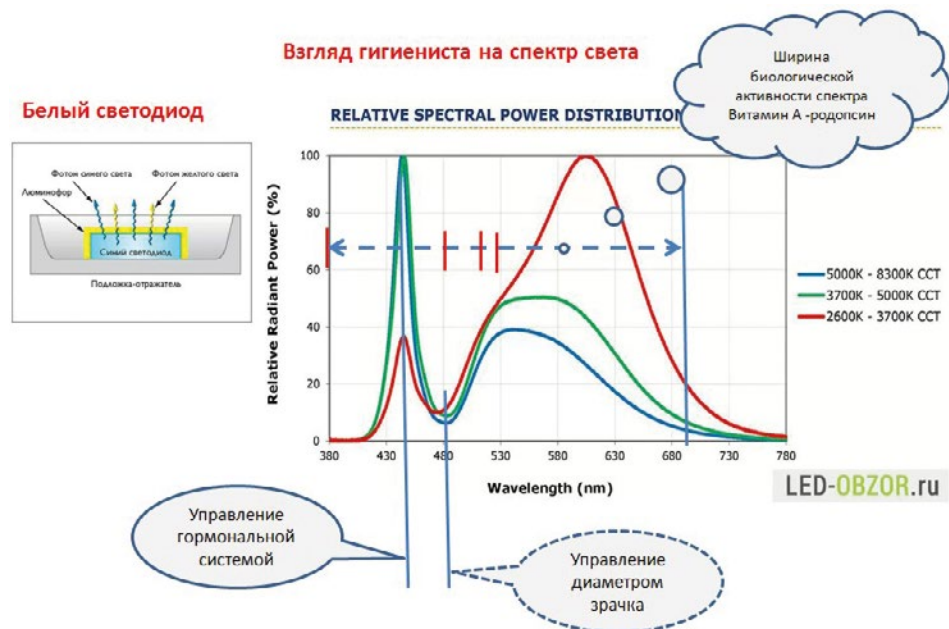


Рис. 1.23. Взгляд гигиениста на спектр белого света, излучаемого белым светодиодом (полупроводниковый кристалл, излучающий синий свет, покрытый желтым люминофором, что позволяет получить квазибелый свет)

В зависимости от вида источников света гигиену освещения можно разделить на:

- гигиену солнечной радиации, спектр которой определен природой, в рамках которой решается главный вопрос, *как защититься от её избыточной дозы воздействия;*
- гигиену искусственных источников света, где главным вопросом является, *как видоизменить спектр источника белого света и подсветки мониторов, чтобы снизить риски ущерба здоровью человека.*

В этом контексте гигиенисты должны опираться на философию определения совокупности характеристик световой среды. Основы этой философии заложены в трудах основателей научно-экспериментальной гигиены Д. Саймона, У. Фарра, М. Леви, Р. Эстерлена и многих других. Их эстафету в России успешно подхватили два выдающихся отечественных гигиениста – основоположники петербургской и московской школ гигиенистов А. П. Доброславин и Ф. Ф. Эрисман. Именно с этими именами связано появление в России «доказательной медицины» в лице гигиены, которая, по мнению академика РАН Ю. А. Рахманина, эволюционирует в гигиену окружающей среды (Environmental health), экологию человека (Human Ecology) и в медицину окружающей среды (Environmental Medicine).

Раздел 1.2. Философия гигиениста и характеристики световой среды

*Только тогда можно понять сущность вещей,
когда знаешь их происхождение и развитие.*

Гераклит

*Забота о человеке и его судьбе всегда должна
быть во главе любой технологической разработки.
Никогда не забывай об этом среди своих уравнений и диаграмм.*

Альберт Эйнштейн

Неадекватность спектра искусственной световой среды солнечному свету – новая гигиеническая проблема [1.37].

Ф. Ф. Эрисман отмечал, что «все явления окружающей среды интересуют гигиенистов лишь настолько, насколько они могут отражаться на здоровье человека». В этой фразе скрыта мировоззренческая точка зрения врача-гигиениста и предмет его заботы – здоровье человека. Так как гигиена, согласно преданию, берет свое начало от «Бога отца – Солнца, и богини здоровья», мы хотим подчеркнуть, что *гигиенист – это духовное призвание, а не коммерческая специальность.*

Гигиенист не должен становиться на точку зрения работодателя, который смотрит на человека как на производительную силу, о здоровье которой нужно заботиться, исходя из производственной целесообразности. Работодатель всегда будет стремиться минимизировать номенклатуру гигиенических требований и применять источники искусственного света, которые считает целесообразными с точки зрения экономии электроэнергии и повышения сиюминутной производительности труда.

Гигиенист не должен становиться на точку зрения производителя световых приборов, который продвигает на светотехническом рынке свою продукцию, применяя самые благозвучные маркетинговые ходы и лозунги. Производители источников света, через своих представителей в органах по стандартизации светотехники, формируют концепцию освещения в современных нормативных документах. Записанные в них нормы и требования зачастую транспортируются в санитарные правила и нормы.

В «Зеленой книге» (Green Book of the European Union) Евросоюза отмечается:

- раздел 2.2 – **«государства несут ответственность за безопасность светодиодной продукции, продаваемой на светотехническом рынке Европы».** Это значит, что прибыли достаются производителям светодиодного освещения, а затраты по инвалидизации – государству;

- в подразделе «Проблемы биологической безопасности («синий свет опасности»)» эта проблема поднята в связи с воздействием светодиодного света на сетчатку глаза человека и обусловлена **большой долей синего** в общем спектре белого светодиода. При этом в данном документе не дается определение понятию «большая доля синего» или избыточной дозы синего света.

Предварительные рекомендации Научного комитета по новым и вновь выявленным рискам для здоровья (SCENIHR) следующие – **«рассмотреть меры по уменьшению злоупотребления искусственным освещением в целом»**. При этом не вскрываются причины возникновения такого гигиенического постулата. Современные специалисты считают, что коррелированная цветовая температура искусственных источников белого света эквивалентна цветовой температуре солнечного света. Возникает вопрос, так ли это, так как в природе свет с повышенной цветовой температурой бывает только в полдень, то есть ограниченный интервал времени, и при этом человек принимает гигиенические меры защиты.

При этом необходимо отметить, что в современных санитарных правилах не сформулированы условия, при которых запускается механизм ухудшения здоровья в результате вредного воздействия. В ряде случаев факторы могут быть и не вредные, но создающие условия для снижения эффективности естественной защиты человека или приводящие к ускоренному старению организма и в данном случае глаз. Такой эффект называется синергией воздействующих факторов.

Гигиенисты при формировании совокупности требований к искусственной световой среде должны учитывать:

- светотехнические ограничения на характеристики световой среды (на уровни освещенности, коррелированную цветовую температуру; дискомфорт по правилу Kuithof; точечную яркость; отсутствие бликов и ослепления);

- спектральные характеристики света, которые повышают чувствительность к воздействию вредных факторов или снижают эффективность естественной защиты органов человека от воздействия вредных факторов;

- характеристики поляризации света искусственных источников, формирующих световую среду;

- негативное воздействие *избыточной дозы синего* света (эффект избыточной дозы синего света), а также дефицит доз света в других поддиапазонах спектра (дозы голубого и красного света).

Коррелированная цветовая температура внедрена светотехниками для сравнения между собой разных источников света, имеющих разные частотно-энергетические спектры. Производитель источников света использует коррелированную цветовую температуру через понятия «холодный» и «теплый» свет для продвижения своих изделий на светотехническом рынке. Эти понятия близки покупателю, который, не понимая *подвоха*, перекладывает ощущения от воздействия теплого солнечного света на якобы «теплый» искусственный источник света. Потребитель, покупая компактную люминесцентную лампу с «теплым светом» (3000 К), не знает, что по уровню синего света она соизмерима с солнечным светом 6500 К (рис. 1.24) [1.38].

При этом длительность пребывания в такой световой среде якобы «теплого света 3000 К» намного превышает длительность пребывания человека при солнечном свете 6500 К. При солнечном свете 6500 К работает естественная защита (сужение диаметра зрачка) по ограничению потока световой энергии, который фокусируется на защищенное от синего света желтое пятно, при этом диаметр зрачка глаза человека сокращен до 2 мм.

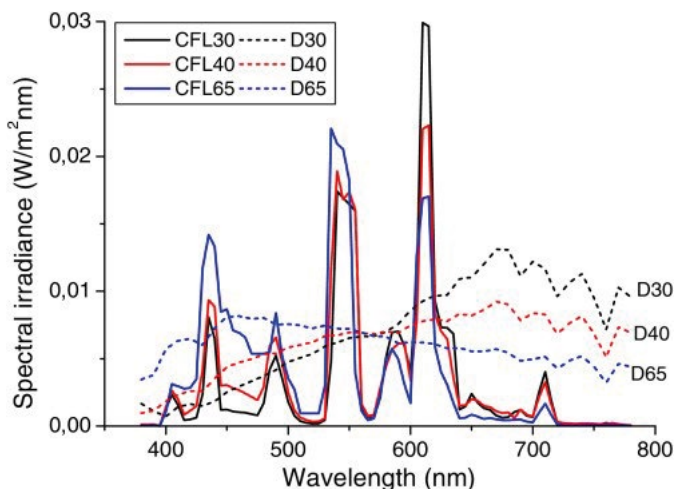


Рис. 1.24. Сравнение спектра солнечного света со спектром компактных люминесцентных ламп [1.38]

Энергосберегающие источники света имеют спектр, отличный от солнечного света и большую дозу синего и провал в области голубого света – 480 нм. Не коррелированная цветовая температура, а спектр света искусственных источников света полностью лежит в области интересов гигиенистов для отработки рекомендаций с целью защиты зрения и здоровья человека [1.37].

Природа создала свои механизмы защиты человека от частотно-энергетического воздействия солнечной радиации. С точки зрения теории «молекулярной машинерии» – эта защита построена как многокаскадная система циклических процессов (ограничения – уменьшения диаметра зрачка, поглощение фотонов света и утилизация продуктов этого поглощения). Нарушение гармонии в ее работе и создает предпосылки для накопления продуктов распада, что приводит к увеличению рисков негативных последствий для клеток функциональных органов человека и его здоровья. По результатам рассмотрения множества таких циклических процессов сформулирован общий Q-закон как методическая основа гигиенических требований к световой среде [1.39]. Как только накопленная доза продуктов распада превысит некий порог, произойдет качественное изменение в состоянии клетки и организма в целом.

Гигиенисты должны знать и изучать эти механизмы, с целью формирования дополнительных требований к искусственной световой среде и мероприятий по защите здоровья человека.

При этом гигиенисты должны:

- использовать методы «доказательной медицины» и адекватные биологические модели для ускоренной оценки и прогнозирования отложенных эффектов;
- руководствоваться принципами медицинской деонтологии;
- понимать механизмы (процессы), протекающие на «фотонно-электронном» уровне в мембранах клеток зрительного анализатора.

К таким новым направлениям относится дефицит электронов как основа патогенеза электронозависимых заболеваний человека и его зрительного анализатора.

- Владеть методологией оценки фотобиологической безопасности источников оптического излучения.

Также гигиенисты должны овладевать методами математического моделирования сложных систем «свет – зрительный анализатор – гормональные системы человека – спектр возможных состояния здоровья», применяя методы теории Хаоса. Гигиенисты должны решать задачи прогнозирования состояния здоровья популяции и человека в ней, при этом используя системы дифференциальных уравнений, которые описывают многие колебательные биохимические и физические процессы, протекающие в органах человека [1.40].

В теории Хаоса применяются такие понятия, как «эффект бабочки», начальных условий, бифуркация, фрактал, аттрактор, а также фазовые портреты состояния сложных систем, на которых нанесены кривые (области) переключений.

Аттрактор (англ. Attract – привлекать, притягивать) – компактное подмножество фазового пространства динамической системы, все траектории из некоторой окрестности которого стремятся к нему при времени, стремящемся к бесконечности (рис. 1.25).

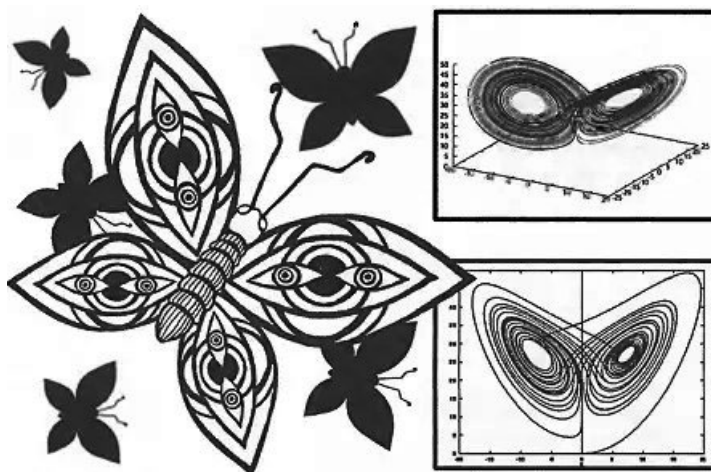


Рис. 1.25. Аттрактор «бабочка Лоренца»

Эдуард Лоренц занимался вопросами прогнозирования погоды и, в частности, вопросами возникновения разрушительного торнадо как венца непогоды. Странный аттрактор «бабочка Лоренца» иллюстрирует, что у погоды есть два состояния – солнечная хорошая погода и непогода (разрушительный торнадо).

Аттрактор «бабочка Лоренца» Эдуард Лоренц сделал приложением к своей статье о детерминистском хаосе, вышедшей в 1963 году. Этот аттрактор был устойчивым, непериодическим, имел малое число степеней

свободы и никогда не пересекал сам себя. Если бы подобное случилось и он возвратился в точку, которую уже миновал, движение в дальнейшем повторилось бы, образуя тороидальный аттрактор, но такого не происходило.

Странность аттрактора заключается, как считал Рюэль, в трех неэквивалентных, но на практике существующих вместе признаках:

- *фрактальности* (вложенность, подобие, согласованность);
- *детерминированности* (зависимость от начальных условий);
- *сингулярности* (конечное число определяющих параметров).

Эти признаки очень важны при построении математических моделей для прогнозирования состояния здоровья человека и его функциональных систем.

Общее представление аттрактора для здоровья человека приведено на рис. 1.26.

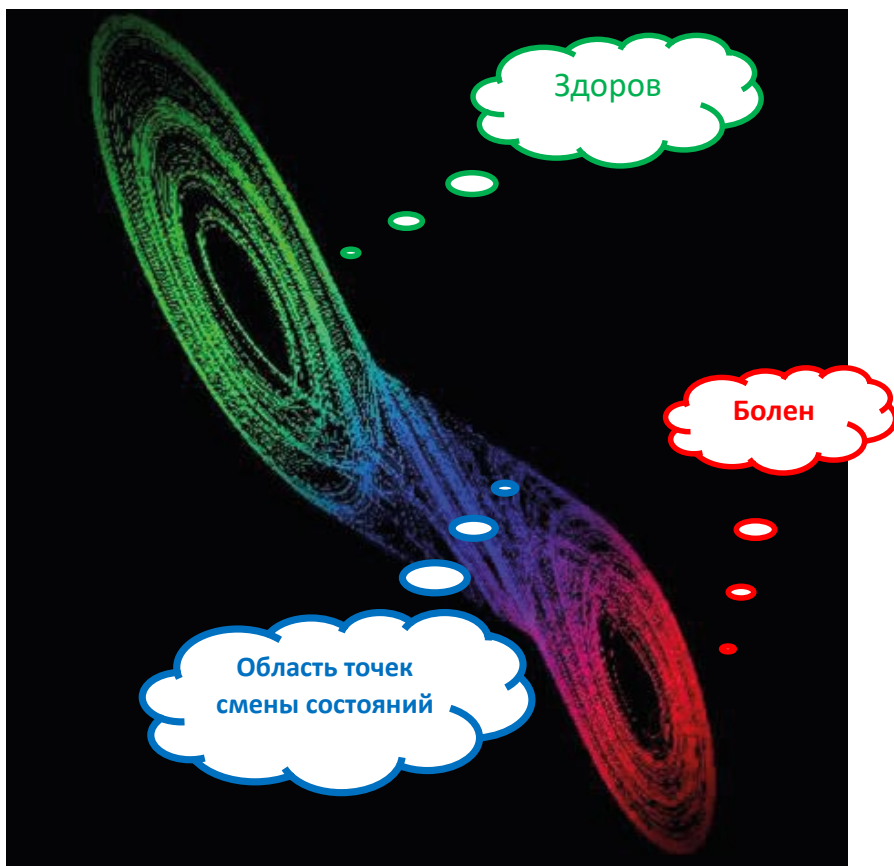


Рис. 1.26. Аттрактор «болен-здоров»

Для здоровья человека есть два состояния (центров притяжения) «здоров» и «болен».

В состоянии «здоров» видно компактное подмножество фазового пространства динамической системы, при котором всем процессам, протекающим в системе, присущи колебательные и циклические характеры.

В состоянии «болен» – всем процессам присущ деградирующий характер, приводящий к выходу на границы устойчивости системы и далее к ее потере и гибели. Аттракторы все больше применяются в медицине для описания динамики развития таких сложных заболеваний, как рак [1.41] (рис. 1.27).

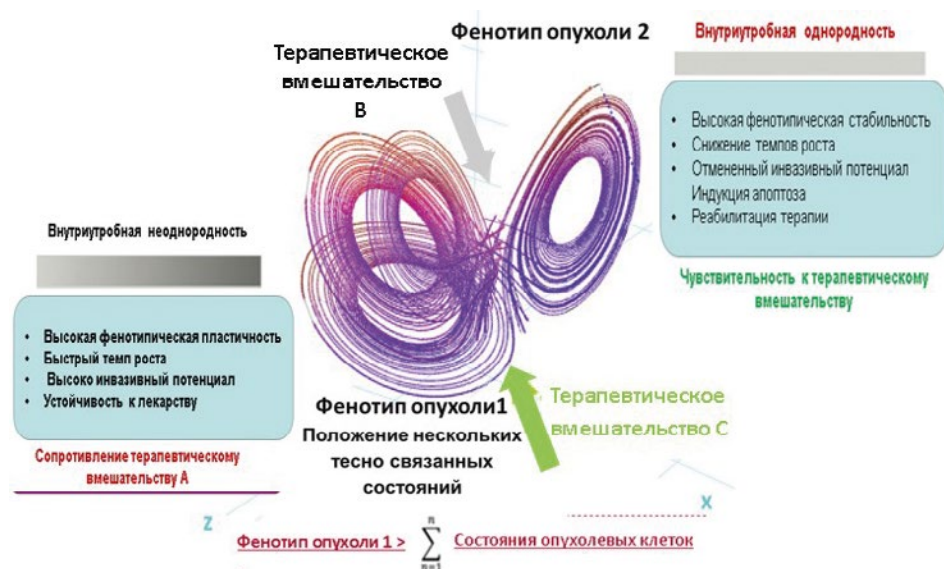


Рис. 1.27. Аттракторы при анализе и прогнозировании динамики развития раковых клеток [1.41]

Точки перехода из одного подмножества фазового пространства – «здоров», в другое подмножества фазового пространства – «болен», и наоборот определяют множество причин *заболеваний или выздоровлений*. Эти точки на фазовом пространстве можно назвать точками переключения состояния здоровья человека или его органов.

В последнее время все чаще стали появляться публикации по разработкам моделей искусственного интеллекта (ИИ) в рамках концепции детерминированного хаоса, реализованными нейросетевыми технологиями, а также создание на их базе ассистирующих медицинских прогнозно-диагностических систем [1.42].

В работе [1.43] продолжением развития синергетических методов и подходов являются исследования управления процессами саногенеза и патогенеза в рамках новой *теории Хаоса и самоорганизации (ТХС)*. Особое внимание при этом уделяется компартментно-кластерному анализу и синтезу поведения биологических динамических систем в фазовом пространстве состояний.

Раздел 1.3. Гигиена и методы «доказательной медицины»

В 90-е гг. XX века в мировой медицине сформировалось новое направление оптимизации качества оказания медицинской помощи с позиций эффективности, безопасности, стоимости и других значимых факторов. Это направление получило название «доказательная медицина» (медицина, основанная на доказательствах).

Доказательная медицина – сознательное и адекватное использование лучших доказанных результатов научных исследований для выбора рациональных медицинских вмешательств в процессы диагностики, лечения и профилактики.

Доказательная медицина предполагает объединение индивидуального опыта врача с наилучшими доступными независимыми научными доказательствами из систематизированных исследований. Принципы доказательной медицины позволяют разрабатывать наиболее эффективные, безопасные и экономичные современные медицинские стратегии, которые могут быть реализованы на государственном, региональном, популяционном, субпопуляционном и индивидуальном уровнях.

В доказательной медицине особое место занимают принципы медицинской деонтологии.

1.3.1. Адекватные биологические модели для ускоренной оценки состояния сетчатки глаз и прогнозирование отложенных негативных эффектов от воздействия избыточной дозы синего света



В качестве наилучших доступных независимых научных доказательств из систематизированных исследований специалисты Института биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН считают системные исследования, которые позволят провести ускоренную и доказательную оценку результатов воздействия избыточных доз излучения на структуры глаза и здоровья человека [1.44].

Для проведения доказательной оценки из всего многообразия испытаний на лабораторных животных – грызунах, кошках и собаках, специалистами биохимической физики зрения выбраны результаты испытаний на японских перепелах *Coturnix japonica* как модели ускоренного старения сетчатки глаза человека. Эти птицы, наравне с человеком и приматами, имеют центральную область острого зрения, защищенную от синего света оксикаротиноидами лютеин-зеаксантинового ряда.



По данным Института биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН, биологический срок жизни *Coturnix japonica* в среднем составляет около полутора лет, за которые его сетчатка претерпевает те же старческие изменения, что и у человека к 70–80-летнему возрасту [1.44].

Так, к 9-месячному возрасту в ретинально-пигментном эпителии (РПЭ) японского перепела концентрация липофусциновых гранул достигает тех же величин, что и у 80-летних людей, а ретинальная острота зрения этих птиц с возрастом существенно падает. Наряду с использованием *Coturnix japonica* как модели ускоренного старения, эти домашние птицы используются при изучении мелатонин-регулируемых циркадных ритмов. Для этих животных характерны резко выраженные суточные изменения мелатонина, причем 30% мелатонина крови *Coturnix japonica* синтезируется непосредственно в фоторецепторных клетках сетчатки, в то время как у человека ретинальный мелатонин составляет ~15% общего пула.

Сходство спектральных характеристик и состава ретиноидов в ЛГ, полученных из клеток старческого ретинального пигментного эпителия глаза перепела и человека, позволяет рассматривать японского перепела *Coturnix japonica* как удобную и достаточно адекватную модель ускоренного старения сетчатки глаза человека [1.44].

По мере старения человека и перепела в два раза утолщается мембрана Бруха (прозрачная мембрана, которая отделяет сетчатку от сосудистой оболочки глаза). В толще этой мембраны, главным образом в центральной области сетчатки, появляются включения, мешающие нормальному обмену веществ между сосудистой оболочкой и пигментным эпителием. Затем, как уже упоминалось, на поверхности мембраны образуются друзы (рис. 1.28), выступающие в пигментный эпителий и нарушающие транспорт между ним и капиллярами сосудистой оболочки.

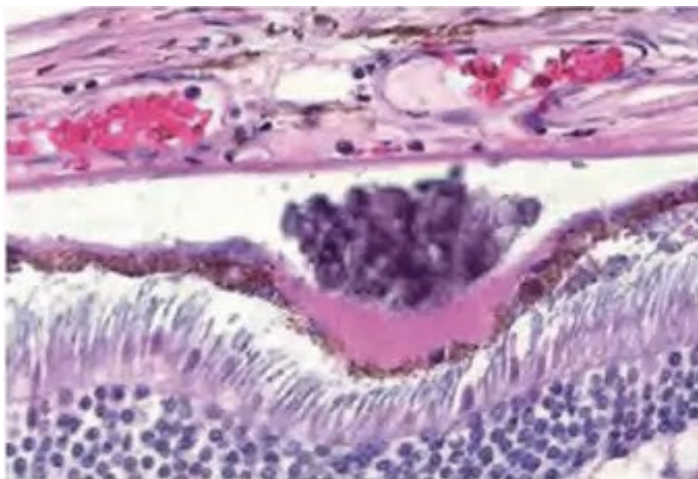


Рис. 1.28. Друзы, которые нарушают транспорт между сосудистой оболочкой и пигментным эпителием

К сожалению, производные ретиналя – не единственная проблема. Похоже, что образование друз – самостоятельный процесс, не связанный с накоплением липофусцина. Например, у самцов перепелов больше образуются друзы, в то время как у самок в основном накапливаются липофусциновые гранулы [1.45].

Раздел 1.4. Гигиена и принципы медицинской деонтологии [1.46]

В последние десятилетия проблемы деонтологии привлекают все большее внимание как широких кругов общественности, так и медиков различных профилей. Подтверждение этому можно найти в многочисленных публикациях средств массовой информации, в монографиях, посвященных различным аспектам деонтологии, в материалах съездов и конференций, затрагивающих эти вопросы. Медицинская деонтология рассматривает учение о долге как обязательства не только перед больными, но и перед всем обществом. Именно эта направленность деонтологических проблем имеет особое значение для отечественной гигиенической науки, главной профилактической дисциплины в системе здравоохранения, разрабатывающей научные основы оздоровления условий жизни, труда, быта и отдыха людей, сохранения и улучшения их здоровья. Чтобы правильно выполнить свой долг, необходимо глубоко осознать потребность добросовестно выполнять эти обязательства.

Иными словами, в отличие от других медицинских дисциплин, цель которых лечение заболеваний, основным направлением гигиены является их предупреждение за счет снижения до минимума неблагоприятных воздействий окружающей и производственной среды на человека.

Среди деонтологических проблем железнодорожной гигиены можно условно выделить как традиционные, так и новые, возникшие в последние годы в связи с развитием научно-технического прогресса. Сегодня эти проблемы при решении санитарно-гигиенических задач разработаны в разной степени применительно к научной и практической деятельности.

Характерной чертой для ученых-гигиенистов, разрабатывающих научно обоснованные принципы создания безопасных, а где это возможно, и оптимальных условий жизни и трудовой деятельности людей, является их активная позиция. С этой точки зрения особенно важна методология гигиенического регламентирования качества окружающей и производственной среды, которое, как известно, направлено на полное предотвращение возможного неблагоприятного действия опасных и вредных факторов на человека.

Особое значение приобретает работа гигиениста на транспорте, т. к. при решении своих задач он должен постоянно помнить, что от того, насколько правильно он выбрал методы исследования, предусмотрел возможные варианты эксплуатации транспортного средства, зачастую зависит безопасность движения, жизнь и здоровье пассажиров, сохранность перевозимых грузов.

Неслучайно главный государственный санитарный врач России, придавая особое значение этим вопросам, распорядился подвергать дополнительной экспертизе все материалы, товары и услуги, предназначенные для применения на железнодорожном транспорте, даже если они были положительно оценены территориальными органами Роспотребнадзора.

Такая направленность определяет негативное отношение транспортных гигиенистов к различным концепциям, являющимся методологической основой регламентирования качества производственной среды в некоторых капиталистических странах. К ним относится, в частности, концепция при-

емлемого риска, согласно которой при разработке нормативных документов допустима определенная доля риска для здоровья отдельных индивидов, которая может рассчитываться на основании экономического анализа типа «стоимость – выгода» или «риск – стоимость».

К концепциям такого рода относится и концепция технической достижимости разрабатываемых нормативов с учетом возможностей существующей технологии и уровня развития науки и техники. Иными словами, при ориентации на названные выше концепции нормативы могут устанавливаться не на строго научной основе, а как компромисс между различными интересами общества.

Некоторое время назад, при разработке санитарных правил один из производителей вагонов настойчиво убеждал сотрудников нашего института, ответственных за разработку этого документа, в абсолютной невозможности реализации ряда параметров в существующих габаритных размерах вагона. И к чести наших гигиенистов хочу отметить, что они не пошли на компромисс и отстаивали требования по созданию не только безопасных, но и комфортных условий проезда.

По роду своей деятельности врач, работающий в гигиенических НИИ, постоянно находится в определенных деонтологических отношениях с работниками министерств и ведомств, с вышестоящими органами санитарно-эпидемиологической службы и другими общественными организациями.

Чрезвычайно важным моментом в его деятельности является принятие весьма ответственных решений, затрагивающих судьбы тысяч людей. При этом врач-гигиенист должен обосновать свои действия, сформировать общественное и официальное мнение о необходимости осуществления своих рекомендаций. Особенно ярко деонтологические моменты выступают в тех случаях, когда, например, решается вопрос о приостановке строительства или эксплуатации объектов, представляющих опасность для здоровья людей.

Весьма важно при изменении условий эксплуатации, появлении новой техники и технологий своевременно давать предложения по изменению конструкции либо технической документации.

Так, планируемое расширение участков высокоскоростного движения (Москва – Казань и далее на восток) потребует пересмотра требований к конструкции вагонов и дополнительному оборудованию с целью профилактики травмирования пассажиров при возникновении нештатных ситуаций. При этом ученый-гигиенист должен как можно раньше, на стадии технического задания и эскизного проекта подключиться к этой работе.

В этих ситуациях он выступает как представитель санитарно-эпидемиологической службы и именно по его действиям обычно судят о ее работе. Вот почему такое значение имеют личность исследователя и строгая аргументированность его действий.

Доверие к врачу вызывается его поведением, личным примером, человеческими качествами. Спокойный, внимательный, оптимистичный, аккуратный врач, без вредных привычек служит примером, внушающим доверие. В противном случае возникает известная ситуация, когда думают одно, говорят другое, а делают третье, что разрушает и контакт, и доверие.

Непреклонность в самой доброжелательной и мягкой форме в сочетании с уважением и известной дистанцией облегчают выполнение деонтологических задач.

Другие деонтологические вопросы возникают перед исследователем при изучении состояния здоровья на групповом и индивидуальном уровнях, когда врач-гигиенист имеет дело непосредственно с обследуемым контингентом. Причем, как правило, это так называемые практически здоровые люди или считающие себя таковыми, регулярно проходящие периодические медицинские осмотры.

Хотя санитарный врач не проводит непосредственно осмотр работающих (это функция врачебной бригады), он обычно организует медосмотр, руководит процессом и общается с обследуемыми.

В отличие от клинических обследований, когда больные сами обращаются за медицинской помощью, в гигиенических обследованиях медицинские работники работают с персоналом и выявляют лиц с теми или иными отклонениями в состоянии здоровья, связанными с действием факторов производственной среды.

Наш опыт показывает, что при этом возникает ряд этико-деонтологических вопросов, правильное решение которых является обязательным условием при проведении обследований практически здоровых людей с целью выявления неблагоприятного влияния на них факторов производственной среды, которое возможно лишь при полном согласии и доверии обследуемых к медицинским работникам.

В настоящее время уровень информированности о возможных неблагоприятных последствиях загрязнения окружающей среды достаточно высок. Поэтому в процессе осмотра следует сразу объяснять обследуемому значение выявленных отклонений от нормы, особенно если эти отклонения настолько значимы, что приводят к отстранению от работы (например, недопущение машиниста в рейс). Однако следует избегать использования исключительных или нетипичных примеров вредного влияния на здоровье так, чтобы их трактовка исключала возможность ятрогении. Следует помнить о том, что работники в настоящее время не только грамотны и образованны, но и медицински просвещенные люди. Поэтому при разъяснении обследуемому сущности его заболевания и намеченных методов обследования и лечения необходимо излагать эти вопросы в доступной форме. Ответы на них должны быть убедительными, иначе у обследуемого может сложиться неправильное представление, что врач не ориентируется в его заболевании или пытается скрыть истинный его характер.

Деонтология санитарного врача как организатора профилактической работы по гигиене труда на производстве включает также налаживание деловых отношений с должностными лицами, с которыми он контактирует: администрацией промышленных объектов, инженерно-техническим персоналом службы охраны труда и техники безопасности, членами профсоюзных комитетов. Особенно сложным и тонким является процесс налаживания взаимоотношений с администрацией предприятий, которая обязана обеспечить работающим безопасные условия труда и претворять в жизнь рекомендации органов государственного санитарного надзора, направлен-

ные на профилактику общей и профессиональной заболеваемости, укрепление здоровья, повышение работоспособности и эффективности труда.

Все изложенное выше свидетельствует о важности деонтологических аспектов работы гигиениста-исследователя. Свойственный нашему времени подход к научной организации труда и подбору кадров ставит проблему воспитания оптимально ориентированного специалиста соответственно его уровню, квалификации и характеру деятельности.

Вполне понятно поэтому, что основные представления об этих вопросах должны быть привиты указанным специалистам еще на студенческой скамье.

Именно здесь закладываются деонтологические основы их будущей работы, воспитывается сознание профессионального долга и ответственности за охрану здоровья людей и предупреждение заболеваний. Вопросы преподавания деонтологии гигиенистам должны включать рассмотрение основных направлений деятельности и обязанностей гигиенистов и санитарных врачей. Особо должно быть подчеркнуто знание законов философии, раскрывающих взаимосвязь организма и окружающей среды.

Большое внимание необходимо уделять моральным качествам специалистов при решении социально-гигиенических задач в современных условиях, подчеркивая при этом, что при выполнении постановлений Правительства об охране окружающей среды и здоровья населения врач-гигиенист выступает как представитель государственной власти, активный проводник решений по оздоровлению условий труда, быта и отдыха работающих. Если первые деонтологические представления даются в вузе, то дальнейшее развитие деонтологических навыков должно быть продолжено в процессе повышения квалификации врачей-гигиенистов. При этом моделируются конкретные ситуации, возникающие в работе специалистов по гигиене труда, и решаются возможные деонтологические вопросы при их общении как с коллегами, так и руководителями предприятий и организаций.

Применение «деловых игр» при обучении врачей на курсах усовершенствования повышает эффективность процесса обучения и воспитания личности современного врача-гигиениста.

Специфика деонтологических проблем, с которыми приходится сталкиваться специалистам в области гигиены, обусловлена многими факторами. Как представители профилактического направления медицины они должны не просто констатировать возникновение тех или иных отклонений в состоянии здоровья людей вследствие воздействия на них факторов окружающей и производственной среды, но и разрабатывать мероприятия по их предупреждению; деонтологические проблемы касаются не только научно-исследовательской деятельности ученого-гигиениста, они тесно переплетаются с экономическим аспектом охраны и оздоровления окружающей среды и имеют социально-политический аспект (принятие быстрых и правильных решений при возникновении неблагоприятных ситуаций).

В таких случаях главная задача исследователя – добиваться от административных органов проведения соответствующих оздоровительных мероприятий. Только научно обоснованные нормативы, установленные на уровнях, обеспечивающих отсутствие биологического действия на организм, могут дать гарантию защиты здоровья населения от загрязнения. Все нор-

мативы другого типа, установленные с превышением гигиенически обоснованных величин, могут включать элементы риска для здоровья человека, а этого гигиенисты не могут допустить. Нетрудно представить, во что обойдется государству и обществу ошибка, допущенная исследователем при определении основных источников загрязнения, влияющих на состояние здоровья работающих и населения.

Другое дело, что по разным причинам (главным образом по вине промышленных предприятий) имеются случаи превышения гигиенических нормативов для разных объектов окружающей и производственной среды, которые могут создавать реальную опасность для здоровья. Причем это зачастую обусловлено просто нежеланием администрации предпринимать какие-то шаги в этом направлении. Иными словами, здесь речь тоже идет об этико-деонтологических вопросах, о необходимости повышения сознательности отдельных руководителей. Что же касается гигиенистов, то в тех случаях, когда установлено превышение гигиенических нормативов, их прямой обязанностью является объективная оценка опасности такого превышения с тем, чтобы своевременно поставить задачу ее снижения перед разработчиками или эксплуатационниками. Изменение общественного строя нашей страны, развитие рыночных отношений способствовали тому, что научные достижения стали предметом купли-продажи. Господство частной собственности, распространяемое и на науку (система патентов, лицензий, авторских прав), благоприятствует созданию таких ситуаций, когда та или иная фирма в своих интересах может на долгое время затормозить какое-либо открытие, скрыть невыгодную ей информацию.

Это характерно и для положения дел в области охраны окружающей и производственной среды, разрабатываемой сетью научно-исследовательских центров, финансируемых фирмами, предприятия которых в то же время являются основными загрязнителями. В результате зарубежные научные исследования могут быть недостаточно объективными и смягчают ситуацию (не говоря уже о крайнем случае фальсификации данных в интересах фирм) либо могут намеренно агgravировать ситуацию, что часто обусловлено конкурентными приоритетами.

Особую щепетильность должен проявлять исследователь при подготовке экспертных заключений о соответствии продуктов, товаров или услуг, предназначенных для использования на железнодорожном транспорте. Зачастую могут возникать ситуации, когда одна или несколько фирм, производящих сходный по потребительским свойствам товар, просят посодействовать продвижению именно их товара.

В этом случае долг врача-исследователя – твердо объяснить просителю неэтичность его просьбы и невозможность лоббирования его интересов в ущерб остальным заявителям.

Ученые, проводящие исследования, получают в процессе своей деятельности научные данные, представляющие самостоятельный теоретический и практический интерес. В то же время они выступают в роли основных «поставщиков» научной информации органам, ответственным за принятие конкретных решений в этой области. Вполне понятно, что поставляемая ими информация должна быть абсолютно точной, а рекомендации – научно

обоснованными. Следует отметить, что при передаче этих знаний ученый может занимать различную позицию: он может просто давать требующуюся от него информацию о состоянии изучаемого им вопроса, т. е. пассивно освещать ту или иную ситуацию, или активно участвовать в формировании политики в области охраны здоровья в соответствии с тем, как это подсказывает ему его совесть ученого и долг гражданина своей страны.

Поэтому при проведении гигиенических исследований ученый должен последовательно решать три задачи: установить наличие, характер и величину неблагоприятных изменений в состоянии здоровья обследуемого контингента, идентифицировать причины установленных изменений и определить источник (или источники) возникновения этих изменений и всеми силами добиваться исправления ситуации.

Эти задачи вытекают из общей направленности гигиенических исследований – предупреждения изменений в состоянии здоровья, связанных с действием опасных и вредных факторов производства, которые основаны на двух положениях:

- соблюдение гигиенических нормативов гарантирует отсутствие неблагоприятных изменений в состоянии здоровья;

- понижение уровня существующего загрязнения до уровней, близких ПДК, обеспечивает снижение уровней заболеваемости или других неблагоприятных изменений в состоянии здоровья.

В основе первого положения лежат принципы гигиенического нормирования, а второе положение подтверждается многочисленными примерами из гигиенической практики, когда снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха в результате проведения профилактических мероприятий приводит к снижению заболеваемости рабочих и населения.

Важным моментом в деятельности ученого гигиениста является пропаганда медицинских и санитарно-гигиенических знаний с позиций деонтологии. Врач должен при каждом удобном случае рассказывать о причинах возникновения общих и профессиональных болезней, необходимости своевременного обращения в лечебное учреждение, последствиях нарушения гигиенических норм и неправильного выполнения врачебных рекомендаций, а также важности осуществления противоэпидемических мероприятий. При этом следует учить слушателей, убеждать, но в то же время щадить их психику, не запугивать.

Пропаганда здорового образа жизни – дело, требующее не только специальных медицинских знаний, но и умения доходчиво, популярно рассказать об этом слушателям. К сожалению, студентов не учат основам риторики, методам лекторской работы, владению словом. Только поступив в аспирантуру, врач приобретает необходимые ораторские навыки во время занятий со студентами.

Поэтому нередко скучные, шаблонно построенные, далеко не на деонтологических принципах, выступления врачей, выражающих свои мысли казенным, псевдонаучным языком.

Искусству санитарно-просветительной профилактической работы должен учиться каждый врач, тем более что проблемы профилактики, особенно индивидуальной, очень тесно смыкаются с проблемами воспитания.

Он должен использовать любую возможность, чтобы внушать обследуемому (или здоровому человеку, проходящему профилактический осмотр, диспансерное наблюдение), насколько серьезную опасность для его здоровья, а подчас и для жизни, представляет легкомысленное отношение к врачебным рекомендациям, позднее обращение за медицинской помощью, а также такие факторы риска, как малая физическая активность, курение и употребление алкоголя, переедание, беспорядочный образ жизни, нервно-психические перегрузки.

Сегодня очень трудно прогнозировать, какие этические и деонтологические вопросы встанут перед исследователями и практиками в обозримом будущем в связи с развитием нанотехнологий, энергосберегающих источников света, скоростного и высокоскоростного железнодорожного сообщения, IT-технологий и продуктов научно-технического прогресса, еще находящихся в стадии лабораторных исследований, но быть готовыми к их оптимальному решению – наш профессиональный долг.

Раздел 1.5. Дефицит электронов как основа патогенеза электрон-зависимых заболеваний клеток

В химии имеется много веществ, чувствительных к воздействию Космоса, и среди них – вода и различные коллоидные системы.

А.Л. Чижевский

В основе всех процессов организма лежат окислительно-восстановительные реакции и перенос электронов, которые осуществляются в *водной среде* различных коллоидных систем. Большую и значимую часть в строении глаза занимает стекловидное тело, которое является биологической гидрофильной коллоидной системой, состоящей на 98–99% из воды. Основным механизмом удержания воды в определенном состоянии является электростатический. Электростатические заряды влияют на скорость протекания процесса окислительного стресса в клетках глаза [1.47]. Соединения, способные принимать электроны, являются окислителями, а те, кто может отдавать электроны, – восстановителями (рис. 1.29).

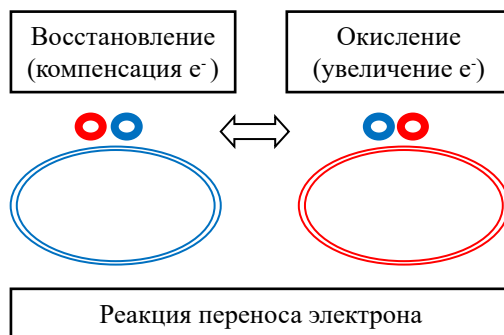


Рис. 1.29. Окислительно-восстановительные реакции и перенос электронов

Окислителями являются активные формы кислорода (ROS), а восстановление обеспечивает антиоксидантная защита (AOX). При этом должен соблюдаться баланс (рис. 1.30).

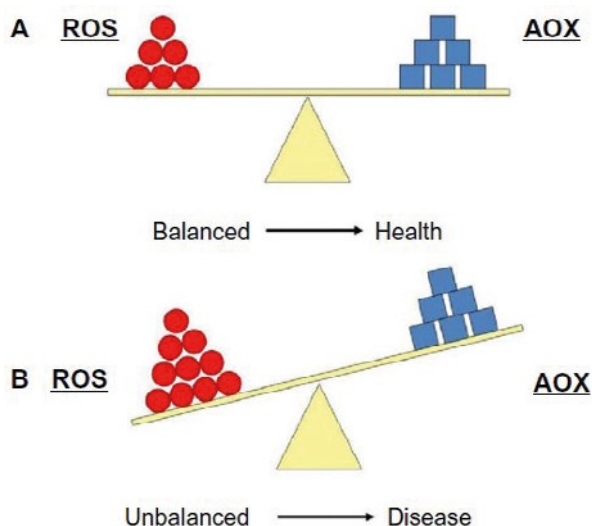


Рис. 1.30. Общая схема равновесного и не равновесного состояния системы «АФК и АOX»
 А – Равновесие между активными формами кислорода (АФК) производства и антиоксидантной защитой (АOX).
 В – Неравновесная ситуация между АФК и АOX, что может приводить к патологии [1.47]

Внешний поток фотонов и индуцированных электронов не должен нарушать фотонно-электронный баланс внутри системы и способствовать образованию в ней деструктивных компонентов, которые повышают риски возникновения патологии. Из этого следует, что гигиенист должен не только говорить о уровнях освещенности, но и оперировать величинами, характеризующими потоки фотонов (индуцированными ими электронов), характеризующих их фотобиологическую эффективность. Аналогичный подход реализован в освещении парников для выращивания растений.

Окислительно-восстановительные реакции и перенос электронов осуществляются в водной среде и имеют общетеоретическую основу, которая изложена в трудах специалистов ФГБУ «Научно-исследовательский институт экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина» [1.48], в которых утверждается следующее.

Согласно современным представлениям биофизики, рассматривающим любой живой объект как негэнтропийное («высоко (отрицательно) энергетическое и низкоэнтропийное состояние») образование, основным звеном валеостаза и валеокинеза человека является, в первую очередь, электрическая компонента окружающей среды, находящаяся в постоянном взаимодействии с живыми организмами и Землей, поддерживающая их негэнтропийное состояние.

Однако адекватное понимание данных проблем невозможно без рассмотрения основных закономерностей переноса нескомпенсированных элект-

тронов в надмолекулярных структурах воды и анализа их регуляторной роли в клеточном метаболизме. Это понимание очень важно для анализа процессов в структурах глаза и, в частности, в его стекловидном теле, которое на 98% состоит из воды.

1. Состояние, стабилизирующая и управляющая роли электронов в когерентных структурах ассоциированной воды

Современный этап исследований в области экологии человека и гигиены окружающей среды характеризуется изысканием безреагентных способов управления состоянием водных систем и живых организмов. Понимание физико-химических и структурных изменений, происходящих в результате такого управления, имеет принципиальное значение, так как затрагивает фундаментальные процессы гомеостаза живых организмов, особенно в условиях техногенного, в частности, **электромагнитного стресса**. На рис. 1.31 представлен спектр электромагнитных колебаний, в который входит и видимый свет.

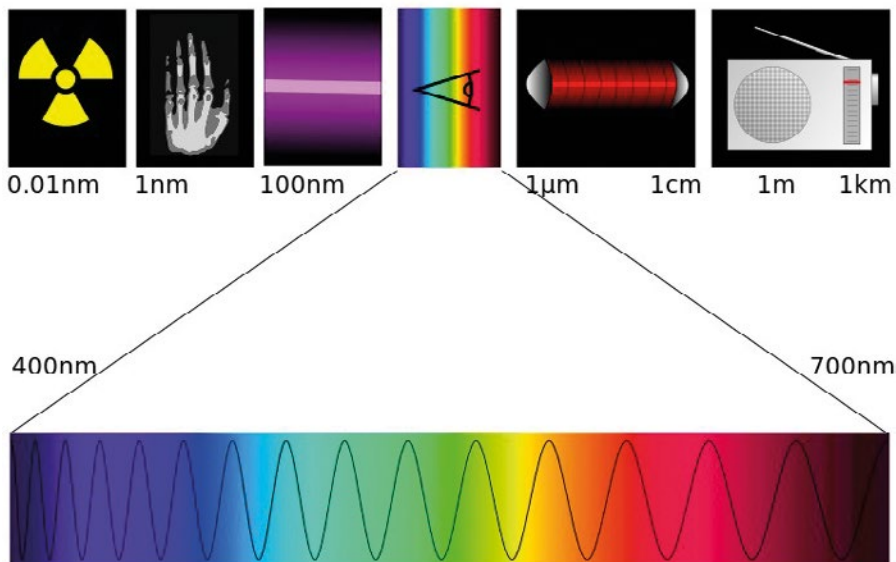


Рис. 1.31. Шкала электромагнитных волн

Каждая длина волны имеет свои мишени поражения, которые поглощают, преобразовывают или переносят энергию воздействия, но главная мишень поражения – это структура воды в коллоидных системах.

Для того чтобы адекватно воспринимать новизну и сложность поставленной проблемы, необходимо кратко остановиться на достижениях последних лет в области изучения жидкофазного состояния. Наиболее важные изменения в теории жидкости и в особенности воды заключаются в отказе от представления жидкости как гомогенной среды (однородная система). Вода гетерогенна не только вблизи границ раздела фаз, но и в объеме. В объемной воде также существует ассоциированная вода, представлен-

ная полиморфными модификациями льдов. Термодинамические условия их стабилизации связаны с возникновением гидрофобных взаимодействий и наведенных дипольных моментов статическими электрическими полями, а также обменных электронных взаимодействий.

Во-вторых, носители электрических зарядов в жидкости, возникающие при диссоциации воды, длительное время существуют только в ассоциированной воде. Свободная вода представляет собой непроводящую диэлектрическую среду.

В-третьих, заряды в ассоциированной воде объединяются в виде *электромагнитных вихрей*, охватывая своим действием значительное количество молекул воды и поддерживая в своем объеме влияния метастабильное когерентное состояние среды, характеризующееся уменьшением энтропии.

В-четвертых, закрепленные в ассоциированной воде электромагнитные вихри, подобно джозефсоновским вихревым цепочкам, обладают продольной трансляцией, что обеспечивает пространственное самовоспроизведение структуры и поля, то есть осуществляется энергоинформационный обмен.

В-пятых, образующиеся когерентные волновые структуры являются квантовыми объектами и потому описываются единым волновым уравнением с фазами волновой функции, соответствующими длинам волн де-Бройля, намного превышающих межмолекулярные расстояния. Возникающие квантовые эффекты волновых пакетов электронов ассоциированной воды, в частности, временной нелокальности фазы волн, становятся макроскопическими и потому влияют на состояние когерентного объекта в каждый момент времени.

В сверхтекучем состоянии электроны (так же, как и атомы) являются неподвижными. Общим свойством сверхтекучих электронов является установление для всех частиц коррелированного состояния (бозе-конденсации), при котором частицы объединяются общим продольным электромагнитным полем. Продольное электромагнитное поле с одновременной пространственной корреляцией частиц сопровождается закономерными эффектами:

1. Чем больше частиц «подключается» к общему полю, тем устойчивее и сильнее оно становится, что, в свою очередь, увеличивает количество коррелируемых полей частиц. То есть бозе-конденсация сама себя усиливает, черпая энергию из внешней среды фотонного поля.

2. Сверхтекучая фаза, включающая в себя общее поле продольных волн и взаимодействующие с ним коррелированные частицы, имеет соответствующую внутреннюю энергию связи.

3. Теплоемкость сверхтекучей фазы в силу заторможенности движения частиц минимальна, а теплопроводность, наоборот, имеет максимальные значения.

4. В сверхтекучей фазе функции перемещения частиц относятся не к одиночным частицам, а к единому полю продольной волны, под действием которого частицы переносятся (телепортируются). Это происходит при возникновении в каком-либо месте взаимодействия единого поля продольной волны, совпадающего с длиной волны де-Бройля, энергетически благоприятных условий, что приводит к моментальной материализации частицы в этом месте.

Супрамолекулярные образования ассоциированной воды, формирующие в объемной жидкости цепочечные структуры, стабилизируются благодаря продольному электромагнитному полю, создающему неоднородное силовое поле вдоль оси своего распространения. Большая интенсивность общих продольных волн в ассоциатах проявляется в притяжении сторонних атомов с эффектом их «фокусировки» вдоль оси ассоциата.

Рассмотренные выше коллективные свойства частиц, определяемые термином «бозе-конденсация», в квантово-механическом описании кратко характеризуются следующими свойствами:

✓ бозе-конденсат – это частицы, коррелированные (в пространстве и по фазам) с общим резонансным продольным полем. Эти две составляющие бозе-конденсата (частицы и поле) взаимодействуют друг с другом, образуя энергию связи;

✓ продольное электромагнитное поле склонно к образованию стоячих волн в бозе-конденсате как в резонаторе и быстро уменьшается за пределами своего контура;

✓ бозе-конденсат имеет эффективный канал передачи энергии посредством продольных волн, в связи с чем при неподвижном состоянии самих частиц он обладает свойствами телепортации и характеризуется высокой теплопроводностью;

✓ температура бозе-конденсата близка к абсолютному нулю.

В нормальных температурных условиях жидкости это достигается думерным состоянием среды, характеризуемым громадной напряженностью «охлаждающего» электрического поля порядка 10^7 – 10^8 В/см. В неравновесных условиях движения вихря, когда отсутствует «охлаждающее» электрическое поле, в энергетически насыщенной среде бозе-конденсат поддерживается за счет неравновесного состояния, характеризующегося *дефицитом фононов*.

Основная роль продольных электромагнитных волн заключается в поддержании во времени и пространстве негэнтропийного и неравновесного состояния биосистем, в том числе обеспечивая транспорт электронов, необходимых для периодического запуска метаболических процессов.

Коррелированные состояния частиц и зарядов в продольном электромагнитном поле по своей сути соответствуют эффектам интерференции волновых функций, которые отвечают за многие элементарные физические и химические процессы, то есть можно предположить, что перечень их возможных проявлений может быть значительно шире. Так, например, многие химические и биохимические реакции относятся к большому классу окислительно-восстановительных процессов, включающих стадию переноса электронов между донором и акцептором и иногда по двум (или более) параллельным путям. В этом случае разность фаз между «парциальными» Ψ -функциями, суммирующимися на акцепторе, зависит от сдвигов фаз электронов, находящихся в различных областях пространства. В пределах диапазона интерференции волновых функций возникают соразмерные изменения скорости реакции или энергетического активационного барьера выхода активной частицы.

Для активации частиц (изменения уровня энергии частицы в потенциальной квантовой яме) имеет значение набег фазы волны на незамкнутом

участке, например, при туннельном переносе. Многие биохимические процессы включают *стадию туннельного переноса электронов и протонов*. Туннельный перенос между локализованными («финитными») состояниями частиц имеет важные особенности. Являясь изоэнергетическим процессом, туннельный перенос требует совпадения энергетических уровней между исходным и конечным состоянием. Направленный необратимый перенос частиц становится возможным только благодаря релаксационным процессам в доноре и/или акцепторе, изменяющим относительное расположение уровней и выводящим систему из резонанса. Часто именно эти процессы лимитируют скорость всей реакции. При этом плотности зарядов (иначе – амплитуды Ψ -функций) на доноре и акцепторе до начала и в первый период релаксации близки друг к другу. Эта ситуация почти полностью аналогична случаю туннелирования электронных пар между двумя сверхпроводниками через тонкий зазор в эффекте Джозефсона.

Вода является мишенью воздействия магнитного векторного потенциала, образуемого в результате квантовой интерференции. Перестройка структуры ассоциатов молекул воды, вызванная нарушением условий равновесия на внутриклеточном масштабе, происходит в основном посредством туннелирования протонов вдоль межмолекулярных водородных связей. Важная роль в динамике водной структуры и её физико-химических свойств отводится сольватированным электронам. Делокализованные в пределах одного кластера, они переходят в соседний вследствие туннельного переноса. Этот процесс, как и перенос протонов, может быть объектом действия магнитного векторного потенциала, изменяющего скорости и направления процессов перестройки структуры водных ассоциатов, а вместе с этим и состояние биохимической системы клетки. Оценка магнитного векторного потенциала, создающего дополнительный сдвиг фаз $\Delta\phi = \pi$ при ширине барьера (3–10) – 10^{-10} м, даёт величину A около (0,3–1) – 10^{-5} Т м.

Экспериментальное подтверждение химического действия квантовой интерференции по изменению величины магнитного векторного потенциала приведено в работе, где исследовались процессы осаждения ионов парамагнитных металлов (*железа, цинка, марганца, никеля, кобальта, меди*) в высокоградиентном магнитном поле. Высокоградиентные магнитные поля с ненулевым значением магнитного векторного потенциала ($\text{grad}B \neq 0$) возникают в случае открытых магнитных систем вблизи поверхности стыка двух разнополярных магнитов и над узкими щелями замкнутых магнитных систем. В исследовании были зарегистрированы кольцевые структуры осадков гидроокисей меди и железа, совпадающие с положением областей, где $\text{grad}B \neq 0$. В области однородного магнитного поля или при его отсутствии осадков не наблюдалось.

В этой связи преимущества управления квантовыми состояниями нанокластеров ассоциированной воды, осуществляемого с помощью *продольных* электромагнитных волн, заключаются в пространственной когерентности возбуждающих среду волновых пакетов, что обеспечивает возможности их естественной «репликации». Использование квантовых состояний, связанных с нелокальностью волновых пакетов, позволяет наблюдать будущие изменения состояния системы (то есть «видеть» будущую структуру)

не на уровне чрезвычайно малых временных интервалов, имеющих место в молекулярных системах, а в достаточно протяженные временные интервалы, измеряемые секундами и минутами.

Супрамолекулярные структуры ассоциированной воды представляют собой новый объект исследований, значимость которого определяется их биологической ролью. Действительно, нуклеиновые кислоты и белки, составляющие основу жизни, становятся активными только после связывания с ассоциированной водой, когда в них появляются заряды в форме ион-радикалов. Именно через динамику наведенных квазистатических электрических полей и магнитных явлений может быть осознано поведение белковых тел как открытой, динамически изменяющейся существенно неравновесной системы, находящейся в обменном взаимодействии с ассоциированной водой объемной жидкости и внешней средой.

Если использовать модель состояния электронов в ассоциатах в виде когерентного сверхтекучего волнового пакета, а именно эта модель оказалась наиболее плодотворной в описании обменных электронных процессов в воде, то взаимодействие белковых тел осуществляется через взаимодействие цепочечных структур ассоциированной воды. Тогда тождество квантовых состояний электронов в ассоциатах является условием, необходимым для осуществления транспорта электронов в цепочках и, наоборот, расположение вблизи «рабочей» резонансной цепочки соседней цепочки с близкими, но не равными резонансу параметрами, будет создавать помехи для подобного транспорта, то есть *блокировать* биологический процесс.

Известные литературные данные по динамике нанокластеров белков и нуклеиновых кислот, рассматриваемые в последующих разделах, указывают на ведущую роль ассоциированной воды в анизотропии внутриглобулярной подвижности и ионного транспорта на основе возникновения конформационных состояний биополимеров, регулируемых фазовыми переходами ассоциированной воды.

Рассмотренные представления о роли ассоциированной фазы воды в процессах переноса электронов позволяют с новых позиций оценить основные причины трансформации электронного состояния внешней среды.

2. Причины трансформации электронного состояния среды

В последние десятилетия в структуре валеогенных факторов окружающей среды произошли существенные изменения, оказывающие влияние на состояние здоровья людей. Причины подобных изменений связаны с резким ростом электромагнитной активности в связи с использованием бытовых и промышленных устройств, влияющих разрушительно на электронную компоненту Земли (телевизионная аппаратура, системы связи, СВЧ-печи, радиофицированные детские игрушки), а также устройств на основе холодно-плазменных технологий (фильтрующие, активирующие, обеззараживающие устройства и другая бытовая техника), промышленных технологий на основе импульсного электронного воздействия на материалы. Нарастающая массовость применения светодиодных источников света с импульсными блоками питания. Использование холодно-плазменных генераторов тепла, функционирующих на принципах ак-

кумуляции рассеянной энергии, плазмохимических и трансмутационных устройств очистки воздуха и воды, плазменных светогенерирующих устройств в малой энергетике и коммунальном хозяйстве также приводит к деградации окружающей среды вследствие изменения электронной насыщенности литосферы Земли.

Деградация электронной компоненты окружающей среды не может не отражаться и на здоровье человека.

Опасность для здоровья человека могут представлять не столько факторы прямого действия (радиационные, электромагнитные, химические, микробиологические), *сколько их опосредованное влияние через изменение электронного состояния окружающей среды*, относящегося к главенствующему валеогенному фактору.

В настоящее время в науке и здравоохранении происходит переосмысление оценки влияния электронной компоненты окружающей среды, воды, атмосферного воздуха, пищи в сторону понимания глубинной связи состояния здоровья человека и биоты в целом с регуляторными функциями живых организмов, выполняемыми с участием электронов. Развиваются концепции когерентного (связанного) состояния электронов в виде закрепленных в ион-радикальных формах активного кислорода, квантовых волновых пакетов, обменных электронных процессов живых организмов с окружающей средой, концепции естественного фона бозе-конденсата электронов (квантовое сверхтекучее связанное состояние электронов с целым спином) как в целом планеты, так и его локальных аномалий, особенно в жилой среде мегаполисов.

В то же время в санитарно-гигиенической практике и медицине данный фактор, влияющий на здоровье человека, пока практически не учитывается. Хотя перенос электронов в клетках хорошо изучен.

Неблагоприятные тенденции изменений электронной компоненты имеют место и в микромире. Деадаптация организма в условиях дефицита поступления электронов из окружающей среды определяется морфо-функциональными изменениями ферментов-переносчиков электронов в крови организма. Известно, что кровь представляет собой многофазную и полидисперсную систему, пространственная устойчивость которой обязана, в основном, электрическим зарядам, которые окружают ее корпускулярные элементы. Поверхность эритроцитов, тромбоцитов и лейкоцитов, так же как и белковые коллоиды кровяной плазмы-альбумины и глобулины, имеют заряд отрицательного знака. Циркулирующая по сосудам кровь, будучи системой коллоидов и суспензий, является в то же время системой электростатической, в которой электрические заряды, окружающие белковые частицы и морфологические элементы, препятствуют коагуляции частиц. При этом они сохраняют свою высокоразвитую физиологически активную поверхность.

Заряд отрицательного знака на мембранах усиливает стабильное состояние большинства морфологических элементов крови или, по крайней мере, предотвращает их разрядку. В условиях дефицита заряда теряется устойчивость электростатических систем крови, что способствует объединению частиц и их коагуляции. По этим причинам длительный дефицит электро-

нов, который человек испытывает, проводя большую часть жизни в закрытых помещениях, ведет к расстройству эндогенного электрообмена, снижает электрические потенциалы кровяных частиц, коллоидов клеток, тканей и органов, нарушает метаболизм.

Таким образом, в нарушениях метаболических процессов проявляется взаимосвязь «болезней цивилизации» (метаболического синдрома) с деградацией фона электронного бозе-конденсата, отмечаемая особенно в мегаполисах. Снижение интенсивности фона электронов и связанный с ним дефицит электронов на первичных рецепторах приводит к напряжению регуляторных систем организма, что сопровождается снижением его функционального резерва и уменьшением защитных свойств. В этих условиях становятся малоэффективными не только медикаментозные методы профилактики и лечения, но даже классические приемы – физические упражнения, закаливания и фитотерапия, так как главная причина изменений в состоянии здоровья – дефицит электронов фона – не устраняется.

Электронный дефицит в окружающей среде провоцирует напряжение электрон-акцепторных функций организма и развитие патологических состояний сердечно-сосудистой системы, психосоматической сферы, нарушение метаболизма клеток и вызывает дисфункцию органов, их гипотрофию и атрофию. Многочисленные исследования биофизиков связывают данные негативные явления с деградацией структурированной фазы воды, влияющей на стабильность структуры белков, на функциональные характеристики биологических мембран, на интенсивность метаболических процессов на клеточном уровне.

Электрон-дефицитная среда, по всей видимости, не только находится в основе патогенеза болезней цивилизации, но и является причиной преждевременного старения. Старение организма происходит одновременно с разрядкой электростатических систем организма, неуклонным уменьшением степени ионизации коллоидов тканей, в результате чего наступает падение дисперсности биокolloидов, укрупнение частиц, падение способности к набуханию, дегидратация, уплотнение протоплазмы, потеря тканями эластичности и многие другие коллоидно-химические явления, характеризующие старение организма.

Согласно свободно-радикальной гипотезе, старение организма происходит вследствие мутаций ДНК и снижения производства аминокислот-антиоксидантов, а по липидной теории – вследствие накопления триглицеридов и снижения каталазной и микросомальной активности, функционально зависящих от электронного состояния контактирующей с белковыми структурами фазы ассоциированной воды.

Окислительный стресс является составной частью патогенеза многих заболеваний, причиной возникновения которых является продуцирование свободных радикалов. Естественно предположить, что изменение концентрации свободных радикалов может привести к нарушению метаболизма клеток и тканей. Тем не менее считается, что эти процессы прямо не связаны с радикальными цепными реакциями, а их вклад в патологический процесс заключается во взаимодействии свободных радикалов с внутриклеточными сигнальными системами.

Так, например, пероксинитрит и синглетный кислород, реагируя с остатками *триптофана* и *тирозина* в белках, могут препятствовать их фосфорилированию соответствующими тирозиновыми и триптофановыми киназами, что создает помехи для нормального функционирования внутриклеточных сигнальных систем. В литературе четко прослеживается общий подход к оценке роли радикалов и антиоксидантных систем в развитии патологии с позиций их участия в процессах регуляции внутриклеточных систем и экспрессии генов.

С другой стороны, свободнорадикальное окисление выполняет необходимые метаболические функции:

- способствует уничтожению отживших клеток, элиминации ксенобиотиков;
- предупреждает злокачественную трансформацию клеток;
- моделирует энергетические процессы за счет активности дыхательной цепи в митохондриях;
- пролиферацию и дифференциацию клеток;
- транспорт ионов;
- участвует в регуляции проницаемости клеточных мембран;
- в разрушении поврежденных хромосом;
- в обеспечении действия инсулина.

В результате свободнорадикального окисления элиминируются внутриклеточные бактерицидные и вирусоцидные факторы, особенно в клеточном ядре. Несмотря на важную оксидативную функцию свободных радикалов в клеточном метаболизме, их активность регулируется антиоксидантной системой. В медицинской литературе принято считать, что основу внутриклеточной антиоксидантной системы составляют трипептид-глутатион, антиоксиданты – аскорбат и убихинон, ферменты – глутатионпероксидаза, глутатионредуктаза, супероксиддисмутаза и каталаза. При этом внутри клетки борьба идет с липопероксидами и высокой концентрацией гидроперекисей при участии ферментов глутатионпероксидазы, каталазы и глутатион-*B*-трансферазы. К внутриклеточной антиоксидантной системе относят еще два белка: глутаредоксин и тиреодоксин, – роль которых двояка. Основная их функция – восстановление БН-групп белков и поддержание их в восстановленном состоянии. Тиреодоксин и глутаредоксин поддерживаются в восстановленном состоянии ГБН-зависимой глутаредоксинредуктазой и НАДФ-зависимой тиреодоксинредуктазой соответственно. Последняя также участвует в восстановлении аскорбатрадикала в аскорбат. Однако участие в этих процессах НАДФ Н свидетельствует об активации дублирующей системы неспецифической регуляции клеточного метаболизма, «запускаемой» при недостатке притока электронов из окружающей среды на первичные рецепторы системы.

Выполненный выше анализ указывает на то, что наряду с антиоксидантной защитой в организме функционирует регуляторная система, прямым образом направленная на противодействие процессам деструкции ассоциированной фазы воды и *поддержания необходимого уровня электронов*. В соответствии с теоретическими положениями начальных стадий клеточного метаболизма, заключающихся в периодически протекающих квантовых процессах конденсации электронов в фазе структурированной клеточной воды (на внешней

поверхности мембраны), ион-радикалы в живой клетке выполняют функцию макроскопического квантового регулятора метаболических процессов и отражают процессы уменьшения энтропии, проявляющиеся в увеличении упорядоченности воды (формирования фазы ассоциированной воды).

Так, существенную роль в поддержании внутриклеточного редокс-потенциала, помимо основной функции, играют глутаредоксин и тиоредоксин. При повышении редокс-потенциала снижается эффективность окислительного фосфорилирования и возникает дополнительная экспрессия ряда генов. Например, активность факторов транскрипции NF-κB и AP-1 непосредственно связана с величиной редокс-потенциала, и изменение последнего отражается на экспрессии генов, в регуляции которых участвуют эти факторы. Кроме поддержания внутриклеточного потенциала, глутатион и связанные с ним ферменты принимают участие в регуляции клеточного метаболизма, процессов пролиферации и деления. *Учитывая, что с внутриклеточным потенциалом связан показатель структурированности воды, определяемый концентрацией ион-радикалов, несущих отрицательный заряд, то и снижение эффективности антиоксидантных систем организма, в конечном счете заболеваемость и старение, связываются с электронным дефицитом и распадом структурированной фазы воды.*

На основании вышеизложенного следует, что роль ион-радикалов и свободных радикалов принципиально различна. Поэтому следует четко дифференцировать анион-радикалы и свободные радикалы, так как в медицинской литературе часто супероксид ион-радикал и пероксид-ион-радикал относят к свободным радикалам. Свободные радикалы образуются при распаде ион-радикалов. При этом ион-радикал является донором электронов и выполняет регуляторные функции, будучи сопряжен в макроскопические ион-молекулярные структуры, а свободные радикалы как диффузионно-подвижные и реакционно-способные соединения принимают участие в биологически востребованных процессах свободнорадикального окисления.

Таким образом, *активные формы внутриклеточного кислорода выполняют не только функцию активации процессов свободнорадикального окисления биомолекул, но и регуляторные, формо- и ритмоформирующие функции, то есть в первую очередь рассматриваются как внутриклеточные мессенджеры.* Учитывая то, что кислородные ион-радикалы продуцируются исключительно за счет поступления электронов из окружающей среды (через систему посредников), то возникает необходимость оценки возможностей компенсации электронного дефицита в окружающей человека среде и, соответственно, снижения влияния нового фактора риска на здоровье человека и устойчивость биоты.

В настоящее время в ФГБУ «НИИ Экологии человека и гигиены окружающей среды имени А.Н. Сысина» Минздравсоцразвития России заложены основные фундаментальные физико-химические основы о влиянии фона электронного бозе-конденсата на состояние воды, разработано приборно-методическое обеспечение контроля ее структурно-энергетического состояния, зависящего от интенсивности фона электронов, созданы макетные образцы аппаратуры для измерений интенсивности фона электронов в окружающей среде, показаны возможности коррекции фона в помещениях

зданий и решен ряд других вопросов, значимых для развития направления исследований. Проводятся комплексные медико-технические и медико-биологические исследования, промежуточными целями которых служит разработка нормативной базы в области регулирования электронного состояния среды, воды и пищи и изыскание возможностей внедрения новых технологий для коррекции фона электронов в окружающей среде.

Электрические процессы внутри организма [1.49]

Окружающая живой организм природа (земля и воздух) имеет исторически сложившийся отрицательный электрический заряд. В силу эволюционного развития «...все жидкие среды организма (протоплазма клеток, межклеточная жидкость, лимфа и кровь) являются электростатическими коллоидами, т. к. их частицы имеют отрицательный заряд. Такой же заряд имеют плазма и все форменные элементы крови (эритроциты, лейкоциты и тромбоциты), что создает электрораспор (электроотталкивание из-за одноименности зарядов) между ними и препятствует их сталкиванию друг с другом и агрегации (слипаемости), а это создает оптимальные условия для циркуляции крови». Аналогичный механизм электроотталкивания частиц крови рассмотрен и в работах [1.50, 1.51].

Глаз человека имеет сложную систему кровоснабжения, которая подвергается воздействию фотонного потока от источников света. Коллоидные свойства крови связаны с наличием белков в плазме. За счёт этого обеспечивается постоянство жидкого состава крови, так как молекулы белка обладают способностью удерживать воду. Каждый поглощенный фотон порождает четыре электрона, что существенно может влиять на электронное состояние воды и, как следствие, на ее свойства.

Молекула воды полярна: кислородный атом несет частичный отрицательный заряд, а два водородных – частично положительные заряды. Это делает молекулу воды диполем. Поэтому при взаимодействии молекул воды между ними устанавливаются водородные связи, которые влияют на физические свойства воды. Из-за высокой полярности молекул вода является растворителем других полярных соединений, не имея себе равных. В воде растворяется больше веществ, чем в любой другой жидкости. Именно поэтому в водной среде клетки осуществляется множество химических реакций. Вода растворяет продукты обмена веществ и выводит их из клетки и организма в целом. *Согласно современной кластратно-фрактальной модели воды – она может находиться в свободно молекулярном состоянии и в кластерном состоянии [1.52].*

Это очень важно для понимания межклеточного водообмена в рамках аквапориновой системы человека.

Долгое время до 2003 года считалось, что вода легко преодолевает биологические мембраны путем простой диффузии, хотя факты и точные расчеты все более противоречили такой концепции. В 2003 году молекулярный биолог Питер Эгр (Peter Agre) и биохимик Родерик Мак Киннон (Roderick MacKinnon) получили Нобелевскую премию по химии за открытие системы особых протеинов аквапоринов (AQP) – белков, регулирующих междуклеточный транспорт воды в тканях [1.53, 1.54].

Аквапорины, или «водные каналы», избирательно пропускают молекулы воды, позволяя ей поступать в клетку и покидать её, в то же время, препятствуя протoku ионов и других растворимых веществ. Другие акваглицеропорины пропускают не только воду, но и глицерин, CO_2 , аммиак и мочевины, в зависимости от диаметра и формы образуемой поры, однако аквапорины совершенно непроницаемы для заряженных частиц, и это их свойство позволяет сохранять электрохимический мембранный потенциал.

Открытие трансмембранных водных каналов (аквапоринов), которые обеспечивают быстрый транспорт воды через биологические мембраны всех живых организмов (живых, растений и микроорганизмов), опровергло традиционную концепцию и явилось выдающимся достижением общей биологии, ботаники, физиологии, медицины и офтальмологии [1.55, 1.56].

Раздел 1.6. Гигиенические особенности влияния света естественных источников на человека

Естественные источники света и периодичность смены уровня и спектра освещения в значительной степени влияют на биологические процессы всего живого и неживого на Земле. Солнечный свет сформировал структуру глаза и систему его защиты от вредного воздействия избыточной дозы света, которая была дополнена гигиеническими методами защиты.

Из солнечного спектра света каждый биологический объект в соответствии со своей светочувствительной структурой (системой рецепторов) вырезает свой спектр света, который способствует поддержанию его устойчивого жизненного состояния, здоровья, плодоношения. Светочувствительная структура состоит из рецепторов, которые настроены на соответствующие уровни стимула. Адекватный стимул (воздействующий фактор) – тип и величина стимула, на который настроен рецептор.

Адекватный стимул имеет оптимальный уровень, при котором рецептор функционально эффективен.

Искусственный спектр света, соответствующий (имеющий в спектре адекватные стимулы (потoki фотонов)) светочувствительной структуре биологического объекта, называется биологически адекватным спектром света. Для него и для каждого биообъекта он свой.

Спектр солнечного света имеет основополагающее воздействие на окружающий мир. Человек заметил это на заре цивилизации и наделил естественные источники света символом богов, в образе которых зашифровал знания об этом воздействии. Под воздействием естественных источников света Солнца и Луны происходило эволюционное формирование человека.

Естественными источниками света является:

- Солнце в дневное время суток;
- Луна и звездное небо в ночное время суток.

Луна переотражает солнечный свет, а звезды являются источниками света на ночном небосводе.

Образ Солнца в жизни, мифологии и искусстве

Славянское слово «солнце» образовано от древнего индоевропейского корня *saui* – «светить». Культ Солнца существовал у всех народов, пере-

шедших от кочевого скотоводства к земледелию. Символика Солнца очень богата. Поэтому художники всех времен не обходили эту тему стороной. Многие художники на своих картинах пытались передать животворящую силу солнечного света, наполняя человека жизненной силой, спокойствием и уверенностью в завтрашнем дне. Это характерно для вечерних пейзажей И. К. Айвазовского.



Рис. 1.32. «Вечер на Украине», Айвазовский Иван Константинович (1817–1900)

Солнечный свет, который пробивается через зеленую вуаль листьев, создает ощущение первозданного света леса, в котором и формировался человек и его зрение. В этой световой среде без избыточного уровня освещенности глаз без особого напряжения легко различает предметы малых размеров и пребывает в комфортном блаженстве. С точки зрения гигиены эта световая среда имеет цветовую температуру менее 3500 К.

Солнце не только излучает свет, но создает электромагнитные бури в периоды своей активности. А. Л. Чижевский (1915 г.) заметил, что во время солнечной активности люди, страдавшие болезнями нервной и сердечно-сосудистой систем, переживали достаточно сильные приступы. Как установил А. Л. Чижевский (1929), на изменения условий в космосе, прежде всего, реагирует нервная система человека. Этот вывод был подтвержден на статистическом материале, охватившем более 200 000 случаев смерти от заболеваний нервной системы за несколько лет в крупных городах Западной Европы. После него двое французских исследователей Фора и Сарду также обнаружили зависимость между магнитными бурями и сердечно-сосудистыми заболеваниями. По их выкладкам получалось, что в 85% наблюдаемых городов Франции число сердечно-сосудистых больных увеличивалось в моменты магнитных бурь.

Луна не только отражает солнечный свет, но имеет сильное гравитационное и градиент-гравитационное воздействие на человека и природу.

Свет от многообразия звезд не только отражается на сетчатке глаза человека, но имеет огромное положительное эмоциональное воздействие на психику человека.

Спектральные характеристики световой среды от естественных источников света меняются в зависимости от времени суток (рис. 1.33).

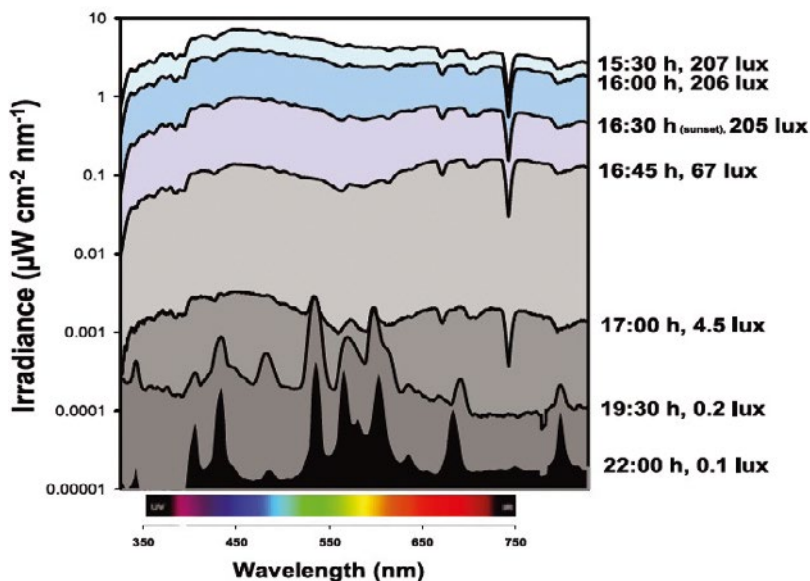


Рис. 1.33. Спектральные характеристики естественного света в зависимости от времени суток

При изменении уровня освещенности и цветовой температуры солнечного света меняется цветовое ощущение окружающей природы и психоэмоциональное состояние человека. От радостного блаженного до истерично-напряженного при лунном свете. Чем меньше информации человек извлекает об окружающей среде, тем выше уровень его эмоционального напряжения и беспокойства за свою безопасность. Естественные источники света воздействуют на человека комплексно в видимом и в невидимом диапазоне.

1.6.1. Солнечный свет и его влияние на глаза и здоровье человека

Солнце – это и пища, и питье для глаз. Недаром еще в Библии говорилось: «Сладок свет и приятно для глаз видеть солнце» (Екклезиаст, 11:7).



Все живое на Земле существует благодаря солнечному свету. Солнечный свет – это чудодейственный эликсир, который может избавить от всех болезней. Воздействуя на человека различными цветами солнечного спектра, можно излечить его от болезней, сбалансировать работу всех органов и систем организма.

Практически все болезни дают о себе знать тогда, когда человек недополучает какую-либо часть солнечного спектра. Определение условий и параметров солнечного света, когда он «сладок и приятен для глаз», позволяющих синтезировать спектрально-энергетический паттерн света для оценки искусственных источников на безопасность по наличию избыточной дозы синего и красного света в их спектре, является важной методической задачей.

Медицинская энциклопедия определяет глаза как «орган зрения, воспринимающий световые раздражения». Лечебные свойства света были известны с давних времен. Древние греки оставили записи о разработанной ими теории и практике солнечной терапии. Город Гелиополис (город Солнца) славился своими целительными храмами, в которых свет использовали для лечения людей. Сохранились свидетельства о лечебном использовании *спектральных компонентов света* – цветов радуги – в Древнем Египте. И в наше время солнечный свет имеет большое влияние на здоровье человека.

Все мы замечали, как улучшается настроение и самочувствие, когда после долгой пасмурной зимы из-за туч выглядывает долгожданное весеннее солнце. Все дело в том, что видимый солнечный свет оказывает вполне конкретное влияние на человеческий организм, а именно:

- повышает активность коры головного мозга;
- улучшает работу сердечно-сосудистой системы;
- активизирует обмен веществ.

Кроме видимого света, доля которого составляет лишь 40% в солнечном спектре, Солнце посылает к Земле инфракрасное и ультрафиолетовое излучение. Инфракрасное излучение – это тепло, которое мы ощущаем, находясь под солнцем. Человеческая кожа практически полностью задерживает ИК-лучи, и они проникают внутрь организма не более чем на 2 сантиметра. Лечебные свойства инфракрасного излучения, которое широко используется в медицине, как раз обусловлены разницей температур на поверхности кожи и в ее глубине. Такое тепловое воздействие приводит к активизации системы терморегуляции организма, что имеет ярко выраженное терапевтическое значение для лечения многих заболеваний.

В случае с ультрафиолетовым излучением все несколько сложнее. Дело в том, что УФ-лучи воздействуют на человеческий организм двояко. С одной стороны, они являются абсолютно необходимыми для нормального функционирования человеческого организма (синтез витамина D под действием ультрафиолетовых лучей диапазона «В»), а с другой – их переизбыток может привести к угнетению иммунитета и серьезным заболеваниям (вплоть до рака кожи).

Общая схема синтеза витамина D₃ приведена на рис. 1.34.

Кстати, загар – это защитный механизм, придуманный природой для защиты от переизбытка (избыточной дозы) ультрафиолета. Под влиянием солнечного света кожа начинает выделять пигмент *меланин*, который затемняет цвет кожи и задерживает ультрафиолетовые лучи. **Меланин** образуется при полимеризации продуктов окисления *тирозина* в специализированных отростчатых клетках эпидермиса – меланоцитах. Гранулы, заполненные

меланином, – меланосомы – транспортируются по отросткам меланоцитов и передаются кератиноцитам. Распределение меланоцитов приведено на рис. 1.35.

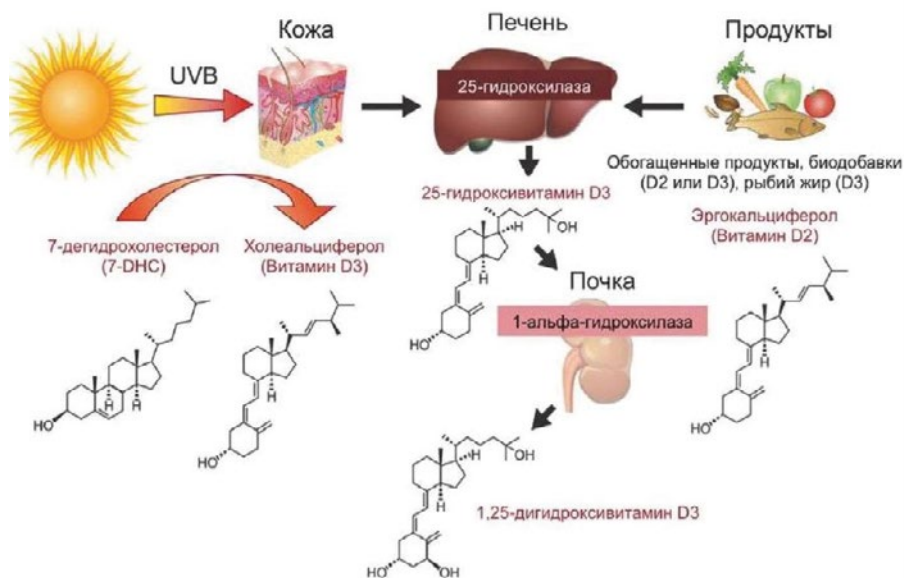


Рис. 1.34. Общая схема синтеза витамина D₃ и поступления витамина D₃ с продуктами питания

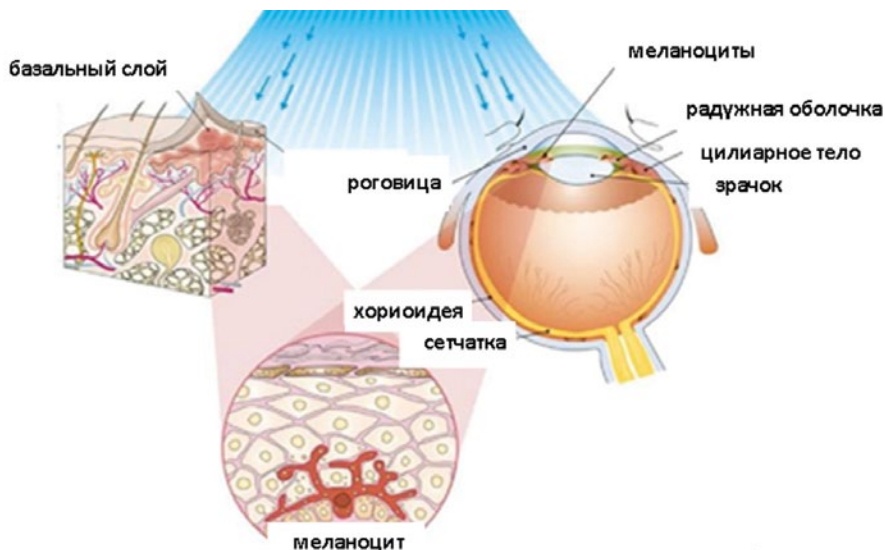


Рис. 1.35. Общая схема размещения меланоцитов, которые вырабатывают меланин при воздействии УФ-поддиапазона солнечного света

Меланиновую защиту природа применила в структуре радужной оболочки и сетчатки глаза человека. Поглощение света меланином довольно быстро спадает при росте длины волны от 300 до 1000 нм. В диапазоне 300–450 нм поглощение максимально и зависит от *pH воды* в организме. Меланин является одним из самых мощных антиоксидантов (концентрация парамагнитных центров $8 \cdot 10^{17}$ спин\гр.). Концентрация парамагнитных центров (ПМЦ) определяет число частиц с неспаренным электроном в единице объема или массы вещества и является важнейшей физико-химической характеристикой, позволяющей судить о реакционной способности вещества [1.57, 1.58, 1.59, 1.60].

Меланину отводится роль эндогенного регулятора окислительно-восстановительных потенциалов в нашем случае в условиях солнечной радиации. Тем не менее некоторые люди в погоне за модным загаром умудряются получить не только солнечные ожоги, но и в некоторых случаях – меланому (рак кожи).

Соотношение потоков излучения Солнца в трех диапазонах УФ-области приведено в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Излучение искусственных источников для установки фотобиологического действия в диапазонах А, В и С УФ-области спектра

Тип излучателя	УФС (180–280 нм), %	УФВ (280–320 нм), %	УФА (320–400 нм), %
Заатмосферное солнце	5,6	20,1	74,3
Облученность от солнца и неба (июнь м-ц, ясно)	0	7,4	92,6
Облученность от солнца и неба (июнь м-ц, пасмурно)	0	7,8	92,2
Бактерицидная лампа ДБМ-30 (ВНИИИС)	96,71	2,0	1,3
Эритемные лампы ЛЭЗО	1,0	63,0	36,0
УФ ЛЛ для загара и пигментации кожи (CLEO, «Philips» и др.)	0	1–5	99–95
ЛЛ «полного спектра» («BioSum» NL36W «Radium»)	0	2,0	98 + видимое излучение

Для понимания опасных процессов, возникающих в момент загара, рассмотрим результаты их ускоренной оценки при искусственном освещении. Для искусственного загара применяются высокоэффективные люминесцентные лампы, которые в диапазоне 320–400 нм имеют эффективность 95%. При такой эффективности облучения кожа человека может подвергаться негативному воздействию, что и подтверждается статистикой кожных и других заболеваний при загаре искусственными источниками. Всемирная организация здравоохранения классифицирует устройства для ультрафиолетового загара как «вредные и канцерогенные». По данным экспертов Всемирной ассоциации здравоохранения, риск **меланомы** после загара в солярии увеличивается на 76%. Согласитесь, цифра слишком большая для того, чтобы ее игнорировать. Это обусловлено тем, что люминесцентные лампы для загара имеют избыточную дозу УФ и располагаются вблизи от кожи пациента (рис. 1.36).



Рис. 1.36. Солярий SOLTRON V-50 Citrus City оборудован 42 люминесцентными лампами по 180 Вт

При загаре в коже человека образуется меланин. Синтез пигмента происходит в органеллах меланоцитов – меланосомах, и начинается с **окисления тирозина** (аминокислоты). *Физики изучили электрические свойства животного пигмента меланина и предложили использовать его в качестве биосовместимого полупроводника для электроники.* Работа опубликована в журнале *Proceedings of the National Academy of Sciences*, ее краткое содержание можно прочитать на сайте Phys. Org. Ученые провели исследование самых разных физических свойств меланина: проводимости, электронного парамагнитного резонанса, характеристик сохранения спина. Авторы также проследили, как меняются эти свойства в *присутствии воды* и при изменении **кислотности среды pH**. *Оказалось, что меланин способен проводить электричество не только так, как это делают полупроводники, – в результате движения электронов и дырок. Он также проводит ток благодаря движению ионов – так, как это происходит у живых организмов, например, в дыхательной цепи.* Таким образом, меланин является одновременно и полупроводником, и транспортером ионов.

Проблема взаимодействия органического полупроводника меланина кожи загорелого человека и электронного состояния среды ждет своей гигиенической оценки. Понимание этих процессов очень важно, так как меланин присутствует в сетчатке глаза. В пигментном эпителии сетчатки происходит абсорбция световой энергии (гранулы меланина), «обрезая» рассеянный свет, повышая при этом разрешающую способность зрительной системы. Как показали работы М. А. Островского, число зерен липофусцина прогрессивно увеличивается с возрастом. Наоборот, количество меланосом с возрастом уменьшается [1.61]. Полагают, что уменьшение количества меланосом связано с деятельностью лизосомного аппарата клеток и возрастным изменением меланина. Меланин клеток пигментного эпителия поглощает световую энергию достаточно широкого спектра, защищая фоторецепторы и цитоплазму пигментных эпителиоцитов от повреждающего действия света. Меланин обладает свойством свободного радикала и функционирует так же, как полимер, участвующий в обмене электронов [1.61].

Во всех соляриях применяется большое количество люминесцентных ламп, которые являются источниками электромагнитного излучения и магнитного поля. Это, в комплексе с УФ-излучением, может оказывать нега-

тивное воздействие на человека, который загорает в солярии. Водородные связи, соединяющие основания противоположных цепей, относятся к категории слабых, но благодаря своей многочисленности в молекуле ДНК они прочно стабилизируют ее структуру. Однако если раствор ДНК нагреть примерно до 60° С, эти связи рвутся и цепи расходятся – происходит денатурация ДНК (плавление). Обе цепи ДНК закручены по спирали относительно воображаемой оси, как будто они навиты на цилиндр. Эта структура называется двойной спиралью. На каждый виток спирали приходится десять пар оснований.

Как УФ-А-лучи, так и УФ-В-лучи разрушают волокна коллагена и ускоряют старение кожи. УФ-А-лучи не разрушают ДНК напрямую, как это делают УФ-В-лучи, но способны генерировать высоко реактивные химические вещества-посредники – гидроксилы и свободные кислородные радикалы, которые разрушают ДНК. Спектр УФ-А не вызывает покраснения (эритемы) кожи, поэтому его воздействие нельзя измерить степенью фактора защиты от солнца (SPF), содержащегося в защитных кремах. Говоря о защите кожи, нужно отметить, что пока не существует надежного клинического способа измерить блокированное УФ-А-излучение; важно лишь помнить, что солнцезащитные кремы задерживают и УФ-А-, и УФ-В-излучения. УФ-излучение с более короткой длиной волны, обозначаемое как УФ-В, способно на молекулярном уровне разрушать основные строительные блоки организма – молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). ДНК легко поглощает УФ-В-излучение, которое меняет форму молекулы, разрушая водородные связи, вызывая склеивание белков и разрывы нитей ДНК (рис. 1.37).

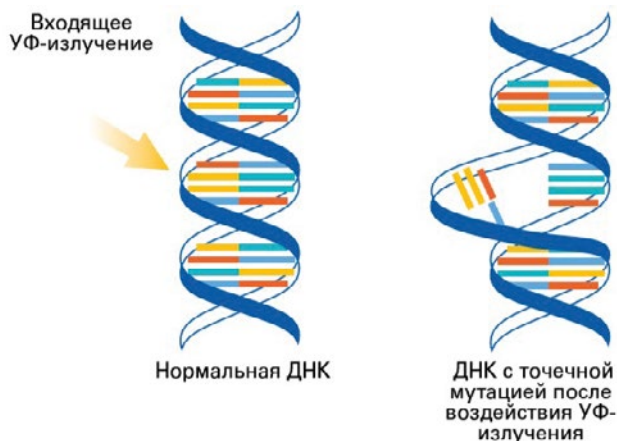


Рис. 1.37. УФ-излучение способно разрушать химические связи молекулы ДНК, приводя к гибели или смещению нуклеотидов

Изменения в молекуле ДНК приводят к тому, что ферменты, участвующие в выработке белка, не могут прочесть код ДНК на отдельных участках молекулы, и в результате происходит выработка дефектных белков или даже гибель клеток.

Коллагенарии – это фактически новое поколение соляриев, в которые установлены лампы низкого давления с особым светло-красным спектром свечения, миссией которых является сохранение молодости и здоровья кожи без каких-либо рисков и побочных эффектов. Согласно мнению экспертов, красные световые волны длиной 633 нанометра восстанавливают упругость кожного покрова, его эластичность и прочность. Они легко проникают в дерму – слой соединительной ткани под эпидермисом, служащий для него своеобразным каркасом и отвечающий за свойства кожного покрова. Активное поглощение фибропластами кожи красного света (633 нм) вызывает ускорение обмена веществ. В результате активируется секретирование полисахаридов, из которых формируются коллагеновые и эластические волокна. Таким образом, свет коллагеновых ламп стимулирует естественный процесс регенерации, способствуя сокращению морщин, исчезновению пигментных пятен, восстановлению водного баланса кожи, ее упругости и здорового блеска.

Чтобы омолаживающий эффект был более оптимальным, коллагеновую терапию проводят с одновременным использованием специальных косметических средств с гиалуроновой кислотой. Гиалуроновая кислота поддерживает необходимый уровень увлажненности всех слоев кожного покрова (эпидермиса, дермы и гиподермы) и вместе с белковыми комплексами заполняет соединительные ткани коллагеновых и эластиновых волокон, скрепляя их между собой.

Комплексная терапия коллагеновым светом в сочетании с применением гиалуроновых комплексов с короткими и длинными цепочками гарантирует практически мгновенный, ярко выраженный результат. Кожа становится упругой и гладкой, излучающей молодость и здоровье. *Понимание процессов повышения качества коллагена очень важно для понимания взаимодействия красного света 633 нм с коллагеном ткани глаза.*

Подробно вопросы влияния солнечных лучей УФ на здоровье человека и экосистему изложены в авторитетном научном обзоре *«Окружающая среда и здоровье при воздействии УФ, со ссылкой на глобальное истощение озонового слоя»*, опубликованном под совместным спонсорством Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде, Международной организации труда и Всемирной организации здравоохранения [1.62].

Как уже говорилось выше, солнечный свет улучшает настроение, а значит, является идеальным природным антидепрессантом. Это его свойство широко используется в странах северной Европы, где людям, страдающим от зимних стрессов и депрессий, назначают посещение солярия. Строго дозированные солнечные ванны также рекомендуют людям с расстройствами эндокринной системы (щитовидной железы, надпочечников), нарушениями обмена веществ и малокровием. Существует несколько правил, придерживаясь которых, вы сможете обезопасить себя от разрушительного воздействия солнечных лучей и получить пользу от солнечных ванн.

1.6.1.1. Правила приема солнечных ванн и их проекция на спектрально-энергетические характеристики солнечного света. Эффект «бабочки Илья» [1.63]

Правила приема солнечных ванн отработаны поколениями гигиенистов.

1. Солнечные ванны рекомендуется принимать от восхода солнца до 11 часов дня и с 16 часов до захода. Находиться под полуденным солнцем без одежды (недолго) можно только тем людям, которые уже хорошо загорели или имеют от природы темный цвет кожи (*в этом интервале времени (от восхода до 11 часов и от 16 часов до захода) минимум дозы синего*).

2. Старайтесь не загорать на полный желудок. Воздержитесь от приема пищи за час до и после солнечной ванны (*в интервале минимума в крови глюкозы и инсулина*).

3. Солнечные ванны нужно принимать, не лежа под палящим солнцем, как это делает большинство людей, а в тени и в движении. Так влияние солнца на кожу будет более равномерным, *а глаза будут защищены от избыточной дозы синего света*.

4. Нарастивать продолжительность солнечных ванн нужно постепенно, начиная с 10 минут в день. В дальнейшем пребывание без одежды в тени можно увеличивать на 5 минут в день. Таким образом, за месяц-полтора ваша кожа полностью адаптируется к солнцу, и вы обезопасите себя от солнечных ожогов на все лето.

5. Принимая солнечные ванны, ориентируйтесь не только на их продолжительность, но и на тип своей кожи. Особенно осторожными нужно быть людям, имеющим светлую кожу, большое количество родимых или пигментных пятен, а также тем, у кого в роду уже встречались случаи заболевания меланомой.

Категорически не рекомендуется находиться под открытым солнцем людям с повышенной температурой тела, в лихорадочном состоянии, после острого пищевого отравления и особенно страдающим от любой формы рака или туберкулеза.

В любом случае, использование солнечных лучей в качестве закаливающего и оздоровительного средства возможно только при соблюдении принципа – «все должно быть в меру».

Спектр солнечного света, случайный по сочетанию значений параметров, но детерминированный по составу, порождает в органах человека множество биохимических и других детерминированных и случайных процессов, приводящих как к негативным, так и положительным проявлениям, которые в ближайшем или отдаленном будущем могут привести как к многообразию болезней, так и оздоровлению организма. Такая модель «солнечный свет и здоровье человека» хорошо описывается математической теорией Хаоса. Базовым понятием этой теории является понятие начальных условий. Чувствительность к начальным условиям более известна в теории хаоса как «эффект бабочки». В настоящее время теория Хаоса находит широкое применение для прогнозирования состояния здоровья человека – например, работы сердца, терапии раковых заболеваний и даже популяции людей в условиях Крайнего Севера [1.41, 1.42, 1.43, 1.44].

В общественной медицине именно гигиена занимается вопросами профилактики болезней путем формирования гигиенических условий окружающей среды. С математической точки зрения это и есть начальные условия в теории Хаоса при решении задач математического моделирования в области прогнозирования индивидуального и популяционного здоровья. Учитывая вышесказанное, на спектральном пространстве солнечного света можно выделить области визуальных и не визуальных эффектов воздействия солнечного спектра и нанести спектры дневного света (голубого неба), а также лампы накаливания (рис. 1.38).

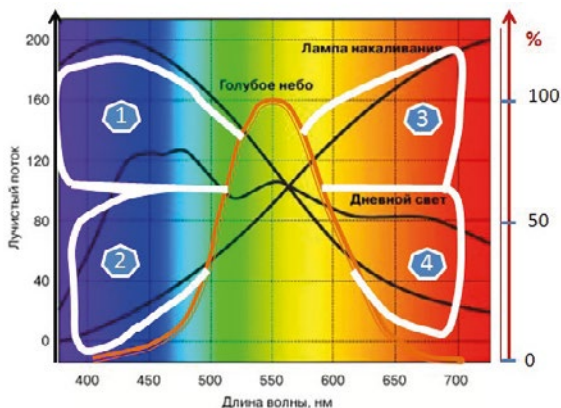


Рис. 1.38. Кривая видности, спектр лампы накаливания и спектр солнечного света с нанесением областей не визуального воздействия света



Рис. 1.39. Бабочка – переливница тополёвая, или радужница малая, или переливница малая (лат. *Apatura ilia*) – дневная бабочка из сем. *Nymphalidae*. Илия (римская мифология) – Рея Сильвия, мать Ромула и Рема, родоначальница римлян

Визуальные эффекты восприятия солнечного спектра характеризуются кривой видности. Не визуальные эффекты характеризуются областями 1, 2, 3 и 4. При значениях параметров солнечного света, лежащих в областях 2 и 4, не нужно применять гигиенические меры защиты, так как здесь лежат спектрально-энергетические характеристики витального фактора (животворящего света). От значений параметров солнечного света, лежащих в областях 1 и 3, нужно применять гигиенические меры защиты, так как тут лежат спектрально-энергетические характеристики, имеющие избыточные дозы света (синего или красного).

Контур кривой видности и областей не визуального воздействия света напоминают контур, раскраска которого похожа на раскраску бабочки (рис. 1.39).

Бабочка Илия имеет перелив в спектре окраса от синих левых крыльев до правых – темно-красных, что очень символично.

К формированию начальных условий мы подходим не как к малым изменениям величины их параметра, а как к изменению формы спектрально-

энергетической характеристики воздействующего фактора (света). Исходя из этого и по аналогии с «эффектом бабочки» в теории Хаоса мы введем понятие эффект «бабочки Илия».

Эффект «бабочки Илия» учитывает как изменения формы спектрально-энергетической характеристики воздействующего фактора (света), так и влияет на прогнозируемые состояния здоровья человека в системе «спектр света – глаз – здоровье человека». Взмах «бабочки Илия» в лаборатории светотехника может породить эпидемию миопии и растройство гормональных систем у населения целых стран.

При математическом моделировании (в рамках теории Хаоса) следует учитывать, как спектрально-энергетические характеристики искусственных источников света влияют на состояние здоровья человека как в ближнем, так и в отдаленном будущем. С позиции эффекта «бабочки Илия» представлена методика оценки избыточной (или дефицитной) доли света в спектрально-энергетической характеристике искусственных источников белого света.

В приведенной методике [1.63] определения избыточной дозы синего света в спектре светодиодного света при цветовой температуре 4000 К нуждается в корректировке спектрально-энергетический паттерн (СЭП) света для проведения сравнительной оценки по всей ширине спектра от 380 нм до 700 нм.

В работах [1.64, 1.65, 1.66] также приведены результаты негативного влияния избыточной дозы красного света на формирование склеры глаза и оптической оси глаза.

Основываясь на вышесказанном и на:

- гигиенических правилах пребывания в световой среде солнечного света;
 - пространственно-временных законах проявления солнечного света;
 - «особых точках» в спектрально-энергетических характеристиках солнечного света,
- можно сформулировать гигиенические нормы и правила комфортного освещения и определить спектрально-энергетический паттерн (СЭП) спектра света, который «сладок и приятен для глаз» человека и его здоровья.

1.6.1.2. Пространственно-временные законы проявления солнечного света [1.63]

Спектр солнечного света подчиняется пространственно-временному закону, суть которого в том, что каждой точке Земли и временному моменту соответствует свой спектр света. Спектр солнечного света меняется даже в течение дня от восхода до заката. В полдень в спектре солнечного света наблюдается самая большая доза синего света, которая в разы превышает аналогичную дозу на восходе и на закате. Солнечный свет характеризуется цветовой температурой, и чем она выше, тем больше доза синего света в спектре. В течение дня цветовой температура солнечного света может изменяться от 1000 К до 17000 К и зависит от погоды, сезона и места расположения на Земле (рис. 1.40).

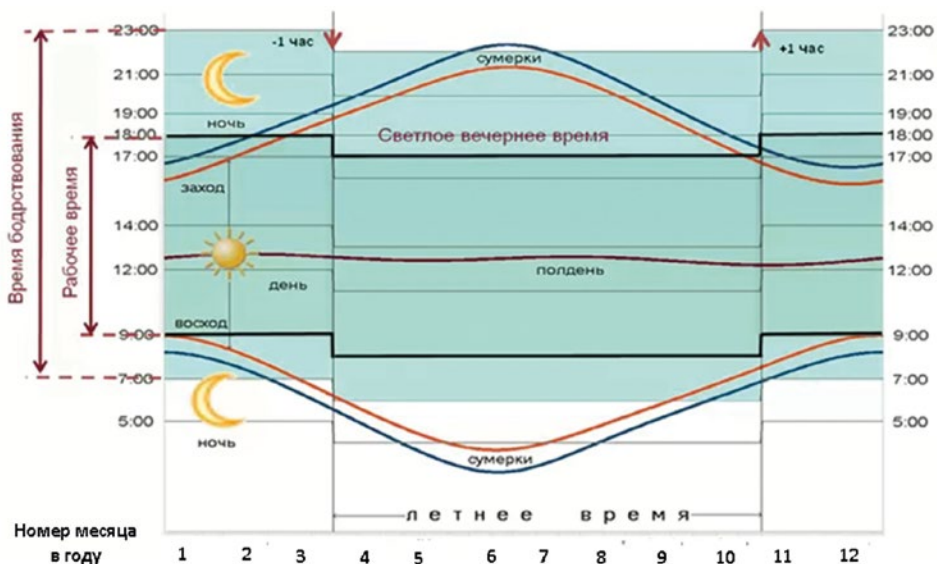


Рис. 1.40. Распределение светлого и темного времени суток в Москве в течение календарного года (с учетом сумерек) [1.67]

Самая высокая цветовая температура солнечного света отмечается в полдень. Если в это время не принимать гигиенических мер по защите глаз, то их можно существенно повредить или создать условия деградации зрения [1.68, 1.69, 1.70].

Современный урбанизированный человек рождается, учится, работает и болеет в условиях искусственного освещения – люминесцентных ламп и ламп накаливания, на смену которым в директивном порядке внедряются светодиодные источники света, которые с коррелированной цветовой температурой 4200 К, при уровне освещенности 500 люкс, имеют избыточную дозу синего света, равную дозе синего света в спектре солнечного света с цветовой температурой, равной 6500 К. Такая цветовая температура солнечного света может воздействовать на глаз в течение 3 часов, если человек не принял меры по защите от повышенной дозы синего света. А при светодиодном освещении (с 4200 К) с такой высокой избыточной долей синего света человек может находиться от рассвета до заката. При этом глаза человека подвергаются длительному воздействию избыточной дозы синего света.

Медициной накоплен большой опыт по сохранению здоровья человека в условиях солнечной световой среды. На основе этого опыта сформулированы гигиенические правила пребывания в солнечной световой среде. Солнечные ванны рекомендуется принимать от восхода солнца до 11 часов дня и с 16 часов до захода. Врачи не рекомендуют находиться под полуденным солнцем без одежды (недолго), но рекомендуют принимать гигиенические меры по защите глаз (солнцезащитные очки, козырьки). В любом случае, использование солнечных лучей в качестве закаляющего и оздоровительного средства возможно только при соблюдении принципа – «все должно

быть в меру». Мера – это гигиеническая норма, минимизирующая уровень негативного воздействия радиации солнечного света. Она отвечает требованиям минимаксной стратегии. Минимум вреда для здоровья и максимум пользы для человека. Этому критерию отвечает закон толерантности (закон оптимума, или закон В. Шелфорда).

1.6.1.3. Спектрально-энергетические характеристики солнечного света, их «особые точки» и области избыточной дозы синего света [1.63]

На рис. 1.41 приведены спектры солнечного света в зависимости от цветовой температуры, а также нанесены границы гигиенической нормы цветовой температуры световой среды, в которой можно не применять специальные меры защиты от дозы синего света. Согласно общеизвестным правилам пребывания на солнечном свете оптимальной является солнечная световая среда с цветовой температурой менее 5500 К.

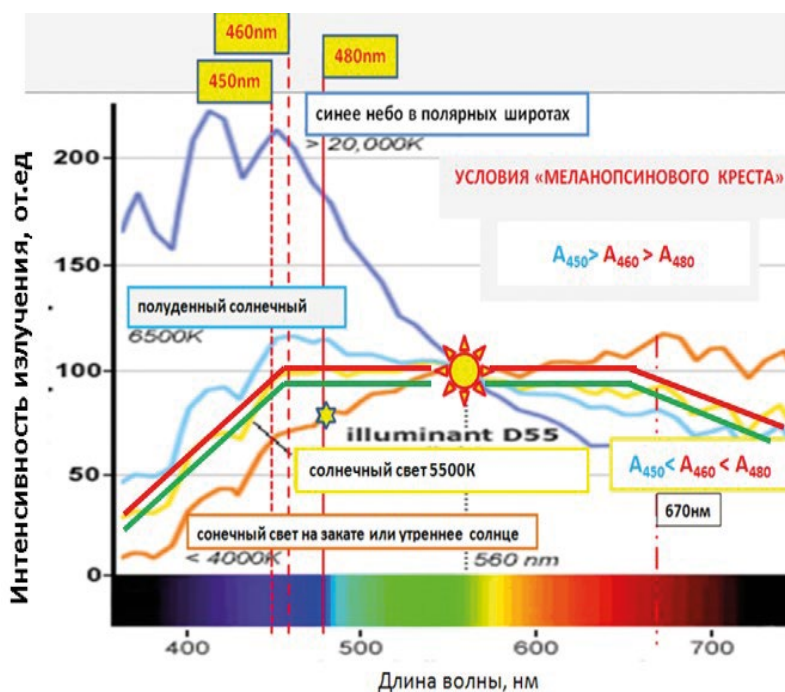


Рис. 1.41. Спектры солнечного света в зависимости от цветовой температуры

Спектры солнечного света в зависимости от цветовой температуры (T_k) представляют собой совокупность характеристик $A^T(\lambda)$ при заданном значении T_k .

Все характеристики $A^T(\lambda)$ пересекаются в «особой точке» при $\lambda=560$ нм.

Также на рис. 1.40 нанесены специфические линии, значимые для:

- ганглиозных клеток сетчатки ($\lambda = 460$ нм – управление гормональной системой человека, и $\lambda = 480$ нм – управление диаметром зрачка (его сужением и удержанием));

– клеток сетчатки ($\lambda = 450$ нм – вызывающих их поражение при избыточной дозе синего света).

При пересечении $A^T(\lambda)$ при $T_k = 5500$ К с линиями $A(450)$, $A(450)$ и $A(450)$ образуется совокупность точек, равных значениям $A_{450} = A_{460} = A_{480}$.

Если через совокупность особых точек ($A_{450}, A_{460}, A_{480}$) и точку пересечения функций $A^T(\lambda)$, а также по линии $A^T(\lambda)$ при $T_k = 5500$ К провести красно-зеленую линию, то она разделит пространство характеристик $A^T(\lambda)$ солнечного света на два подпространства, на одном из которых соблюдаются условия «меланопсинного креста» ($A_{450} > A_{460} > A_{480}$), а на другом эти условия не соблюдаются ($A_{450} < A_{460} < A_{480}$).

Из рис. 1.40 видно, что в интервале цветовой температуры от 5500 К до 20000 К у солнечного света соблюдаются условия «меланопсинного креста». В этом интервале цветовой температуры необходимо применять гигиенические меры по защите от избыточной дозы синего света.

Для интервала цветовой температуры от менее 4000 К до 5500 К эти условия не соблюдаются. В этом диапазоне T_k гигиенических мер защиты можно не применять.

Используя данные рис. 1.40, проведем качественную сравнительную оценку соотношения между амплитудными значениями функций $A_{460}(T_k)$ и $A_{480}(T_k)$. Значения длин волн 460 нм и 480 нм, которые являются базовыми длинами волн для ганглиозных клеток. На рис. 1.42 приведены функции $A_{460}(T_k)$ и $A_{480}(T_k)$.

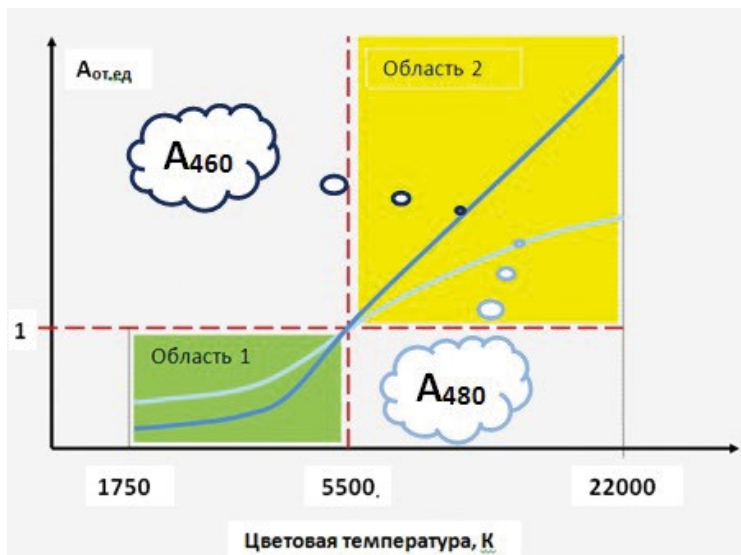


Рис. 1.42. Качественная оценка функций $A_{460}(T_k)$ и $A_{480}(T_k)$

Кривые зависимости $A_{460}(T_k)$ и $A_{480}(T_k)$ пересекаются в точке 5500 К, и при этом можно выделить две характерные области.

В области 1 соблюдается соотношение $A_{460} < A_{480}$ в диапазоне значений $T_k < 5500$ К.

В области 2 соблюдается соотношение $A_{460} > A_{480}$ в диапазоне значений $T_k > 5500$ К.

В точке $T_k = 5500$ К соблюдается соотношение $A_{460} = A_{480}$.

В области 2, по рекомендации врачей, для детей необходимо принимать гигиенические меры по защите глаз от избыточной дозы синего в спектре солнечного света. Эту область можно определить как область предельных значений $A_{460}(T_k)$ и $A_{480}(T_k)$.

Область значений вокруг точки с координатами (1 и 5500 К) с гигиенической точки зрения определяется как область предельно допустимых значений. Тогда область 1 с гигиенической точки зрения определяется как область допустимых значений.

Значения цветовой температуры намного менее 5500 К должны быть скорректированы, исходя из требуемых уровней освещенности и зрительной комфортности по правилу Крюитхофа (рис. 1.43).

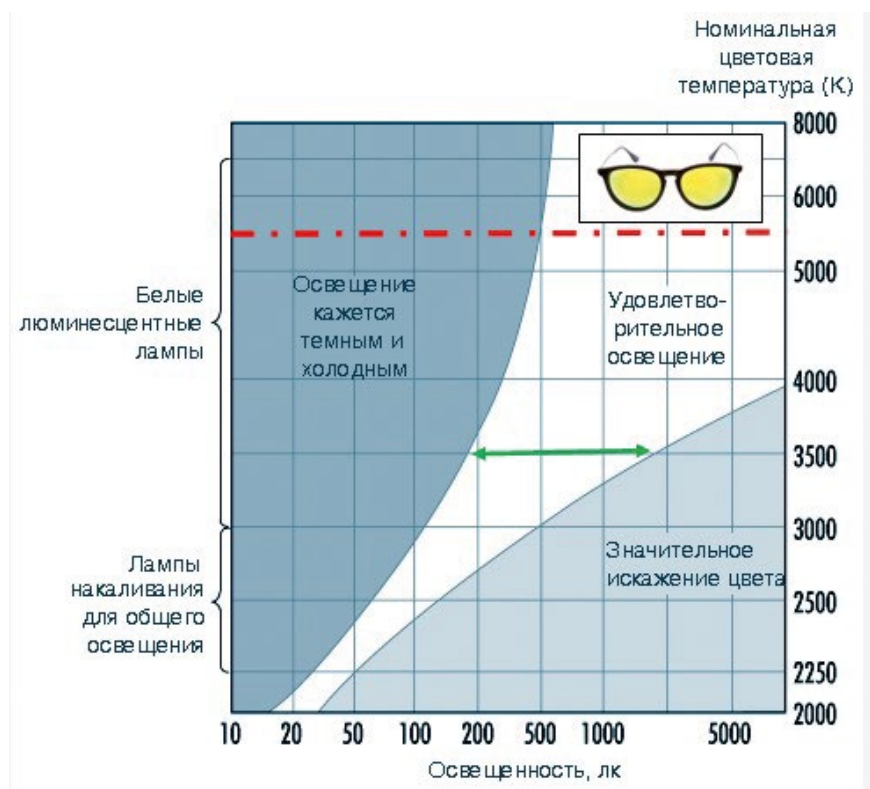


Рис. 1.43. Диаграмма комфортности в зависимости от освещенности и цветовой температур по правилу Крюитхофа

Создание гигиенически безопасного солнечного света в соответствии с законом толерантности (закон оптимума или закон В. Шелфорда) является важной методической основой оценки искусственных источников света для безопасной и комфортной световой среды обитания.

1.6.1.4. Гигиенические особенности спектрально-энергетического паттерна света и правила комфортного освещения

Посредством эмпирических наблюдений Крюитхоф составил график комфортного состояния при различных уровнях освещения и цветовой температуры в определенной окружающей обстановке. Он показал, что можно чувствовать себя комфортно в определенной обстановке при низких уровнях освещения, если цветовая температура также является низкой [1.72].

С гигиенической точки зрения для общего освещения наиболее приемлема цветовая температура солнечного света 3500 К, которая по правилам Крюитхофа обеспечивает комфортное освещение в диапазоне 200–1500 люкс.

Из правила Крюитхофа следует, что при одинаковой цветовой температуре и уровне освещенности по критерию комфортности можно сравнивать между собой различные источники белого света. Такое сравнения можно проводить относительно спектра солнечного света с цветовой температурой 3500К, при котором не нужно применять гигиенические методы защиты от избыточной дозы солнечной радиации. Однако при цветовой температуре 3500 К возрастает доза красного света, больше чем в солнечном спектре с цветовой температурой 5500 К. Эффект «красного света» в настоящее время широко изучается в плане его влияния на склеру глаза, которое приводит к изменению длины оптической оси [1.73, 1.74, 1.75].

Учитывая эти особенности красного света, необходимо, чтобы его доза не превышала границы, показанной на рис. 1.42, или дозы красного света в спектре солнечного света с цветовой температурой 5500 К.

Учитывая вышесказанное, с гигиенической точки зрения СЭП света определяется формой красно-синей границы, которая эквивалентна характеристике $A^T(\lambda)$ солнечного света при $T_k = 5500$ К.

При такой форме спектрально-энергетического паттерна (СЭП) для искусственных источников белого света накладываются ограничения не только на избыточные дозы синего света, но и на избыточные дозы красной части спектра. Это значит, что многокритериальный синтез СЭП света можно определить как оптимальный спектрально-энергетический паттерн, который можно применять для оценки спектров светодиодных источников белого света на наличие избыточной дозы света в широком диапазоне частот.

Роль красного света в биофизических процессах в митохондриях

Искусственные источники света по отношению к равномерному спектру солнечного света имеют выбросы и провалы фотонного потока при определенных длинах волн – выбросы в области синего света и провалы в области 480 нм и красного света 670 нм. Массовое внедрение светодиодного освещения, в спектре которого доза синего света значительно больше, чем у люминесцентных ламп, породило исследования по оценке рисков здоровью человека и зрительному анализатору от «синей опасности».

При этом специалисты светотехники и офтальмологи не обращали внимания, что в спектре современных белых светодиодов уровень красного света 670 нм был ниже, чем в спектре солнечного света. Такая недооценка

значимости роли красного света обусловлена тем, что этот диапазон излучения лежит за пределами кривой спектральной чувствительности глаза (кривой видности глаза человека). Но гигиенисты и светотерапевты знают, что как избыток светового потока, так и его недостаток губительно сказываются на жизнестойкости клеток живых биообъектов.

Гигиенисты оценивают риски от уровня воздействия по критериям закона оптимума, или закона В. Шелфорда. Из этого закона следует, что есть оптимальные значения воздействующего фактора, при которых обеспечивается нормальная жизнедеятельность клетки, зоны пессимума и гибели. Этот гигиенический подход получил развитие при применении методов лазерной терапии. Низкий уровень лазерной (легкой) терапии (НУЛТ) был известен с 1967 года, при нем использовали видимый (как правило, красный) или почти инфракрасный свет, генерируемый лазером или светодиодом (LED) для лечения различных патологий у людей и животных. Этот свет обычно имеет узкую спектральную ширину между 600 нм и 1000 нм. При выборе уровня воздействия применяется трехмерная модель кривой Арндта – Шульца. Согласно квантовой теории света каждой длине волны электромагнитных колебаний соответствует свой энергетический поток фотонов, который порождает свой поток фотохимических реакций. Ф. Х. Гротгус в России (1817) и Дрейпер в США (1839) независимо друг от друга сформулировали закон, согласно которому химически активны лишь те лучи, которые поглощаются реакционной смесью. Основной закон фотобиологии заключается в том, что биологический эффект вызывают части спектра только такой длины волны, при которой они поглощаются молекулами клеток, а наличие фотобиологического эффекта однозначно указывает на присутствие в клетках молекул, поглощающих кванты света данной области спектра [1.76].

Зависимость поглощающей способности вещества от длины волны света определяется спектром поглощения.

Поглощение света веществом – внутримолекулярный физический процесс. Свет поглощается молекулами (их комплексами, атомами, радикалами, ионами), а не сложными биологическими структурами, такими, например, как ядра, митохондрии, клетки, сетчатка глаза. Исключение составляют лишь полупроводники, у которых в поглощении света участвуют обобществленные энергетические уровни, создающиеся в результате взаимодействия многих центров (атомов, ионов или молекул). Во взаимодействии вещества со светом, связанным с поглощением, проявляются как квантовые (корпускулярные), так и волновые свойства последнего [1.77].

Спектры современных светодиодов (синий кристалл, покрытый желтым люминофором) основаны на выше указанных закономерностях (рис. 1.42) [1.78].

Ранее мы рассматривали роль негативного влияния выбросов синего света на сетчатку и гормональную систему человека, а также роль провала в области голубого света 480 нм на динамику управления зрачком [1.79, 1.80, 1.81, 1.82].

Сейчас будет рассмотрено, как снижение дозы красного света 670 нм влияет на жизнеспособность митохондрий клеток. Митохондрии являются основными продуцентами свободных радикалов в эукариотических клет-

ках. Свободные радикалы, такие как супероксид-радикал или гидроксид-радикал, в норме образуются в митохондриях в ходе работы дыхательной цепи, обеспечивающей синтез АТФ – основной энергетической «валюты» клетки. Митохондрии также в большей степени подвержены повреждениям свободными радикалами: митохондриальная ДНК, в отличие от ядерной, не защищена гистонами или другими ДНК-связывающими белками. И так как митохондрии являются важными клеточными органеллами, нарушение их работы может приводить к таким драматическим последствиям, как, например, апоптоз – программируемая клеточная смерть.

В монографии **Гильберта Линга** (*Life at the cell and below-cell level, the hidden history of fundamental revolution in biology*, Pacific Press, NY, 2001) объяснено, что *клетка – не водный раствор в липидной оболочке, а белково-водно-электролитная структура, которая удерживается за счет многослойной организации поляризованной воды вокруг полноразвернутых белковых структур*. При этом теория Линга на практике подтверждается, а теория липидных мембран противоречит данным наблюдений, так как клетка поглощает больше воды, чем может объяснить мембранная теория. Теория ассоциации-индукции заключается в стремлении автора перенести «центр тяжести» в понимании жизненных функций клетки с клеточной мембраны на цитоплазму, рассматривая изменение электронной плотности в макромолекулах, вызываемое внешними сигналами, как основной механизм регуляции клеточных функций. Эти представления опираются на тесную взаимосвязь в цитоплазме клетки трех основных «игроков» – *белков, структурированной воды и неорганических ионов* [1.83], к которым относятся ионы водорода, натрия, железа меди и цинка. В настоящее время имеется большое число исследований по функционированию митохондрий и предлагаются механохимические модели по выработке ее структурами АТФ.

Наибольшим признанием пользуется хемиосмотическая теория английского биохимика П. Митчелла (1961). Он высказал предположение, что поток электронов через систему молекул-переносчиков сопровождается транспортом ионов H^+ через внутреннюю мембрану митохондрий. В результате на мембране создается электрохимический потенциал ионов H^+ , включающий химический, или осмотический, и электрический градиенты (мембранный потенциал). Согласно хемиосмотической теории электрохимический трансмембранный потенциал ионов H^+ и является источником энергии для синтеза АТФ за счет обращения транспорта ионов H^+ через протонный канал мембранной H^+ -АТФазы. Теория Митчелла исходит из того, что переносчики перешнуровывают мембрану, чередуясь таким образом, что в одну сторону возможен перенос и электронов, и протонов, а в обратную – только электронов. В результате ионы H^+ накапливаются на одной стороне мембраны.

Между двумя сторонами внутренней митохондриальной мембраны в результате направленного движения протонов против концентрационного градиента возникает электрохимический потенциал. Энергия, запасенная таким образом, используется для синтеза АТФ как результат разрядки мембраны при обратном (по концентрационному градиенту) транспорте протонов через АТ-Фазу, которая работает в этом случае как АТФ-синтаза (рис. 1.44).

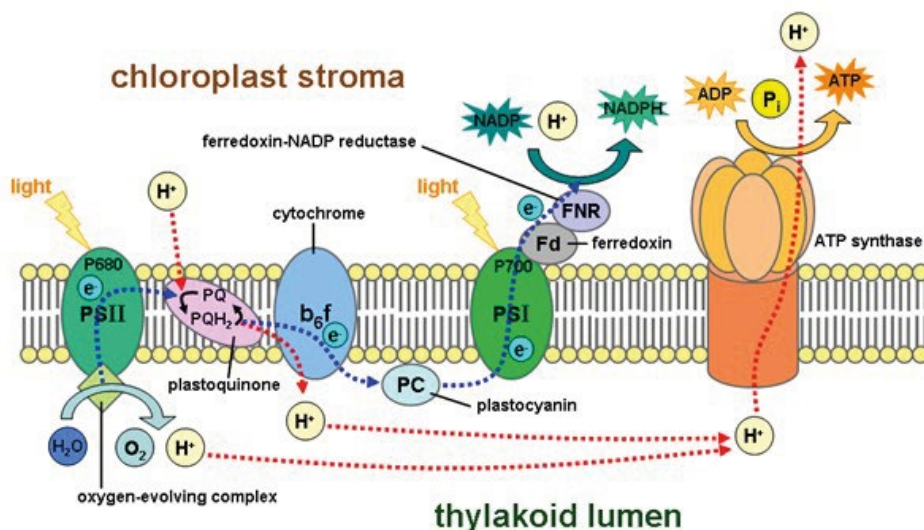


Рис. 1.44. Фотосинтетическая транспортная цепь электронов тилакоидной мембраны

В работе [1.84] представлена механохимическая модель для индукции трансмембранной натриево-движущей силы во вращающийся крутящий момент.

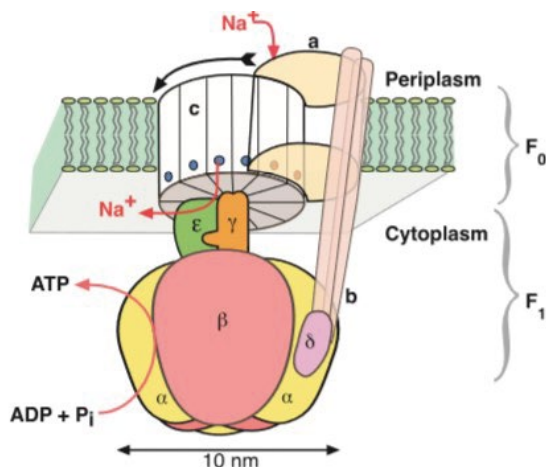


Рис. 1.45. Принципиальная схема АТФ-синтазы Na^+ FoF1 (стрелка указывает направление вращения при синтезе АТФ)

Тот же механизм, вероятно, будет работать в других F-АТФ-синтазах, включая протонную H^+ -F-АТФ-синтазу [1.85].

В основе приведенных механохимических моделей получения АТФ лежит работа наноэлектродвигателя от потока ионов водорода H^+ или натрия Na^+ , который имеет ротор и статор, т.е. митохондриальный ротационный двигатель, называемый АТФ-синтазой.

В работе [1.84] отмечается, что из-за электростатического взаимодействия между участками ротора и заряда статора переходы между состояниями зависят от углового положения ротора, обозначенного θ . Эволюция химического состояния ротора символически описывается уравнением (см. Дополнительные данные по PNAS, www.pnas.org):

$$\frac{ds}{dt} = K(\theta)s,$$

где $K(\theta)$ – матрица скоростей перехода между химическими состояниями. Движение ротора можно описать, приравняв *вязкое сопротивление* ротора к вращающим моментам, действующим на ротор, к броуновской силе, моделирующей тепловые флуктуации ротора (т.е. уравнение Ланжевена [1.86, 1.87]):

$$\zeta \frac{d\theta}{dt} = \underbrace{\tau_Q(\theta, s)}_{\substack{\text{Ротор-Статор заряда} \\ \text{взаимодействия}}} + \underbrace{\tau_{\Delta\psi}(\theta, s)}_{\substack{\text{Мембраны} \\ \text{потенциалы}}} + \underbrace{\tau_{\Delta\epsilon}(\theta, s)}_{\substack{\text{Диэлектрический} \\ \text{барьер}}} +$$

$$\underbrace{\tau_{RS}(\theta)}_{\substack{\text{Пассивное взаимодействие} \\ \text{ротор – статор}}} - \underbrace{\tau_L(\theta)}_{\substack{\text{Крутящий момент} \\ \text{нагрузки F1}}} + \underbrace{\tau_B(t)}_{\substack{\text{Броуновский} \\ \text{крутящий момент}}},$$

Слагаемые в правой части уравнения 2 являются следующими (вычисления подробно описаны в дополнительных данных, опубликованных на веб-сайте PNAS, www.pnas.org).

(i) $\tau_Q(\theta, s)$ обусловлено электростатическим взаимодействием между зарядом статора (R227) и узлами ротора, которые находятся внутри *гидрофильной полосы* ротора-статора. Заряженный (незанятый) участок будет зависеть от заряда статора (R227) в соответствии с законом Кулона, соответствующим диэлектрической и экранирующей среде статора.

(ii) Гидрофильность – характеристика интенсивности молекулярного взаимодействия вещества с водой, способности хорошо впитывать воду, а также высокой смачиваемости поверхностей водой. Наряду с гидрофобностью она относится как к твердым телам, у которых она является свойством поверхности, так и к отдельным молекулам, их группам, атомам, ионам.

(ii) $\tau_{\Delta\psi}(\theta, s)$. обусловлено падением мембранного потенциала через горизонтальный сегмент между периплазматическим каналом и границей статора.

(iii) $\tau_{\Delta\epsilon}(\theta, s)$ представляет собой электростатический барьер, который препятствует проникновению заряженного участка в гидрофобный интерфейс ротора-статора.

(iv) $\tau_{RS}(\theta)$ является пассивным взаимодействием ротора со статором.

(v) $\tau_L(\theta)$ представляет собой нагрузку, оказываемую F1 на ротор через γ -вал.

$(vi) \tau_B(t)$ является случайным броуновским моментом из-за тепловых флуктуаций ротора.

Предыдущие работы предполагали, что АТФ-синтаза, наименьший известный роторный двигатель по своей природе, работает с эффективностью 100% – картина, основанная на нескольких идеализированных предположениях, в том числе, что вязкость среды, окружающей двигатель, – это объемная вода [1.88], не обращая внимания на *градиенты вязкости вблизи поверхностей* [1.89].

Игнорирование этой точки зрения имеет решающее значение, поскольку механическое поведение молекулярных машин отличается от механического поведения их макроскопических аналогов, и многие макроскопические механические понятия не применимы на молекулярном уровне. Это касается, в частности, применения *концепции вязкого трения* и смазки. Недавняя экспериментальная работа показала, что важно различать физические свойства объемной воды и уровни наноскопических межфазных слоев воды, которые являются маскирующими поверхностями. Наноскопические водные слои, связанные с гидрофильными поверхностями, характеризуются значениями вязкости, которые на порядки больше, чем объемная вода. Кроме того, было экспериментально показано, что с увеличением удержания между гидрофильными поверхностями вязкость наноскопических слоев воды резко возрастала [1.90].

Из предложенной [1.84] модели нагрузки мотора АТФ-синтазы видно, что его скорость вращения, а значит производительность по выработке АТФ, зависит от состояния воды. Проводимые расчеты по моделированию мотора АТФ-синтазы предполагали, что вязкость воды внутри митохондрий постоянна и соответствует вязкости воды. По мнению авторов [1.91], это предположение не является удовлетворительным по двум причинам:

(1) Имеются данные о том, что вода в митохондриях преобладает на 100% в качестве межфазной воды.

(2) Лабораторные эксперименты, изучающие свойства межфазной воды, предполагают вязкость, превышающую вязкость объемной воды, особенно при гидрофильных границах.

В [1.91] рассмотрен физико-химический механизм, который предполагает градиенты вязкости внутри митохондриальных вод и последовательно объясняет два клеточных ответа: уменьшение и увеличение синтеза АТФ в ответ на реактивные виды кислорода и неразрушающие уровни ближнего инфракрасного (NIR) лазерного излучения соответственно. Механизм основан на результатах нового экспериментального метода, который сочетает в себе метод наноидентифицирования с модуляцией межфазных слоев воды лазерным облучением. Ожидается, что результаты, включая выяснение принципа светоиндуцированного производства АТФ, будут иметь широкие последствия во всех областях медицины и, в частности, офтальмологии при анализе деградиационных процессов старения сетчатки.

Старение связано с клеточным снижением и сниженной функцией, частично опосредуемой митохондриальным компромиссом. Однако возрастная функция митохондрий корректируется при ближнем инфракрасном свете (670 нм), что улучшает их мембранный потенциал и продукцию адено-

зинтрифосфата, а также уменьшает возрастное воспаление. Данные свидетельствуют о том, что свет 670 нм может значительно улучшить устаревшую функцию сетчатки, возможно, обеспечивая дополнительное производство аденозинтрифосфата для ионных насосов фоторецепторов или уменьшенного возрастного воспаления. Это может иметь последствия для лечения старения сетчатки и связанных с возрастом таких заболеваний сетчатки, как дегенерация желтого пятна [1.92].

В резолюции **3th Global Pediatric Congress** с удовлетворением отмечаются значительные достижения последних лет в детской офтальмологии, но обращается внимание на нерешенные проблемы [1.93, 1.94].

Так, общая тенденция безопасного освещения полупроводниковыми источниками света и безопасного излучения у дисплеев такова: **необходимо иметь биологически адекватный спектр, который обеспечит гармоничную работу зрительного анализатора и гормональной системы человека.** Конгресс обращает внимание глав стран и правительств на необходимость финансирования государственных программ по разработке национальных регламентов зрительной работы с привлечением к этим исследованиям офтальмологов и представителей других научных дисциплин, специалистов в области гигиены и охраны труда.

В своем протоколе №02/ТП от 19 июля 2017 г. эксперты рабочей группы по безопасной эксплуатации зданий и сооружений также рекомендовали «при разработке нормативно технической документации учитывать отечественный и мировой опыт создания полупроводниковых источников белого света с биологически адекватным спектром излучения» [1.95].

Заключая этот раздел, можно сформулировать, что все спектры энергосберегающих искусственных **источников света имеют провал в области 670 нм**, что негативно сказывается на синтезе АТФ в митохондриях клеток глаза. Наличие в спектре света гигиенически оптимальной дозы красного света 670 нм положительно влияет на вязкость нанослоев воды и процесс синтеза АТФ. Необходимо продолжить исследования по определению влияния гигиенически оптимальной дозы красного света 670 нм на изменения вязкости нанослоев воды и связанные с ними процессы синтеза АТФ.

1.6.2. Лунный и звездный свет



Влияние света Луны хорошо освещено в литературе, но не с позиций гигиениста.

Организм человека тесно связан с окружающей его средой в широком смысле этого слова, т.е. включая в это понятие все химические и физические факторы среды и всю протяженность пространства от приземного слоя до космоса. Организм имеет огромные адаптационные способности и исключительную чувствительность к изменению факторов окружающей среды. Эта чувствительность настолько высока, что превосходит все ожидания. Поэтому научные исследования, показывающие реакцию человеческого организма на действие слабых и сверхслабых магнитных, электрических,



электромагнитных и гравитационных полей, воспринимаются рядом ученых с большим недоверием. Проявляемый ими скепсис понятен, поскольку он основан на примерно таком рассуждении: можно признать биологическую роль гелиогеофизических факторов для жизнедеятельности человека, но учитывая его широчайшие адаптационные возможности, дей-

ствие флуктуации этих слабых полей должно просто-напросто нивелироваться. Организм человека не может быть запрограммирован так, чтобы реагировать на малейшие колебания гелиогеофизических факторов, происходящих непрерывно. Однако факты показывают обратное: будучи своеобразной «открыто-замкнутой» системой, живой организм чутко «отслеживает» небольшие изменения естественных физических полей, окружающих и воздействующих на него, ибо это его среда обитания. Физические поля играют роль внешних синхронизаторов эндогенной ритмики организма, и в этом состоит их биологическое значение. Окружающая среда оказывает многообразное влияние на живые организмы, и поэтому очень трудно выделить те основные факторы, действие которых является самым существенным, определяющим для их нормального функционирования. При общем воздействии малых возмущений в полной мере проявляется закон синергии. Суммарный эффект от общего воздействия возмущений больше, чем сумма эффектов от каждого воздействия по отдельности.



Рис. 1.46. «Ночь на Днестре», картина Архипа Ивановича Куинджи

Ночь и Луна наполняют пространство мистикой и таинственностью, что хорошо ощущают художники. На рис. 1.46 представлена картина Архипа Ивановича Куинджи «Ночь на Днепре».

Если же мы смотрим на Луну с Земли, то ее цвет будет меняться в зависимости от положения на небе. Когда Луна поднимается над горизонтом – это ярко-оранжевый круг. Земля вращается вокруг своей оси. Луна все выше и выше поднимается над горизонтом, и ее цвет постепенно бледнеет. Оранжевый цвет переходит в желтый, затем в бело-желтый. Когда Луна находится над головой наблюдателя, ее цвет становится почти светло-серым. На рис. 1.47 приведены сравнительные колористические характеристики лунного и солнечного света.

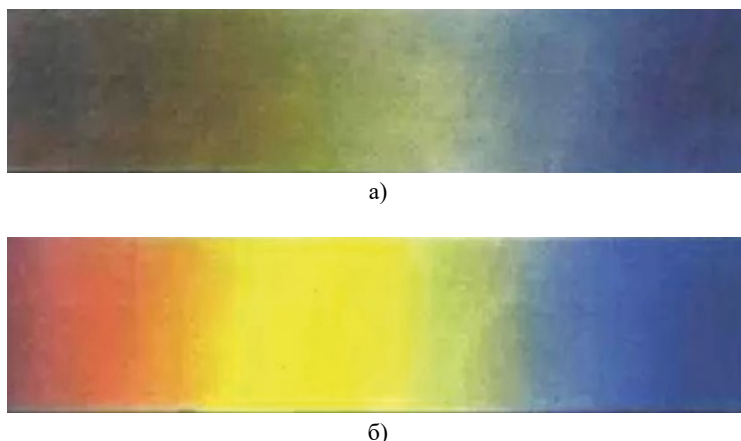


Рис. 1.47. Сравнительная колористическая характеристика света [1.96]:

а – спектр лунного света. Заметную интенсивность имеют «холодные» зеленые и голубые лучи. Остальные едва видны. При лунном свете заметны белые, светло-голубые и светло-зеленые предметы. Красные предметы приобретают темно-серую или черную окраску. Для правдивой передачи лунного света картина должна иметь аналогичные колористические черты;

б – солнечный спектр. Все разноцветные лучи имеют максимальную светлоту и насыщенность

Лунный свет является отражением солнечного света и в значительной степени влияет на ночную жизнь человека, а также фауны и флоры. *Это значит, что можно сравнивать источники белого света, применяемые для освещения улиц и мостов, по критерию негативного влияния светового загрязнения относительно лунного света.*

Современная наука, занимающаяся изучением влияния фаз Луны на организм человека, называется селеномедициной. Она быстро развивается и, возможно, в ближайшем будущем даст ответы на все вопросы, связанные с влиянием Луны на организм человека. Уже давно известен тот факт, что влияние Луны на повседневную деятельность человека имеет как положительные, так и отрицательные моменты. Это объясняется тем, что светило наиболее близко расположено к Земле. С древних времен вопросов касательно влияния Луны на организм человека было гораздо больше, чем ответов. В основном среди ответов доминировали догадки и предрассудки,

которые позже стали частью обрядов и ритуалов. До сих пор влияние Луны на человека изучено мало [1.97].

Как показали наблюдения, периодические процессы в природе и организме человека весьма сильно связаны со временем обращения Луны вокруг Земли. И в этом нет ничего удивительного. Луна в течение 29,5 суток делает один оборот около общего центра тяжести (барицентра) Земли и Луны, который находится внутри Земли ближе к ее поверхности. Хотя масса Луны в 27 миллионов раз меньше массы Солнца, зато она в 374 раза ближе к Земле и влияет на нее сильнее Солнца. Из чего складывается влияние Луны на Землю, а отсюда на жизнедеятельность организмов, населяющих ее?

Первый эффект влияния Луны на Землю – гравитационный. Луна делает полный оборот вокруг Земли за 24 часа 50 минут. Под действием притяжения Луны твердая поверхность Земли деформируется, растягивается по направлению к Луне на величину около 50 сантиметров в вертикальном направлении и около 5 сантиметров в горизонтальном. Естественно, еще сильнее это влияние сказывается на водной оболочке Земли, вызывая приливы и отливы. В результате этого в течение суток через равные промежутки времени наблюдаются две полные и две малые волны, примерно равные по высоте, а также одна полная и одна малая волна, если не считать смешанных. Таким образом, явление приливов и отливов выражается в том, что в береговых зонах океана вода через каждые 12 часов 25 минут начинает прибывать, образуя приливную волну. Это возмущающее гравитационное воздействие, естественно, сказывается на поведении атмосферы, что, в свою очередь, влияет на многие метеорологические явления. Приливо-отливное воздействие гравитационного поля Луны испытывают и жидкостные среды нашего организма. Это особенно сказывается на распределении крови в организме человека. Древняя китайская медицина говорит, что 12 органов, связанных с соответствующими энергетическими каналами, раз в сутки испытывают двухчасовую приливную волну активности, когда стучит пульс этого органа, и противоположную – отливную волну, когда орган минимально орошается кровью.

Второй эффект влияния Луны на Землю выражен также в воздействии гравитации, но механизм действия его иной. Ленинградский ученый В. С. Борхсениус сделал предположение о кристаллической природе атомного ядра. Эта гипотеза была подтверждена французским ученым Кервраном [1.98].

Таким образом, земную поверхность, как и все, что на ней есть, необходимо рассматривать как кристаллические образования. Ранее указывалось, что под действием гравитации Луны по земной поверхности пробегает волны, вытягивающие оболочку Земли на 50 сантиметров в сторону Луны. Естественно, все это сказывается на состоянии кристаллических решеток, из которых состоит вещество земной поверхности. В результате этого в кристаллических решетках возникает упругое напряжение, которое тесно взаимодействует с электрическими и магнитными полями. От этого возникает пьезоэффект и магнитострикция, которые, в свою очередь, влияют на магнитные свойства земной атмосферы. А нам уже известно, что изменение магнитного поля влияет на скорость протекания биохимических процессов. Описанный эффект – пример энергетического влияния на функционирова-

ние организма. Теперь остается наложить два лунных влияния – гравитационное и магнитоэлектрическое – друг на друга и посмотреть, что получится. Оказывается, магнитоэлектрические эффекты наиболее выражены в жидкокристаллической среде, насыщенной микроэлементами. Её основу составляют кровь, межклеточная и внутриклеточная жидкости. *Таким образом, получается: где в данный момент скапливается кровь и внеклеточная жидкость, там активизируются магнитоэлектрические эффекты, которые, в свою очередь, вызывают биологическую активность ферментов данного участка организма.* Отсюда получается, что Луна является управителем двухчасового ритма последовательной активности 12 органов человека, что и было подмечено китайской народной медициной. И только теперь нам становится ясным, почему внутренние органы активны только два часа в течение суток, а в противофазе столько же времени находятся в неактивном состоянии [1.99].

Отсюда важное гигиеническое требование гармонизации режима труда и отдыха с целью минимизации рисков негативных последствий.

Свет звездного неба

*Глаз... Кто мог бы думать, что столь
тесное пространство способно
вместить в себе образы всей вселенной?*

Леонардо да Винчи

Вряд ли найдется человек, который не любовался бы красотой ночного неба, усеянного звездами. Глядя на звезды, невольно проникаешься чувством восхищения перед величием мира и даже в наш космический век ощущаешь что-то таинственное, неизвестное, лежащее в необъятных просторах Вселенной. Иммануил Кант писал: «Две вещи наполняют душу постоянно новым и возрастающим удивлением и благоговением и тем больше, чем чаще и внимательнее занимается ими размышление: звездное небо надо мной и нравственный закон во мне. То и другое, как бы покрытое мраком или бездною, находящиеся вне моего горизонта, я не должен исследовать, а только предполагать; я вижу их перед собой и непосредственно связываю их с сознанием своего существования». Созвездие Орион – самое прекрасное на всем ночном небе. Имеет в себе очень яркие звезды. Соединив эти звезды и включив фантазию, можно с легкостью разглядеть фигуру охотника, на плаще которого расположен Сириус, окутанный мифологическими тайнами – от жрецов африканских племен дагонов до жрецов древнего Египта. Древняя религия египтян и египетский софический календарь базировались на гелиакическом восходе Сириуса.



23 июля Сириус восходит за минуту до восхода Солнца, появляясь как яркая красная звезда. Восход Сириуса после 70 суток отсутствия на не-

босводе совпадал с ежегодным разливом Нила, который начинался во время летнего солнцестояния. В древнеегипетском календаре начало нового года приходилось на гелиакический восход Сириуса.

О звездном небе писал великий М. В. Ломоносов:

*Лицо свое скрывает день;
Поля покрыла мрачна ночь;
Взошла на горы черна тень;
Лучи от нас склонились прочь;
Открылась бездна звезд полна;
Звездам числа нет, бездне дна.*

*Песчинка как в морских волнах,
Как мала искра в вечном льде,
Как в сильном вихре тонкий прах,
В свирепом как перо огне,
Так я, в сей бездне углублен,
Теряюсь, мыслями утомлен!*

По М. В. Ломоносову, звездное небо побуждает мыслительные процессы и творческую фантазию, что, как известно, связано с дофаминовой системой мозга и гормонами, пробуждающими фантазии. И действительно, в ясную, достаточно темную ночь на небе светит множество звезд, и звезды так далеки, так недоступны, кажется, что нет никакой возможности не только что-либо узнать об их природе, но просто сосчитать их! В литературе часто употребляется выражение «мириады звезд». Однако «мириады» – преувеличение. В действительности оказывается, что даже при самой большой прозрачности атмосферы в темную ночь невооруженным глазом можно увидеть и различить на половине небосвода, доступной наблюдению (другая находится за горизонтом), около 2500 звезд. Ближко расположенные звезды мы мысленно объединяем в созвездия. В расположении отдельных групп звезд человек с древнейших времен искал и угадывал знакомые ему очертания людей, животных, предметов. Так возникли названия созвездий: Орион (куда входит Сириус), Большая Медведица, Геркулес, Кит и другие. На всем небосводе 88 созвездий. В средних широтах одновременно можно видеть не более 20. Сегодня граждане мегаполисов вместо 2500 звезд могут наблюдать только несколько десятков самых ярких. Наступление светового загрязнения от искусственных источников света похоже на выполнение приказа героя сказки Е. Шварца – «*Бургомистр: Слушайте приказ. Во избежание эпидемии **глазных болезней**, и только поэтому, на небо смотреть воспрещается. Что происходит на небе, вы узнаете из коммюнике, которое по мере надобности будет выпускать личный секретарь господина дракона*». Этот приказ имеет глубокий смысл для гигиениста, так как имеется связь «свет звезд – ганглиозные клетки – клетки эпифиза (шишковидной железы) – гормональный спектр».

Звездное небо, по мнению психологов, оказывает огромное воздействие на психику человека. «Глядя на звезды, я всегда начинаю мечтать. Я спра-

шиваю себя: почему яркие точки на небосклоне должны быть менее доступны нам, чем черные точки на карте Франции?» – писал Ван Гог (рис. 1.48).



Рис. 1.48. «Звездная ночь» (Турбулентность SPF Darina), 1889, Музей современного искусства, Нью-Йорк

Возможно, рисуя ровно 11 звезд, Винсент Ван Гог ссылается на Бытие 37:9, где рассказывается о мечтательном Иосифе, изгнанном своими 11 братьями. «Вот, я видел еще сон: вот, солнце и луна и одиннадцать звезд поклоняются» [Бытие 37:9].

В самые мрачные времена своей жизни Ван Гог был в состоянии с высокой достоверностью запечатлеть одно из самых сложных и запутанных понятий в физике и математике, когда пытался изобразить движение света. На своей картине изобразил турбулентно вихревую сущность полного энергией пространства, которое трансформируется в живое на примере кипариса, который тянется в него.

На вопрос «Из чего состоит коллективное бессознательное?» К.Г. Юнг отвечает с известной оговоркой, указывая, что мы не можем знать о нем всего. Но, по всей видимости, в него входит нечто наподобие мифологических образов и мотивов. «Вся мифология – это как бы своего рода проекция коллективного бессознательного», – полагает К.Г. Юнг. По его мнению, наиболее яркое воплощение этой проекции мы можем усмотреть в том, как человек воспринимает звездное небо. Человек призван не игнорировать бессознательные силы, а найти для них адекватное культурно-символическое выражение. Ведь бессознательное – это подлинный источник жизненных сил, без которых нет ощущения полноты жизни. Только гармония сознания и бессознательного устраняет опасность, создавая здоровые и духовно богатые личности. Звездный свет побуждает человека к творчеству и романтизму, а с биохимической точки зрения это определяется гормональным спектром.

Положительное влияние света далеких звезд дезавуируется световым загрязнением от искусственных источников света.

1.6.3. Поляризация солнечного и лунного света

Поляризация в световой среде мало изучена гигиенистами, и в нормативных документах этот вопрос не отражен, но внедрение высокоэнергетических точечных источников света, таких как светодиоды, выдвигает тему поляризации переотраженного света на первый план неразрешенных гигиенических проблем. При этом очень важно рассмотреть вопросы взаимодействия поляризованных электромагнитного излучения и белков, которые имеют спиральную структуру.

Поляризационная оптика не так молода, как волоконная или интегральная. И за свой почти 300-летний возраст ей не пришлось пережить такого взрыва научных и технических открытий, как, скажем, лазерной технике. Но в наш век и она была вовлечена в водоворот научно-технического прогресса. Все началось с кусочка кристалла исландского *шпата- CaCO_3* .

В 1670 г. Бартолинус обратил внимание, что луч света, проходя сквозь кристалл, раздваивается. Но не только это заинтересовало его. Вызывало удивление поведение самих лучей в кристалле. Один луч проходил сквозь него, как через обыкновенное стекло, преломляясь во всех направлениях одинаково. Отсюда и название – обыкновенный луч. Другой испытывал все превратности прохождения через анизотропную среду: кристалл неодинаково преломлял луч в разных направлениях, и даже при нормальном падении на поверхность луч изменял свою траекторию. За эти свойства луч был назван необыкновенным. Природа лучей долгое время оставалась загадкой. Раскрыть ее удалось в XIX в. ученому Джеймсу Кларку Максвеллу. Он пришел к выводу, *что свет – это не что иное, как электромагнитное поле*. И как всякое электромагнитное поле, свет описывается двумя векторами – электрической и магнитной напряженности. Каждый из векторов не может существовать независимо друг от друга, они всегда взаимно перпендикулярны. Но для описания световой волны обычно ограничиваются электрическим вектором, хотя можно, конечно, рассматривать и магнитный вектор. Вектор непрерывно колеблется в плоскости, перпендикулярной лучу света. Причем траектория колебаний может быть самой разнообразной: линейной, круговой, эллиптической. Такой свет называют поляризованным, а электрический вектор E – вектором поляризации. Принято считать, что электрический вектор солнечного света не имеет строгой направленности: он колеблется хаотически, но при этом всегда остается перпендикулярным лучу. В отличие от поляризованного, солнечный свет называют естественным. В действительности же он частично поляризован. Причина этого явления – рассеяние света молекулами воздуха. Как правило, это линейная поляризация. Однако иногда удастся обнаружить и небольшую эллиптическую поляризацию, причем степень поляризации в разных точках небосвода сильно различается.

Доминик Франсуа Араго (1786–1853) установил поляризацию света лунного серпа, комет, радуги, еще раз подтвердив тем самым, что все это отраженный солнечный свет. Поляризованным является также свет, испускаемый под косыми углами раскаленными жидкими и твердыми телами, что доказывает, что этот свет исходит из внутренних слоев вещества и преломляется, выходя наружу. Но наиболее важным и наиболее известным открытием Араго является обнаруженная им в 1811 г. хроматическая поляриза-

ция. Помещая на пути поляризованного луча пластинку из горного хрусталя толщиной 6 мм и наблюдая прошедший сквозь нее луч, Араго получил два изображения, окрашенных в дополнительные цвета. Окраска обоих изображений при повороте пластинки не менялась, но менялась при повороте кристалла шпата, причем оба цвета все время оставались дополнительными. Так, если одно из изображений было сначала красным при определенном положении кристалла шпата, то при его повороте оно становилось последовательно оранжевым, желтым, зеленым. Био повторил этот опыт в 1812 г. и показал, что угол поворота кристалла шпата, необходимый для получения определенного цвета изображения, пропорционален толщине пластинки. Кроме того, в 1815 г. Био обнаружил явление круговой **поляризации и наличие правовращающих и левовращающих веществ**.

Основу живого составляют два класса химических соединений – белки и нуклеиновые кислоты. Причем в живых организмах, в отличие от неживого вещества, эти соединения характеризуются так называемой хиральной чистотой. В частности, белки построены только на основе левовращающих (поляризующих свет влево) аминокислот, а нуклеиновые кислоты состоят исключительно из правовращающих сахаров. Эта хиральная чистота сложилась на самых начальных этапах эволюции живого вещества. Впервые свойство хиральности у химических веществ было обнаружено Луи Пастером в 1848 году [1.100], исследовавшим различные водорастворимые органические соединения с помощью измерения вращения плоскости поляризации поляризованного света, пропускаемого через раствор. Сам термин «хиральность» предложен в 1884 году Уильямом Томсоном.

Живое вещество, в отличие от неживого, обладает гомохиральностью (хиральной чистотой): все белки состоят из аминокислот с левой хиральностью, а входящий в молекулы ДНК и РНК остаток сахара рибоза во всех организмах имеет правую хиральность. Механизм эволюционного возникновения хиральной чистоты белков и нуклеиновых кислот пока неясен [1.101]. Проблема взаимодействия биоструктур, имеющих спиральную структуру (правую или левую спираль) с поляризованной электромагнитной волной (видимого оптического диапазона), требует своего разрешения и гигиенической оценки.

В работе «Вихревая структура света и пространства: биологические последствия» рассмотрен механизм взаимодействия вихревого электромагнитного поля с коллагеном роговицы и родопсина [1.102].



Свет – это электромагнитное излучение. В своей последней классической книге по электромагнитным полям Максвелл вывел из вихревых моделей и использовал 20 уравнений. Через два года после ранней смерти Максвелла (ему было всего 48 лет) Оливер Хевисайд заменил с помощью векторной алгебры и *исключил потенциальные поля как «произвольные» и ненужные*. К концу 1800-х годов уравнения Максвелла были сокращены с первоначальных 20 до 4, которые мы находим в книгах по физике сегодня. Это сокращение лишили физику, биологию и медицину важных теоретических инструментов на протяжении почти столетий. Электромагнитные поля выступают в качестве первых посланников для активации клеточных

процессов [1.103]. Если принять полную математическую модель Максвелла, то мы будем иметь новую и более реалистичную модель биологических правил, и они могут быть оптимизированы на благо биомедицины.

Авторы статьи (1.103) утверждают, что есть доказательства того, что электромагнитные поля выступают в качестве стимуляторов для активации клеточных процессов путем воздействия на связанный кальцием кальмодулин, который участвует практически во всех процессах, регулируемых ионами Ca^{++} . Связанный с кальцием кальмодулин изменяет свою пространственную организацию и активирует многочисленные протеинкиназы, обеспечивающие фосфорилирование, а следовательно изменение структуры и свойств белков. Кроме того, комплекс кальций – кальмодулин активирует фосфодиэстеразу цАМФ, что подавляет эффект циклического соединения как вторичного посредника. Вызываемое гормональным стимулом кратковременное увеличение в клетке кальция и его связывание с кальмодулином является пусковым стимулом для многочисленных физиологических процессов – сокращения мышц, секреции гормонов и выделения медиаторов, синтеза ДНК, изменения подвижности клеток, транспорта веществ через мембраны, изменения активности ферментов.

Новые научные исследования показали, что синтезом белков можно управлять с помощью света (электромагнитной волной), который побуждает целый каскад процессов (рис. 1.49).

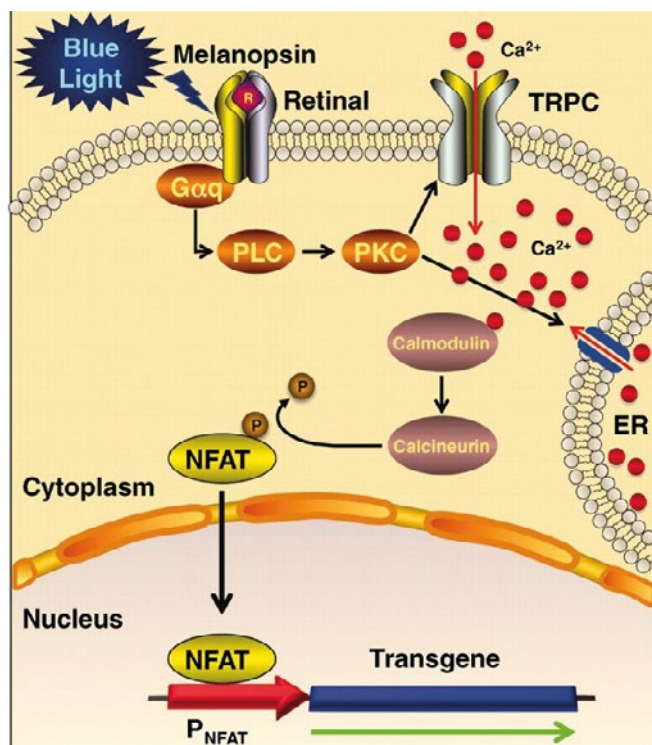


Рис. 1.49. Схема каскадов, происходящих в экспериментальных клетках в ответ на освещение [1.104]

Под действием синего света (Blue light) меланопсин (melanopsin) меняет свою *пространственную конформацию*, из-за чего активируется связанный с ним G-белок Gαq-типа (Gαq). G-белок через цепочку посредников (PLC – фосфолипазу C и PKC – протеинкиназу C) вызывает выброс ионов кальция (Ca^{2+}) из внеклеточного пространства через TRPC-каналы и, возможно, из эндоплазматического ретикулума (ER). Ионы кальция активируют белок *кальмодулин* (calmodulin) (этот белок знаменит своей вездесущностью – он встречается вообще во всех эукариотических клетках). Кальмодулин активирует белок кальциневрин. Кальциневрин – это фосфатаза; он дефосфорилирует транскрипционный фактор NFAT, в результате чего у NFAT-а меняется пространственная конформация и выпячивается наружу сигнал ядерной локализации. В результате NFAT из цитоплазмы (Cytoplasm) попадает в ядро (Nucleus), где присоединяется к специфическим промоторам (P_{NFAT}), что и вызывает трансляцию генов (Transgene), находящихся под этими промоторами. Изображение из обсуждаемой статьи в *Science* [1.104].

Последние достижения [1.105] в области рентгеноструктурного анализа, а также метода ядерного магнитного резонанса позволили более подробно описать структурные перестройки (так называемые конформационные изменения), происходящие при связывании Ca^{2+} с некоторыми регуляторными белками. Было предположено, а потом доказано экспериментально, что связывание Ca^{2+} часто сопровождается переориентацией (переупаковкой) петель и спиралей в структуре белка [1.105]. На рис. 1.50 показана схема, иллюстрирующая основные пути, по которым осуществляется действие кальмодулина.

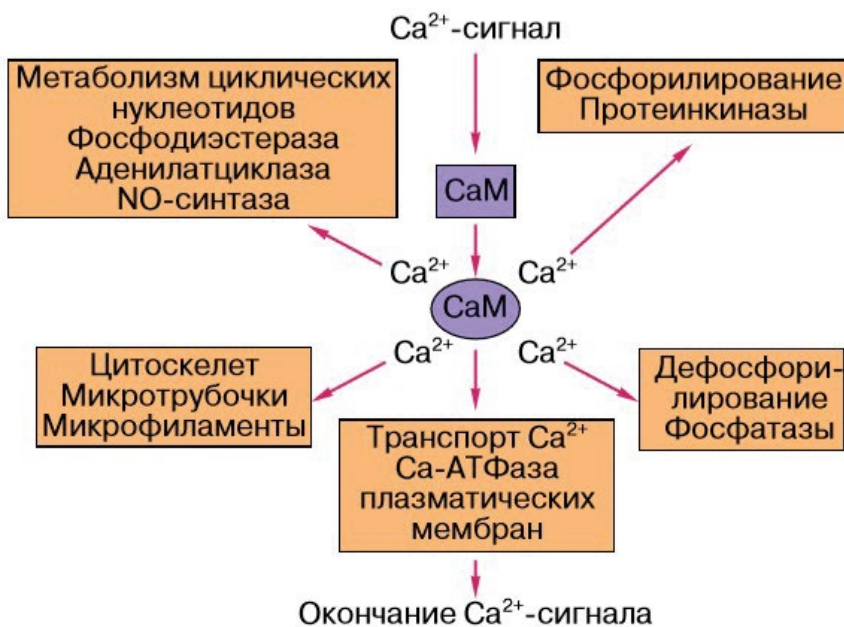


Рис. 1.50. Участие кальмодулина (CaM) в передаче кальциевого сигнала на различные внутриклеточные белки-мишени

При повышении внутриклеточной концентрации Ca^{2+} происходит его связывание с кальмодулином, который изменяет свою структуру и оказывается способным влиять на активность белков-мишеней [1.105].

Фигура Гайдингера [1.106]

В свое время известный советский физик С.И. Вавилов провел исследования, по результатам которых выдвинул интересную теорию. Согласно ей, поляризация света видна без каких-либо вспомогательных устройств примерно каждому четвертому человеку на планете. При этом большинство из этих людей даже не подозревают о наличии такой особенности у собственного зрения. При взгляде на то же голубое небо в центре их поля зрения появляется едва заметная желтая полоска со слегка закругленными концами. Посередине и на краях также есть бледные пятнышки голубоватого цвета. При поворачивании плоскости поляризации полоса также поворачивается, ведь относительно направления световых колебаний она всегда является перпендикулярной. В науке это явление известно как фигура Гайдингера (рис. 1.51).

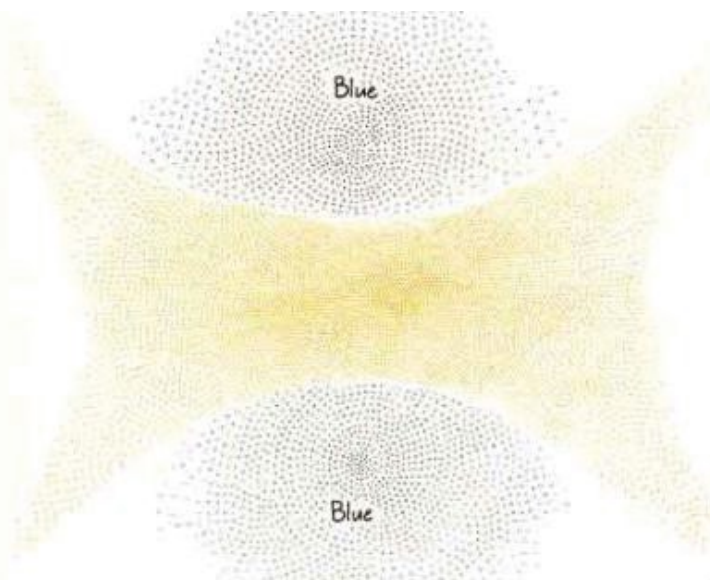


Рис. 1.51. Фигура Гайдингера

Эта фигура названа в честь немецкого физика, который открыл ее в 1845 году. Если хоть раз ее заметить, способность видеть это пятнышко можно развивать. Следует отметить, что при использовании синего либо зеленого светофильтра фигура Гайдингера видна довольно четко. При определенном навыке и после долгих тренировок многим удастся видеть фигуру Гайдингера и без поляризатора, невооруженным глазом. Свыше столетия назад Л.Н. Толстой очень точно описал это явление, определяемое поляризацией света неба и особенностями зрения, о которых не только тогда, но и теперь знает лишь узкий круг специалистов. В 1855 г. в своей

повести «Юность», по-видимому, совершенно не подозревая физического смысла явления, он очень четко описал желтое поляризационное пятнышко на фоне неба: *«Иногда оставшись один в гостиной, когда Любочка играет какую-нибудь старинную музыку, я невольно оставляю книгу и взглядываюсь в растворенную дверь балкона, в кудрявые висячие ветви высоких берез, на которых уже заходит вечерняя тень, и в чистое небо, на котором, как смотришь пристально, вдруг показывается как будто пыльное, желтоватое пятнышко и снова исчезает...»*. До сих пор не вполне понятно, каким образом глаз видит поляризованный свет.

Считается, что человеческий глаз весьма чувствителен к цвету (то есть к длине волны) и яркости света, но третья характеристика света, поляризация, ему практически недоступна. Мы страдаем «поляризационной слепотой». Так ли это? Обычный солнечный свет распространяется во всех направлениях трехмерного пространства, но в атмосфере Земли он частично поляризуется и распространяется в пространстве преимущественно в двух направлениях – горизонтальном и вертикальном. «Вертикальная» составляющая приносит глазу человека полезную информацию, позволяя распознавать цвета и контраст.

«Горизонтальная» составляющая создает «оптические помехи», или блики (отсвечивание). Блик – это концентрированный отраженный свет – часто слепящий и всегда болезненно воздействующий на глаза. Концентрированный горизонтальный свет просто создает оптические шумы, которые ограничивают поле нашего зрения и могут привести к опасной ситуации или доставить дискомфорт при обработке зрительной информации.

Закон Умова

Любой рассеянный свет неба представляет собой солнечные лучи, которые претерпели многочисленные отражения от молекул воздуха, а также не раз переломились в ледяных кристаллах либо каплях воды. Вместе с этим процесс поляризации характерен не только для направленного отражения (к примеру, от воды), но и для диффузного. В 1905 году было доказано, что чем темнее поверхность, от которой отражается световая волна, тем большей является степень поляризации. В историю это вошло, как закон Умова, названный в честь физика, которому удалось доказать эту зависимость. Если рассмотреть ее на элементарном примере с асфальтированным шоссе, то получается, что во влажном состоянии оно является более поляризованным, чем в сухом виде. Особенно опасен слепящий блеск за рулем автомобиля. Асфальтовое покрытие шоссе, полированные поверхности автомобилей, снег, залитый солнцем, или мокрые после дождя поверхности – идеальные источники отраженных бликов. Блики снижают зрительную активность водителя до 30%. Кроме того, водителю часто приходится бороться с бликами от приборной панели на переднем стекле автомобиля. Эта ситуация опасна не только усталостью глаз, головной болью, но и возможностью аварий.

Для предупреждения возможного дискомфорта лиц водительских профессий от засветок и бликов рекомендуется использовать специальные очки. Но профессиональными водительскими очками могут называться только очки с поляризацией, которые по-настоящему защищают глаза от бликов,

от вредного солнечного света, от света фар встречных машин и расслабляют глаза. Эффект поляризации – это отсеивание отраженного света благодаря особому строению поляризованной линзы. Принцип действия поляризационных очков основан на отсеивании преимущественно поляризованного отраженного излучения. При езде на автомобиле отсекается излучение, отраженное от поверхности других автомобилей, от лобового стекла, а также от мокрой поверхности дорожного полотна, рис. 1.52.



Рис. 1.52. Эффект поляризации света для водителя транспортного средства

Крайне необходимая вещь для безопасности любого водителя – это современные очки для всепогодного круглосуточного ношения, очки «антифары» защитят ваши глаза от ультрафиолета, уберут блики с лобового стекла, с мокрой дороги, с поверхности воды, поэтому они также незаменимы для железнодорожников, рыбаков, моряков и спортсменов, защитят от ослепления фарами встречных транспортных средств, расслабляют глаза, создают эффект солнца в сумерки, увеличивают контрастность, идеальны для вождения ночью, днем, в сумерки, дождь, туман, зимой (яркое отражение от снега), в любую погоду.

Свет – это электромагнитные волны. А в волне то, что колеблется, колеблется в определенном направлении (в определенной плоскости) – взгляните хотя бы на обыкновенную волну на поверхности воды: эта поверхность колеблется в вертикальной плоскости (при том что направление распространения волны – горизонтальное). С электромагнитной волной то же самое – там колеблются векторы напряженности электрической и магнитной компоненты. Причем тоже перпендикулярно направлению распространения волны и перпендикулярно друг другу. Плоскость, в которой колеблется вектор электрической компоненты, называется плоскостью поляризации. Но это для «математически чистой» волны. Реальный пучок света от естественного источника (солнце, лампа накаливания и свеча) неполяризован – в нем присутствуют волны всех возможных поляризаций. То есть какую бы

плоскость мы ни выбрали – всегда найдутся волны, которые колеблются в этой плоскости, причем для любого выбранного направления поляризации энергия волн с этой поляризацией одна и та же. А вот если какими-то специальными мерами из этого света пропустить только волны с определенной плоскостью поляризации и отсечь все остальные – мы и получим поляризованный свет. В нем плоскость поляризации всех волн будет одной и той же. Для глаза отличий нет (человеческий глаз – в отличие, скажем, от глаза пчелы – не различает поляризованный и неполяризованный свет), а вот для ряда технических применений такой свет оказывается полезным, потому что отражение поляризованного света происходит не так, как неполяризованного. Например, в поляризованном свете гораздо отчетливее видна сложная структура геологического шлифа. Съемка в поляризованном свете позволяет увидеть засыпанные снегом следы. На поляризации в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (или на круговой поляризации в противоположных направлениях) работают 3d-кинотеатры.

К. Фриш обнаружил, что в ориентации по поляризованному свету используется коротковолновая часть видимого пчелами света: ультрафиолетовые, фиолетовые и синие лучи (с длиной волны короче 500 нм). Жуки держат прямой курс только в залитые лунным светом ночи. Животные, насекомые и птицы обычно ориентируются по Солнцу, но шведские исследователи обнаружили, что кое-кто полагается на поляризацию лунного света – это африканский жук *Scarabaeus zambesianus*, старающийся катить свой навозный шарик по прямой. Ученые из университета Lund использовали специальные фильтры, чтобы выяснить это: когда они изменили поляризацию лунного света, жук соответствующим образом поменял направление движения. При отсутствии лунного света жуки блуждают беспорядочно. Хотя с ориентацией по Луне исследователи столкнулись впервые, они считают, что эта способность может быть широко распространена в животном мире.

Однако свет распространяется в кристалле во всех направлениях с одинаковой скоростью – это обыкновенный луч (фронт волны сферической). В другой волне – скорость по направлению оптической оси кристалла одинакова со скоростью в первой волне, а по направлению, перпендикулярному оптической оси, – больше. Это необыкновенный луч (фронт волны имеет эллипсоидальную форму). Оптическая анизотропия наблюдается и у органических структур: например, у мышечных, соединительнотканых (коллагеновых) и нервных волокон. Исследование скелетного мышечного волокна в поляризованном свете показало, что более темные участки являются анизотропными и обладают свойством двойного лучепреломления, а более светлые участки являются изотропными. Поэтому скелетные мышцы называют поперечнополосатыми. Коллагеновые волокна целиком анизотропны, оптическая ось их расположена вдоль оси волокна. Нервные волокна сплошь анизотропны, их оптическая ось радиальна [1.07].

Гистологические исследования тканей глаза сыграли большую роль в уточнении их структуры и способствовали пониманию физиологических процессов, происходящих в глазу. Так было установлено, что некоторые элементы рецепторов сетчатки, в частности наружные членики палочек, обладают двойным лучепреломлением [1.108].

В 1967 г. французскими исследователями были получены новые интересные материалы о структуре глазных тканей. Исследование проводили на поляризационном микроскопе «Карл Цейс Йена». В поляризованном свете коллагеновые волокна стали заметными в виде тонких (до 0,35 мкм) светящихся полос, образующих пластинки, из которых состоит роговица. Было установлено, что двойным лучепреломлением роговица, склера и сосудистая оболочка обязаны в основном коллагеновым волокнам.

Как известно, коллаген является регулярной структурой с упорядоченным расположением волокон, чем и объясняется его оптическая анизотропия. Было показано также, что двойным лучепреломлением обладают оболочка и перегородка зрительного нерва и многие другие ткани глаза. Нерегулярные коллагеновые волокна, идущие приблизительно параллельно поверхности глазного яблока, были замечены в эписклере. В склеральной строме поляризованный свет дал возможность проследить направление нервов, обладающих небольшим двойным лучепреломлением. Контраст между роговицей и склерой в поляризованном свете значительно повышается.

Потеря двойного лучепреломления при распаде и старении тканей. Особенно интересны данные, полученные при исследовании патологических тканей глаза. Так, например, дистрофия роговицы, которую не удается обнаружить гистохимическими методами, хорошо выявляется в поляризованном свете.

Исследование в поляризованном свете роговицы при кератоконусе показало, что группы пластинок теряют двойное лучепреломление и появляются новые структуры, образованные толстыми сплетениями нерегулярно расположенных двоякопреломляющих волокон, состоящих из разрушенных пластинок.

Установлено также исчезновение двойного лучепреломления на уровне пластинок при дистрофических заболеваниях макулы и роговицы. Утрата двойного лучепреломления указывает на старение и распад коллагеновой ткани, которые часто не удается установить обычными гистологическими методами. Исследование в поляризованном свете очень полезно при изучении дегенерации роговицы, так как показывает распад и старение пластинок, и наличие аморфных включений. Метод рекомендуется для гистохимического исследования липидов при изучении сосудов. Можно считать доказанным, что применение поляризованного света в гистологических исследованиях позволяет получить более точную информацию о состоянии коллагеновой ткани. В Советском Союзе велись работы по использованию поляризованного света для изучения *строения стекловидного тела и хрусталика*. Исследования проводились на поляризационном микроскопе МИН-8 параллельно с рентгеноструктурным анализом и спектрографией. Установлено, что хрусталик имеет изотропные волокна и чешуйчатое строение, причем ширина отдельных чешуек составляет примерно 0,01 мм. С развитием катаракты появляется двойное лучепреломление волокон, вызывающее интерференционную окраску, изменяется показатель преломления. Особенно резко свойства хрусталика изменяются при черной катаракте. Это, по-видимому, отражает серьезные структурные сдвиги в его тканях. Дальнейшее развитие поляризационного метода для гистологического ис-

следования глаза в комплексе с другими современными физико-химическими методами может быть использовано с целью глубокой расшифровки биохимических и морфологических изменений тканей.

Поляризованный свет – это то, на чем основана работа ЖК-дисплеев. Отдельного внимания может заслуживать LCD-монитор (Liquid Crystal Display – жидкокристаллический дисплей), поскольку выделилась группа людей, жаловавшихся на появление мушек именно после того, как они стали использовать такой монитор [1.109].

Когда поток света отражается от какой-либо гладкой блестящей поверхности, от воды, снега, льда, витрины магазина, стекла автомобиля, он может преобразоваться в поляризованный поток. Волны поляризованного света, возникшие в этих случаях, совершают колебания только в одном направлении, а не во всех [1.110]. Световая среда в помещении существенно влияет на психофизиологическое состояние человека. При наличии в помещении полированных каменных или металлических, стеклянных, т.е. зеркально отражающих поверхностей возможно неприятное ощущение, дискомфорт от бликов на окружающих поверхностях (отраженная блескость) [1.111], как правило, обладающих слепящим эффектом.

Например, с внедрением светодиодных источников света количество бликов в помещениях социально значимых объектов увеличивается (рис. 1.53).



Рис. 1.53. Освещение станции Тропарево

От люстр со светодиодными светильниками блики появляются на мраморном полу и стенах, покрытых зеркальным металлическим покрытием. С точки зрения гигиены света такая световая среда нуждается в дополнительных светотехнических расчетах [1.112].

Учет поляризации света при светотехнических расчетах

В работе [1.113] говорится, что применяемые в настоящее время программные средства для светотехнических расчетов (по программам DIALux и Relux) не учитывают поляризацию при моделировании свето-

распределения. Такое пренебрежение допустимо, если речь идет о расчете небольшого числа отражений света от поверхностей с преимущественно диффузионной составляющей. Однако в случае с поверхностями со значительной долей *зеркальной составляющей* в отражении, это состояние поляризации света изменяется уже после первого взаимодействия и влияет на характер всех последующих процессов, связанных с рассеянием света. В [1.114] было высказано предположение, что различие между результатами моделирования многократных отражений, полученными при традиционных расчетах и расчетах с учетом степени и характера поляризации, может составлять более 20%.

Такое расхождение уже является существенным, и его необходимо учитывать в решении практических задач. Исходя из этого, авторами в [1.115] была предложена математическая модель многократного отражения света с учетом поляризации на основе вектора – параметров Стокса, который характеризуют луч, и матриц Мюллера, которые описывают взаимодействие света с веществом. В процессе развития данной модели было получено векторное уравнение глобального освещения (ВУГО) для вектора Стокса на основе обобщения стандартного уравнения [1.116].

Подробное решение задачи учета поляризации света при светотехнических расчетах рассмотрено в трудах специалистов кафедры «Светотехники» МЭИ.

Поляризованный свет сбивает живность с толку

К. Фриш обнаружил, что в ориентации по поляризованному свету используется коротковолновая часть видимого пчелами света: ультрафиолетовые, фиолетовые и синие лучи (с длиной волны короче 500 нм).

В связи с этим у многих представителей животного мира – птиц, насекомых, рептилий – высокоразвитое поляризованное зрение. Хорошо известно, например, что маленькие морские черепахи полагаются на отраженный свет Луны и звезд, отыскивая дорогу домой. Увы, они все чаще ошибаются, ориентируясь на уличное освещение и яркие окна зданий. Брюс Робертсон из Мичиганского университета и его коллеги из Венгрии уверены: расширение городской среды означает появление все большего числа структур и поверхностей, которые будут сбивать с толку живность. Любой блестящий черный объект – масло, солнечные батареи, асфальт – создает проблемы тем большие, чем больше напоминает влажную поверхность [1.117].

Раздел 1.7. Естественные (адекватные) механизмы защиты глаза от солнечного света

*Мы формируем наши знания, а
затем наши знания формируют нас.*

Уинстон Черчилль

*Нельзя сказать, что вода необходима для жизни,
вода – сама жизнь... вода – самое большое
богатство на свете...*

А. де Сент-Экзюпери

Жизнь зародилась в водах Мирового океана. В воде и при свете шло эволюционное формирование глаза, которое продолжалось на суше в воздушной среде [1.118].

Сформированное многообразие глаз и функциональные возможности их просто поражают. Рассмотрим некоторые из них.

В природе встречаются глаза, возможности которых нам даже представить трудно, вследствие ограниченности наших собственных органов зрения. Том Кронин из Мэрилендского университета в округе Балтимор внимательно разглядывает что-то в лабораторном аквариуме. Из-за стекла на него уставилась парочка выпученных глаз на стебельках. «Лупоглазка» – так Том ласково называет своего подопечного – красивейшее создание, раскрашенное во все цвета радуги. Перед нами рак-богомол – морской обитатель, названный так за сходство с тезками-насекомыми, обладающими проворными хватательными конечностями. Кончики ногочелюстей у Лупоглазки увенчаны внушительных размеров молоточками, в мгновение ока способными обрушиться на жертву с силой, достаточной, чтобы раскрошить ее панцирь (или, еще хуже, аквариумное стекло). Том выяснил, что сетчатка Лупоглазки (рак-богомол *Odontodactylus scyllarus*) содержит 12 различных цветовых рецепторов (у нас – всего 3), а еще глаза рака способны видеть ультрафиолетовую часть спектра и поляризованный свет (рис. 1.54). К тому же его глаза воспринимают глубину изображения независимо друг от друга.



Рис. 1.54. Фото рака-богомола *Odontodactylus scyllarus*

Глаз кубинской игуаны (Cyclura nubila nubila) подтверждает один из фундаментальных принципов эволюции: потребность предопределяет форму. Сетчатка с четырьмя типами колбочек, ответственных за цветовое восприятие, позволяет этой ящерице прекрасно видеть при солнечном свете. А просто устроенный третий глаз в верхней части головы реагирует на уровень освещенности, подстраиваясь под который, животное регулирует температуру тела.

Глаза винного бражника (Deilephila elpenor) способны улавливать единичные фотоны, и даже при тусклом сиянии звезд эти ночные бабочки различают оттенки цветков, уже наполнившихся нектаром и пустоцветов.

Эволюция глаза. Глаз – одно из лучших изобретений слепой природы.

На вопрос, как животные используют глаза, большинство из нас ответит: так же, как и человек. Но это неверно. Совсем. Так считает Дэн-Эрик Нильсон. В лаборатории Лундского университета (Швеция) он, изучая органы зрения других существ, что называется, смотрит в оба: пара серо-голубых глаз ученого против 24 карих глаз кубомедузы. Зрительные органы медузы симметрично расположены в четырех ропалиях – укороченных и утолщенных щупальцах на краю ее зонтика. «Когда я впервые увидел все это, не мог глазам поверить», – вспоминает Нильсон. Четыре из шести органов зрения в каждом ропалии представляют собой простые светочувствительные пятна, а вот оставшиеся два устроены на удивление сложно. Это камерные глаза, в которых есть тонкий прозрачный покровный слой (роговица), светофокусирующая линза (хрусталик) и стекловидное тело с подстилающим слоем светочувствительных клеток (сетчаткой). Так что медуза, как человек, способна видеть изображение, но не очень резкое. Нильсон собирает данные о разнообразии строения и функций зрительных органов у животных. Скажем, человек использует глаза и для изучения окружающего мира. А для чего нужны глаза... кубомедузе? Ведь это одно из простейших существ на планете – пульсирующий комок слизи, волочащий за собой несколько жгутов с сотнями жалящих стрекательных клеток (рис. 1.55). У нее даже мозга нет – его роль выполняет нервное кольцо, расположенное в колоколе медузы. Какие данные собирает такое существо?

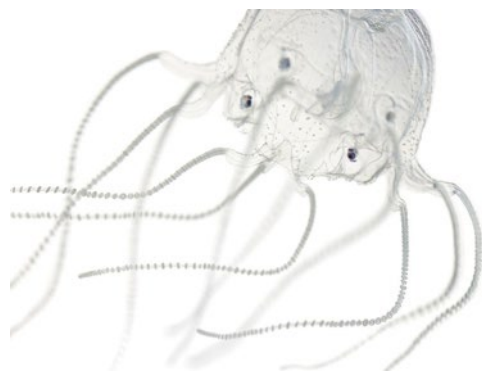


Рис. 1.55. Кубомедуза *Tripedalia cystophora* достигает лишь 10 миллиметров в поперечнике, но у нее 24 глаза, сосредоточенных в четырех ропалиях. Фото: Эволюционная лаборатория Окли, Калифорнийский университет (Санта-Барбара)

В 2007 году группа исследователей во главе с Нильсоном выяснила, что кубомедуза *Tripedalia cystophora* использует камерные глаза, направленные вниз, чтобы ориентироваться в подводных мангровых зарослях, где она проводит большую часть жизни. Еще четыре года ушло на то, чтобы разобраться, для чего медузе такие же глаза, смотрящие вверх. Тут помог небольшой минеральный грузик, перекатывающийся в нижней части ропалия, – статолит. Благодаря статолиту, всегда скатывающемуся вниз, эти глаза всегда – даже когда медуза плавает «вниз головой» – смотрят вверх. Когда на них падает тень, медуза делает вывод, что она находится под покровом мангрового леса, где может добыть пищу – крошечных рачков. Если же они видят лишь яркий свет, значит, ее унесло в открытое море, где есть нечего. Так что животному, лишенному центральной нервной системы, глаза нужны для поиска пищи, ориентации в пространстве и преодоления препятствий, то есть для того, чтобы выжить. Глаза кубомедузы – лишь один из разнообразных зрительных органов. Кто-то способен видеть только черно-белое изображение, а кто-то воспринимает все цвета радуги и даже спектры, невидимые для человека. Одни не в силах разобраться, где находится источник света, другие способны выследить добычу с расстояния в несколько километров. Самые маленькие глаза венчают головку наездника *Gonatocerus ashmeadi* из отряда перепончатокрылых насекомых: они чуть больше крошечной амебы. А самые крупные, диаметром с тарелку, у обитателей морских глубин – гигантских кальмаров. Их зрительный аппарат камерного типа похож на глаз человека и устроен как фотокамера: единственная линза-хрусталик фокусирует свет на сетчатке, состоящей из фоторецепторов – светочувствительных клеток, поглощающих энергию фотонов и преобразующих ее в электрический импульс, который по зрительному нерву передается в мозг. У мухи глаза фасеточные – состоят из тысяч самостоятельных единиц, фасеток (в каждой – своя линза и фоторецепторы). У человека, у мухи и у кальмара глаза расположены парами на голове, а вот у морского гребешка, к примеру, глаза несколькими рядами усеивают кожную складку, окружающую тело, мантию; у морских звезд – находятся на кончиках лучей. Бывают глаза с бифокальными линзами и с отражающим пигментным слоем (светятся в темноте, как у кошки или крокодила) и даже глаза, способные смотреть вверх, вниз и в стороны одновременно.



Рис. 1.56. Не все глаза одинаковы – даже у одной особи они могут быть нескольких типов. Глядящий вверх левый глаз (виден на фото) кальмара *Histioteuthis hentropsis* в два раза крупнее правого глаза и легко различает добычу, проплывающую на фоне освещенной поверхности воды. Меньший глаз моллюска (его не видно) направлен вниз, чтобы видеть светящихся животных и хищников. Фото: Исследовательский институт Океанариума Монтерей-Бей

Такое разнообразие ставит в тупик. Все органы зрения реагируют на свет, распространение которого описывается достаточно простыми законами оптики. Однако сам световой сигнал можно использовать очень по-разному: определять время суток, глубину воды, появление в поле зрения контура хищника или возможного партнера. Кубомедуза, ориентируясь на свет, отыскивает безопасное место для кормежки, а мы с помощью глаз осматриваем местность, воспринимаем изменения выражения лица собеседника и читаем эти строки. Чтобы разобраться, как происходила эволюция глаз, ученым недостаточно просто изучить их строение. Им необходимо пройти путь Дэна-Эрика Нильсона: узнавать, для чего животные используют зрение. Около 540 миллионов лет назад далекие предки большинства животных почти одновременно появились в океане, и начался бурный процесс видообразования, названный кембрийским взрывом. Некоторые из кембрийских животных сохранились в виде окаменелостей. Исследуя эти окаменелости методами микроскопии, ученые могут выяснить внутреннее строение давно вымерших организмов, в том числе их органов зрения. И даже взглянуть на мир их глазами. «Это потрясающе! – ликует Бригитте Шёнеманн из Кельнского университета. – Мы даже можем рассчитать количество фотонов, когда-то регистрировавшихся их сетчаткой!» Однако все ископаемые глаза, которые смогли исследовать ученые, уже были достаточно сложны, поскольку совсем просто устроенные органы зрения практически не имеют шансов окаменеть, ввиду мелких размеров и отсутствия жестких оболочек. Изучение окаменелостей не дает нам понять, как незрячие животные обрели возможность видеть. Эта тайна не давала покоя еще Чарлзу Дарвину. «Предположение о том, что глаз, со всеми своими непревзойденными приспособлениями... сформировался путем естественного отбора, откровенно говоря, кажется в высшей степени абсурдным», – говорится в знаменитом «Происхождении видов». Креационисты предпочитают обрывать цитату на полуслове, создавая впечатление, что великий ученый сомневался в собственных выводах. Однако в следующем предложении Дарвин разрешает дилемму: «Но разум твердит мне, что если бы существование бесчисленных градаций от идеального и сложного глаза до глаза простого и несовершенного, каждый из которых был полезен своему обладателю... можно было бы показать, тогда затруднения, возникающие при мысли, что идеальный и сложный глаз мог сформироваться путем естественного отбора, хотя и непреодолимые для нашего воображения, вряд ли могли бы считаться существенными». И градации, о которых размышлял Дарвин, на самом деле существуют. Живые существа демонстрируют широчайший спектр разнообразия, от простых светочувствительных пятен на теле дождевого червя до совершенных глаз хищных птиц, обладающих острейшим зрением. Нильсону удалось создать модель развития глаза и показать, как простой орган в виде крошечного плоского диска из пигментированных светочувствительных клеток преобразился за сравнительно небольшой промежуток времени. В каждом последующем поколении он становился немного толще. Затем постепенно начал прогибаться, превратившись в бокальчик. Потом обрел грубую линзу, которая «отшлифовывалась» шаг за шагом. Попробуем предположить, что орган зрения улучшался на 5 тысячных процента,

в каждом последующем поколении он становился немного толще. Тогда, согласно модельным расчетам, на превращение светочувствительного пятнышка в совершенный глаз камерного типа понадобилось всего 364 тысячи лет – по эволюционным меркам, мгновение ока!



Рис. 1.57. Мантия – складка тела – атлантического гребешка (*Argopecten irradians*) окружена гирляндой из сотни сияющих лазурных глазок. Фото: Дэн-Эрик Нильсон

Не стоит рассматривать простые зрительные органы лишь как одну из промежуточных ступеней эволюции на пути к сложным устройствам: все они исправно служили своим обладателям. У морских звезд глаза, расположенные на кончиках лучей, не различают цвет и мелкие детали и не могут заметить быстро движущиеся объекты. С таким зрением летящий орел врезался бы в первое попавшееся дерево. Но ведь морские звезды не выслеживают бегущего по полю зайца с высоты небоскреба, им и нужно-то всего ничего: разобраться, где находится коралловый риф – огромное незабываемое подводное сооружение, – чтобы неторопливо добраться до дома. Для этого звездам достаточно тех глаз, какие есть, и ничего лучшего им не надо. Для морской звезды орлиный глаз – бессмысленная трата жизненных ресурсов. «Глаза не эволюционировали от плохих к идеальным, – объясняет Нильсон. – На первых порах они удовлетворяли несколько простейших зрительных потребностей, чтобы по мере развития начать выполнять многочисленные и невероятно сложные функции». В своей модели Нильсон выделил четыре этапа эволюции глаза. Характерными особенностями каждого из этапов он выбрал не физические параметры зрительных органов, а те новые возможности, которые появлялись у их обладателей. На первом этапе зрение использовалось для измерения интенсивности падающего света, определения времени суток или оценки глубины вод, на которой находится животное. Тут достаточно одного фоторецептора. У гидры – небольшой сидячей родственницы медузы – глаз вообще нет, но на щупальцах есть фоторецепторы. Как показали Тод Окли и Дэвид Плачетски из Калифорнийского университета (Санта-Барбара), эти фоторецепторы связаны с ядовитыми стрекательными клетками, что, возможно, помогает гидре реагировать на тени проплывающих мимо потенциальных жертв (и выстреливать в них ядовитыми гарпунами) или ждать прихода ночи, когда добыча гидру не видит и сама плывет в щупальца. На второй стадии животные получают способность определять, откуда падает свет, – их фоторецепторы приобретают экранирующую выстилку (слой пигментных

клеток), блокирующую часть световых лучей. Рецепторы позволяют своему хозяину увидеть однопиксельную картину мира, но и этого достаточно, чтобы выбрать направление движения к источнику света или, наоборот, – в тень убежища. Так ориентируются личинки многих морских животных. На третьем этапе фоторецепторы с пигментной выстилкой группируются в «глазки», каждый из которых смотрит в свою сторону. Обладатели таких глаз способны различать информацию, поступающую с разных направлений, и сводить ее в единую «картинку» – довольно размытую, но все же позволяющую составить представление об окружающем мире. Это поворотный момент, когда животные не просто улавливают световые сигналы, а начинают воспринимать зрительные образы, – момент появления настоящих глаз. Существа с таким зрением способны найти убежище (как морская звезда) или избежать столкновения с препятствием (как кубомедузы). Но настоящая эволюция глаз начинается на четвертом этапе. С появлением линзы-хрусталика, способной фокусировать световые лучи, зрение обретает резкость и остроту. «На этой стадии список зрительных функций разрастается до бесконечности», – подытоживает Нильсон. Такое разнообразие новых возможностей для восприятия окружающей среды вполне могло быть толчком к бурному видообразованию, то есть к кембрийскому взрыву. Внезапно в системе «хищник – жертва» появляется новый элемент – и вместо того чтобы вынюхивать, пробовать на вкус или искать на ощупь возможную добычу, хищники обрели способность выслеживать ее на расстоянии. Началась «гонка вооружений», в результате которой животные резко увеличились в размерах, стали подвижнее и обзавелись защитными панцирями и шипами. Развитие органов зрения тем временем продолжалось. Все основные типы глаз, встречающиеся в наши дни, появились в кембрийском периоде, хотя и в примитивном виде. Конечно, с тех пор они приобрели множество новых функций. Скажем, глаза самцов насекомых поденок выгледят так, будто на небольшой фасеточный глаз «наклеили» еще один, огромный, основная задача которого – неустанно всматриваться в небо в поисках самок. У рыб-четырёхглазков, нетрудно догадаться, каждый глаз разделен на две части, одна из которых находится над водной гладью и следит за происходящим в небе, а другая смотрит вниз, выискивая добычу и отслеживая хищников. Человеческий глаз отлично приспособлен для выполнения разных задач, он достаточно быстро воспринимает информацию, отлично улавливает контрасты, а по остроте зрения человека превосходят лишь хищные птицы – недаром говорят «глаз как у орла».

Таким образом, эволюция зрительного органа вовсе не противоречит теории естественного отбора, а напротив, служит отличным ее подтверждением. «Есть величие в этом воззрении...», – написал Дарвин на последней странице главной книги своей жизни. Природу во всем ее великолепии человек не смог бы увидеть, не обладай он камерными глазами четвертой эволюционной стадии. Модель Нильсона позволяет по-новому взглянуть на давний спор: возник глаз единожды или многократно? Согласно гипотезе известного немецкого биолога-эволюциониста Эрнста Майра, глаза независимо развивались от 40 до 65 раз – как иначе объяснить многообразие встречающихся в природе и совершенно непохожих друг на друга форм? Вальтер Геринг, швейцарский

специалист по биологии развития, напротив, полагал, что глаза появились один-единственный раз, поскольку формирование глаза практически у всех животных контролируется одним и тем же геном Рахб. И оба они оказались правы. На третьем этапе развитие глаз у разных животных происходит независимо, на основе зрительных органов второй стадии. Например, кубомедуза обзавелась зрением независимо от моллюсков, позвоночных и членистоногих. Но глаза у каждого из этих существ сформировались на основе примитивных клеток-фоторецепторов. Подтверждением этому служит тот факт, что все глаза состоят из одних и тех же базовых «кирпичиков». Чтобы видеть, любому организму необходимы белки опсины. Опсины связаны с хромофорами – молекулами, поглощающими энергию фотонов и в результате меняющими форму, что, в свою очередь, влияет на пространственную структуру опсина. Эти преобразования запускают череду химических реакций, на выходе производящих электрический сигнал. В природе существуют тысячи различных опсинов, но все они сходны друг с другом. Несколько лет назад Меган Портер из Гавайского университета в Маноа сопоставила нуклеотидные последовательности 900 генов, кодирующих опсины у самых разных видов животных, и пришла к выводу, что у всех них был один белок-предшественник. И этот «предок» возник не на пустом месте. Эволюция создала первые опсины из белков, основной задачей которых было отмерять время, а не реагировать на свет. Эти исходные белки связаны с сигнальным гормоном мелатонином, контролирующим суточные ритмы многих организмов. Мелатонин разрушается на свету, что служит сигналом к пробуждению организма с первыми лучами солнца. Однако одноразовый механизм требует постоянного синтеза гормона. Хромофоры же, связанные с опсинами, при поглощении света лишь меняют форму и могут легко вернуться в исходное состояние. Иными словами, эволюционные изменения белков, прежде действовавших в паре с мелатонином, превратили эти белки в многообразные световые датчики. Так появились опсины, и это приобретение оказалось настолько удачным, что природа так и не создала достойной альтернативы. Однако другие компоненты глаза развивались иначе. К примеру, большинство линз-хрусталиков сформированы из белков кристаллинов, которые улучшают зрение за счет фокусировки проходящего света на фоторецепторах. Но родословная кристаллинов не такая прямолинейная, как у опсинов. Кристаллины – это лишь общее название группы белков, но у человека, кальмара и мухи белки эти разные. За время эволюции собственными кристаллинами независимо друг от друга обзаводились многие организмы, отбирая белки-предшественники среди тех, которые иногда вовсе не были связаны со зрением. Одни участвовали в переработке алкоголя, другие вырабатывались организмом в стрессовых ситуациях. Но все они были устойчивы и легко приобретали нужную пространственную структуру, а самое главное, могли преломлять лучи света – как раз то, что нужно для создания линзы. Самые необычные хрусталики не содержат кристаллинов вообще. Именно такие глаза встречаются у хитонов. Хитоны – моллюски, чье тело украшено несколькими известковыми защитными пластинами. Пластины усеяны сотнями крошечных глаз с минеральными линзами – живое существо сумело улучшить зрение с помощью кусочков горной породы! Более того, по мере износа линз хитоны выращивают новые на замену.



Рис. 1.58. Хитон *Acanthopleura granulata* обладает несколькими сотнями крошечных глаз, расположенных в защитных известковых пластинках – каждый с хрусталиком и сетчаткой. Фото: Лаборатория эволюционной физиологии Спейсера. Университет Южной Каролины

Опсины, хрусталики и прочие элементы зрительной системы еще раз подтверждают, что эволюция – мозаична: складывает разные сложные конструкции из одних и тех же простых фрагментов и, по сути, действует методом проб и ошибок, приспособливая уже существующие материалы к выполнению новых задач. При этом, увы, эволюция слепа, и ее творения порой далеко не совершенны. Скажем, Нильсона удивляет строение фасеточных глаз, состоящих из множества одинаковых элементов – фасеток. Такое устройство зрительного органа существенно ограничивает разрешающую способность: мухе, чтобы видеть так же четко, как человеку, понадобились бы глаза размером с футбольный мяч. «Насекомым и ракообразным удалось добиться фантастического успеха, несмотря на их фасеточные глаза, а во все не благодаря им, – уверен Нильсон. – Им было бы гораздо проще жить с камерными глазами, как у млекопитающих. Но природа распорядилась иначе. Все-таки эволюция не умна». Эрик Уоррэнт, работающий в соседней лаборатории Лундского университета, не столь категоричен в оценках: «Преимущество насекомых в том, что их глаза устроены, как камера для замедленной съемки. Поэтому две мухи могут преследовать друг друга в полете на большой скорости, а их глаза будут фиксировать до 300 "кадров" в секунду. Человеческий глаз способен уловить 50 в лучшем случае». (Нам кажется, что мы очень быстро прихлопываем муху газетой, а она видит, как неуклюжее существо медленно-медленно отводит руку, а затем медленно-медленно тянется к ней, и, понятно, успевает просчитать траекторию удара и скрыться.) Угол обзора стрекозы достигает почти 360 градусов, мы же способны видеть только то, что происходит перед нами. А бабочка винный бражник – излюбленный объект изучения Уоррэнта – различает цвета даже при тусклом мерцании звезд. «Конечно, в чем-то наши глаза лучше, но по большинству параметров человеческое зрение хуже, – говорит Уоррэнт. – Природа не смогла создать идеальный глаз на все случаи жизни».

У человеческого глаза свои недостатки. Например, сетчатка с фоторецепторами располагается за «паутиной» из нервных волокон. Это все равно что выставить провода фотокамеры прямо перед ее объективом. Нервные окончания, сплетаясь в зрительный нерв, чтобы достичь мозга, проходят сквозь отверстие в сетчатке. Поэтому у нас есть слепое пятно – нечувствительная к свету область сетчатки. Правда, мозг устраняет некоторые пробелы и до-

страивает картинку. Но не всех проблем удалось избежать. Сетчатка может отслаиваться, и тогда человек слепнет. Отслоение было бы невозможно, будь фоторецепторы спаяны с нейронами, как у осьминогов и кальмаров (у этих существ фоторецепторы находятся перед нейронами, и слепых пятен у них нет). Вот вам и еще одно подтверждение того, что эволюционный путь отнюдь не прям. Сложность строения глаз определяется потребностями их обладателя: если потребности ограничены, нет нужды трудиться над созданием сложного зрительного аппарата. Большинство птиц и рептилий воспринимают цвета при помощи четырех типов фоторецепторов-колбочек, каждый из которых содержит свой опсин, настроенный на восприятие определенной части цветового спектра. Однако млекопитающие, предположительно, произошли от общего предка, который вел ночной образ жизни и два типа колбочек утратил (эти фоторецепторы наиболее эффективны при дневном свете). Большинство млекопитающих по сей день так и остались лишь с двумя типами колбочек, так что некоторые краски окружающего мира им просто недоступны. Обезьянам Старого Света в ходе эволюции удалось восстановить опсин, чувствительный к красному, видимо, для того чтобы отличать спелые плоды от незрелых, а иногда и ядовитых зеленых. Морские млекопитающие эволюционировали иначе: они избавлялись от «синих» колбочек по мере освоения водной среды. Многие виды китов сохранили лишь фоторецепторы-палочки, подходящие к низкому уровню освещенности в океанских глубинах.



Рис. 1.59. Фасеточные глаза начали эволюционировать более 500 миллионов лет назад. Ископаемый глаз, найденный в Австралии, нес 3 тысячи линз и мог видеть при тусклом свете. Фото: Научный центр, Южно-Австралийский Музей, Аделаида, Австрия (окаменелость)

Одно можно сказать наверняка: эволюцию глаз животных мы сможем понять, лишь когда научимся видеть мир, что называется, их глазами. Но у человека сформировалась своя структура зрительного анализатора.

Эффективную работу зрительного анализатора человека обеспечивают естественные механизмы защиты глаза от воздействия солнечной радиации, которые сформировались в ходе его эволюционного развития в условиях рассеянного солнечного света, в воздушно-влажной среде. При этом необходимо учесть, что эти механизмы формировались в условиях циклически меняющейся интенсивности солнечной радиации и возможности человека менять ее интенсивность путем применения естественной защиты (прятаться в тени зарослей леса, пещер, домов или изменять образ жизни). Система – полуденный, послеобеденный отдых (в Испании, Италии, Латинской Америке и некоторых других странах) – один из способов защиты глаза от воздействия солнечной радиации.

С гигиенической точки зрения в дальнейшем мы покажем, как изменится эффективность сформированной системы защиты зрительного анализатора от воздействия солнечного света в условиях искусственного освещения.

Зрительный анализатор человека имеет сложную систему защиты от солнечного света на уровне структуры функциональных подсистем и на уровне элементов функциональных подсистем.

Для обеспечения живучести на уровне структурно-функциональных подсистем в зрительном анализаторе существует:

- биомеханическая система (веки, зрачок и мышечная система, которая состоит из многообразия функциональных мышц);
- оптоволоконная система глаза;
- глиальная система, в которой важное место занимает система радиальной глии, которая имеет ограниченный запас, из которого образуются нейроны – основные клетки нервной ткани;
- система транспортировки и утилизации биоостатков деградирующих клеток;
- система водообмена между клетками на базе аквапоринов – интегральным мембранным белком, который облегчает движение воды через плазматическую мембрану;
- система циркуляции водянистой влаги между функциональными системами;
- кровеносная система глаза, которая поставляет водянистую влагу, вазопрессин для управления аквапоринами и другие питательные вещества.

Радиальная глия (РГ) – глиальные клетки с длинными отростками, играющие важную роль в нейрональной миграции, построении слоев коры мозга и мозжечка, а также являющиеся прекурсорами (предшественниками) в процессе нейрогенеза. РГ образуется на ранней стадии развития нервной системы из нейроэпителиальных клеток. Некоторые глиальные популяции, например, Мюллерова глия (клетка Мюллера) в сетчатке, танициты в гипоталамусе и Бергмановская глия в мозжечке, сохраняют радиальную морфологию (строение), а также иммунологические и биохимические свойства, присущие РГ, и во взрослом организме. Функционирование радиальной

глии напрямую связано с процессами старения мозга и организма в целом. Радиальная глия – это тот запас, из которого образуются нейроны – основные клетки нервной ткани. Уничтожение этого запаса, а следовательно, невозможность образования новых клеток, – это отправная точка процесса старения согласно астроцитарной теории [1.119].

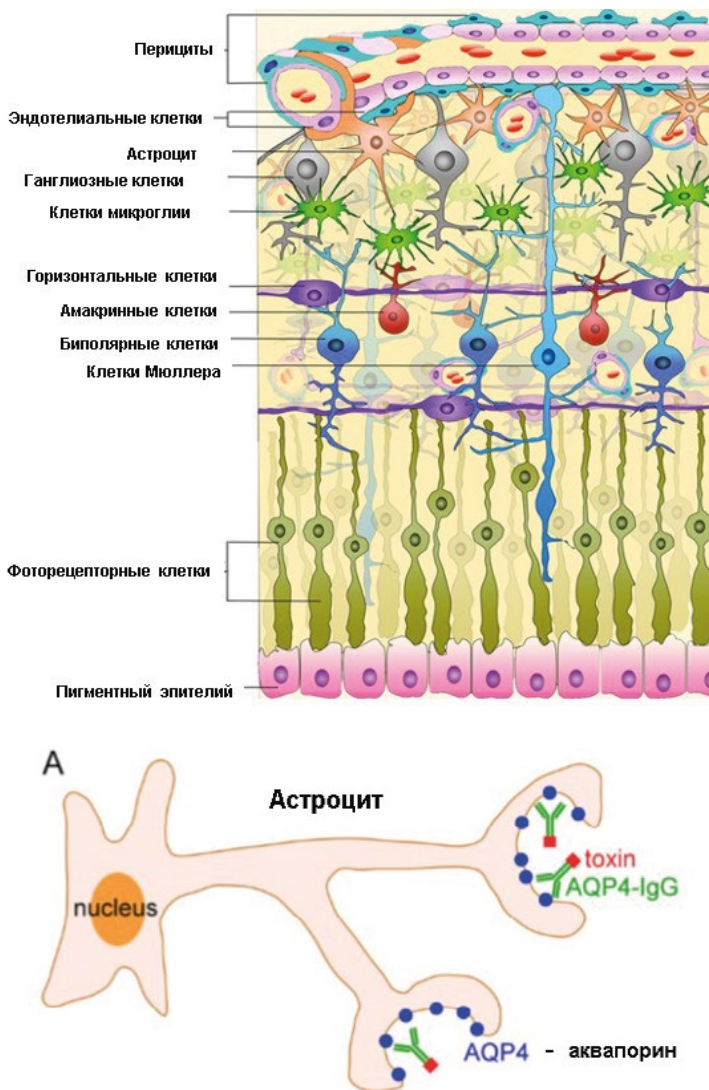


Рис. 1.60. Общая схема размещения астроцитов, клеток Мюллера, микроглии в сетчатке глаза [1.120] и аквапоринов в ножках астроцита [1.121]

Показано, что клетки РГ, которая на ранних этапах онтогенеза служит субстратом для миграции дифференцирующихся нервных клеток, становятся нейронами. Однако потом выяснилось, что на самом деле популяция клеток радиальной глии гетерогенна: часть клеток содержит нейральные

маркеры (маркеры-белки или другие молекулы, экспрессия которых характерна для какого-либо вида клеток и для разных стадий их развития (они впоследствии становятся нервными), а часть – глиальные (такие и становятся глиальными). Иными словами, несмотря на то, что все клетки радиальной глии вначале выполняют одну и ту же временную функцию, они уже детерминированы к развитию (т.е. их развитие предопределено) в разных направлениях. Дальнейшие исследования показали, что клетки радиальной глии трансформируются в астроциты, клетки Мюллера. Общая схема их размещения приведена на рис. 1.60.

Гигиенисты оперируют понятиями «свет», «вода» и «воздух» (различные газы) и для них важен вопрос транспорта воды в клетках и ключевая роль аквапоринов в биологии опухолей. Долгое время считали, что вода легко преодолевает биологические мембраны путем простой диффузии, хотя новые данные все более противоречат такой концепции. Открытие трансмембранных водных каналов (аквапоринов), которые обеспечивают быстрый транспорт воды через биологические мембраны всех живых организмов (животных, растений и микроорганизмов), опровергло указанную концепцию и явилось выдающимся достижением общей биологии, ботаники, физиологии и медицины [1.122], а раз это касается воды, то и гигиены. За открытие аквапоринов Питер Агре получил в 2003 году Нобелевскую премию по химии, совместно с Родриком Маккинноном удостоившись награды за изучение структуры и механизмов работы калиевых каналов.

Аквапорины, или «водные каналы», избирательно пропускают молекулы воды, позволяя ей поступать в клетку и покидать ее, в то же время препятствуя потоку ионов и других растворимых веществ. Другие акваглицерофорины пропускают не только воду, но и глицерин, CO_2 , аммиак и мочевины, в зависимости от диаметра и формы образуемой поры, однако аквапорины совершенно непроницаемы для заряженных частиц, и это их свойство позволяет сохранять электрохимический мембранный потенциал [1.122].

Большинство представителей первой группы (собственно аквапорины) пропускают только воду. Эта группа включает аквапорины AQP0, AQP1, AQP2, AQP4, AQP5, AQP6 и AQP8.

Дело в том, что AQP6 пронизаем не только к воде, но и к некоторым анионам и при низких значениях pH (менее 5,5) может транспортировать хлорид. Скорость прохождения воды через AQP1 составляет примерно $3 \cdot (10^9)$ молекул воды/с, что значительно выше, чем активность известных ионных каналов [1.123].

Аквапорин AQP8 пронизаем также к мочеvine. Во вторую группу входят водные каналы AQP3, AQP7, AQP9 и AQP10, получившие название акваглицерофорины, так как в разной степени пронизаемы не только для воды, но и для глицерина и мочевины [1.123].

Система аквапоринов размещена в структурах глаза (рис. 1.61).

В работе [1.124] приведен уточненный перечень аквапоринов в структуре глаза.

Локализация аквапоринов в тканях глаза, слезной железы и зрительного нерва, по данным [1.124], приведены в таблице.

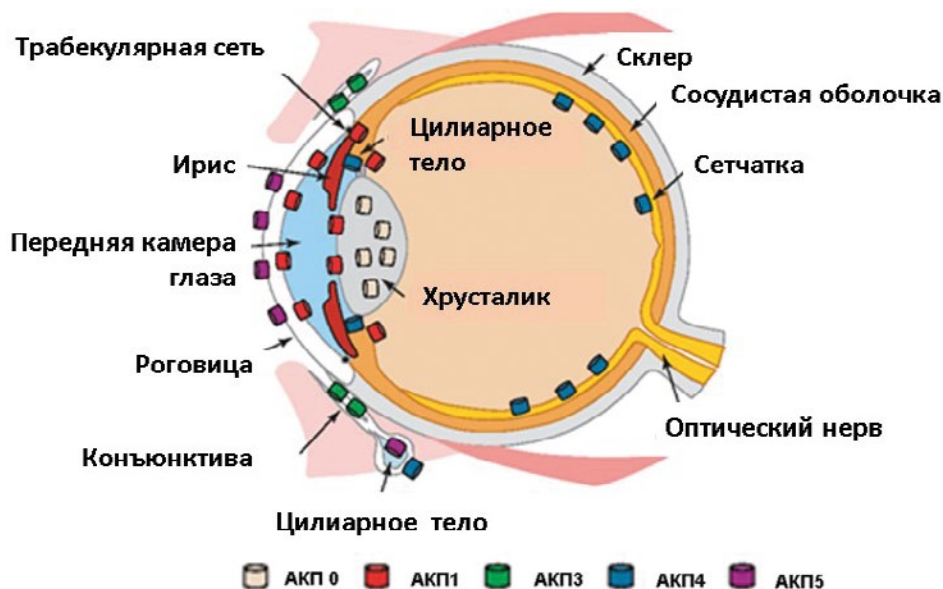


Рис. 1.61. Общая схема областей размещения аквапоринов в структуре глаза [1.124]

Таблица 1.1

Локализация аквапоринов в тканях и клетках глаза

АКП	Ткани и клетки
АКП0	Клетки волокон хрусталика, биполярные клетки сетчатки
АКП1	Эндотелий роговой оболочки, эпителий радужной оболочки, цилиарный эпителий, эпителий хрусталика, пигментный эпителий сетчатки, фоторецепторные клетки, трабекулярная сеть, клетки Мюллера
АКП3	Эпителий конъюнктивы и роговицы, пигментный эпителий сетчатки
АКП4	Зрительный нерв, сетчатка, цилиарный эпителий, клетки ацинусов слёзных желёз
АКП5	Клетки ацинусов и протоков слёзных желёз, эпителий роговой оболочки, эпителий и волокна хрусталика, пигментный эпителий сетчатки
АКП6	Сетчатка
АКП7	Эпителий и эндотелий роговицы, корнеолимбальная ткань, эпителий хрусталика и цилиарного тела, пигментный эпителий сетчатки, эндотелий капилляров во всех частях глаза
АКП8	Сетчатка
АКП9	Зрительный нерв, сетчатая оболочка, корнеолимбальная ткань
	АКП11 Пигментный эпителий сетчатки и нейроретина, корнеолимбальная ткань
	АКП12 Нейроретина

Аквапорин-О, или AQP0, или белок МРР 26, находится в хрусталике и является единственным известным аквапорином, который участвует в формировании соединений мембран в условиях *in vivo* [1.125, 1.126, 1.127].

Механизм переноса воды включает ориентирующий эффект аспарагина 76 и аспарагина 192. При участии водородных связей остатки этих аминокислот обеспечивают оптимальную структурную организацию молекул воды в узком пространстве тоннеля. В результате молекулы воды выстраиваются в ряд, заполняя весь тоннель, в виде линейной последовательности [1.128].

На эффективность работы аквапоринов воздействуют разные вещества [1.129] и ионы [1.54].

Глутамат

Способность глутамата усиливать проницаемость воды у астроцитов крысы представлена в работе Gunnarson E. et al., что, по мнению авторов [1.129], связано со взаимодействием глутамата с серином 111 AQP4. Авторы полагают, что глутамат активирует метаботропные глутаматные рецепторы, высвобождает ионы Ca, в результате чего активируется кальций/кальмодулин зависимая протеинкиназа II и NO-синтаза. В итоге все это повышает способность AQP4 транспортировать воду и тем самым вызывать отек ткани мозга. Подобная цепь событий происходит при церебральной ишемии, что сопровождается развитием ишемического и постишемического отека мозга [1.54, 1.129].

Водянистая влага – основные функции [1.130]



Рой Лихтенштейн (1923–1997)
Девушка со слезой. 1977

В водянистой влаге находятся необходимые для глаза питательные вещества – глюкоза и аминокислоты. Эти вещества всегда требуются для питания так называемых невааскуляризованных частей глазного яблока – эндотелия роговицы, хрусталика, стекловидного тела, точнее его переднего отдела, трабекулярной сети.

В водянистой влаге также всегда в норме присутствуют иммуноглобулины. Благодаря им и непрерывной циркуляции нейтрализуются и выводятся потенциально опасные частицы из внутренних частей всего глазного яблока.

По своим особенностям водянистая влага относится к светопреломляющим средам. Внутриглазное давление глаза обусловлено соотношением продуцируемой и выведенной водянистой влаги.

Количество водянистой влаги глаза при некоторых заболеваниях (неэффективной работе аквапоринов) и негативных внешних воздействиях может увеличиваться и уменьшаться. Нарушение в системе оттока водянистой влаги приводит к патологическому повышению внутриглазного давления, что грозит развитием тяжелого офтальмологического заболевания – глаукомы. При надежной и устойчивой работе клеток системы глии, системы аквапо-

ринов и водянистой влаги обеспечивается защита и восстановление функциональных клеток сетчатки в условиях солнечного света, интенсивность которого меняется в течение суток и времени года.

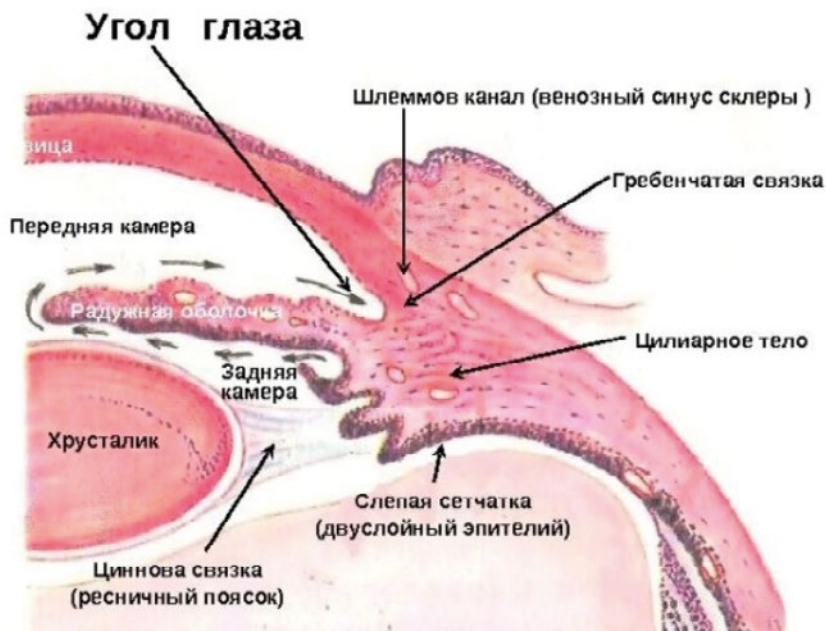


Рис. 1.62. Общий вид перетока водянистой влаги из задней в переднюю камеру [1.130]

Исходя из совокупности знаний о функционировании зрительного анализатора и механизмов его поражения на уровне элементов функциональных подсистем, рассмотрим некоторые методы регулирования и защиты:

- метод биомеханического управления и очистки роговицы;
- методы ограничения энергетики светового сигнала;
- методы поглощения и преобразования спектра света;
- методы защиты от окислительного стресса;
- метод регенерации функциональных клеток;
- метод волоконно-оптического восприятия света;
- метод ограничения скорости накопления продуктов от воздействия окислительного стресса;
- методы управления состоянием кровеносной системы зрительного анализатора, которая снабжает клетки глаза необходимыми веществами, водой и кислородом.

Глаз – это орган человека, в котором непосредственно встречается световой поток, функциональные светочувствительные клетки, посредническая система глии и кровеносная система (поток вещества для его функционирования и отток продуктов взаимодействия фотонов и материи глаза), формируется поток носителей первичной информации для формирования зрительных образов и информации от управления внутренней структурой глаза (например, диаметром зрачка, глиальной системой защиты).

Еще не открыты все тайны функционирования глаза, и в ближайшее время поток открытий может только возрасти.

На рис. 1.63 приведена общая схема строения глаза с указанием основных элементов.

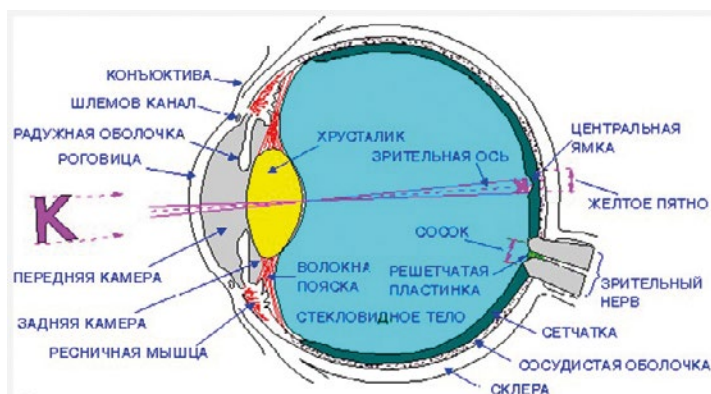


Рис. 1.63. Общая схема горизонтального разреза правого глаза (Schmidt R.F., ThewsG, «Human Physiology», 1983)

По мере продвижения света от роговицы к сетчатке природа построила многоуровневую защиту глаза от негативного влияния поддиапазонов солнечного спектра (ультрафиолетовый свет, синяя опасность).

Элементы такой защиты размещены в соответствующих областях глаза (рис. 1.64).

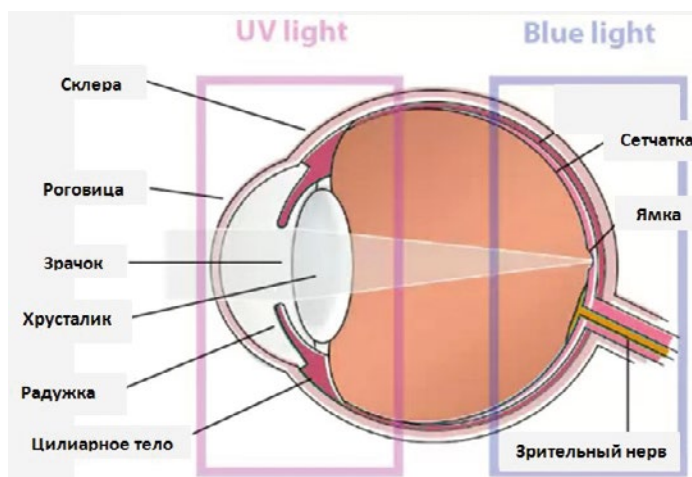


Рис. 1.64. Области размещения защиты глаза: УФ-защита размещена во фронтальной части глаза; защита от синего света размещена в сетчатке глаза

Электромагнитный спектр ультрафиолетового излучения может быть по-разному разделен на подгруппы. Стандарт ISO по определению солнечного излучения (ISO-DIS-21348) дает следующие определения:

Наименование	Длина волны, нм	Частота, ПГц	Количество энергии на фотон, эВ	Аббревиатура
Ближний	400—300	0,75—1	3,10—4,13	NUV
Ультрафиолет А, длинноволновой диапазон	400—315	0,75—0,952	3,10—3,94	UVA
Средний	300—200	1—1,5	4,13—6,20	MUV
Ультрафиолет В, средневолновой	315—280	0,952—1,07	3,94—4,43	UVB
Дальний	200—122	1,5—2,46	6,20—10,2	FUV
Ультрафиолет С, коротковолновой	280—100	1,07—3	4,43—12,4	UVC
Экстремальный	121—10	2,48—30	10,2—124	EUV, XUV

Основной источник ультрафиолетового излучения на Земле – Солнце. Соотношение интенсивности излучения УФ-А и УФ-Б, общее количество ультрафиолетовых лучей, достигающих поверхности Земли, зависит от следующих факторов:

- от концентрации атмосферного озона над земной поверхностью;
- от высоты Солнца над горизонтом;
- от высоты над уровнем моря;
- от атмосферного рассеивания;
- от состояния облачного покрова;
- от степени отражения УФ-лучей от поверхности (воды, почвы).

Большая часть УФ-излучения в глазе поглощается слезной пленкой, роговицей и хрусталиком. Хрусталик и ткани передней части глаза могут, однако, подвергаться воздействию УФ на длинах волн выше 295 нм, и на сетчатку может воздействовать доля UVA. Доли поглощенного УФ в глазных средах (в роговице, водной среде, хрусталике и стекловидном теле человеческого глаза) приведены на рис. 1.65.

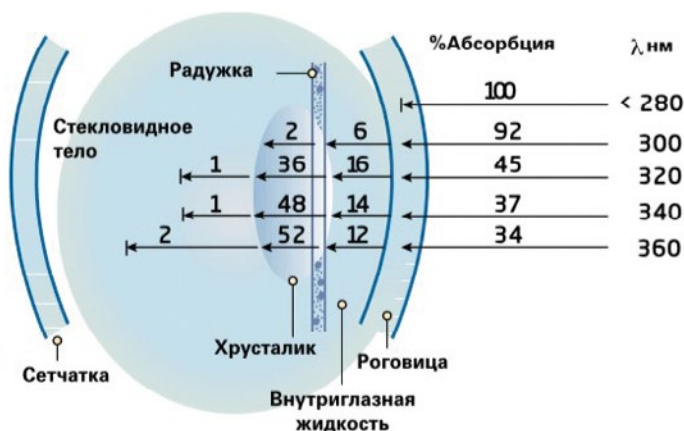


Рис. 1.65. Блокирование УФ-излучения внутренними структурами и тканями глаза [1.131]

Механизмы образования витамина D и негативного воздействия УФ на биологическую ткань глаза и ДНК раскрыты ранее в работе [1.62].

Фронтальная часть глаза поглощает почти весь поток УФ, пропуская единицы процентов излучения. Далее в структуры глаза поступает свет в диапазоне 380–700 нм, из которого наибольшую опасность представляет синий свет.

При определенных условиях воздействию синего света в первую очередь подвергаются следующие мишени на уровне функциональных систем, которые помечены синими стрелками на рис. 1.66.

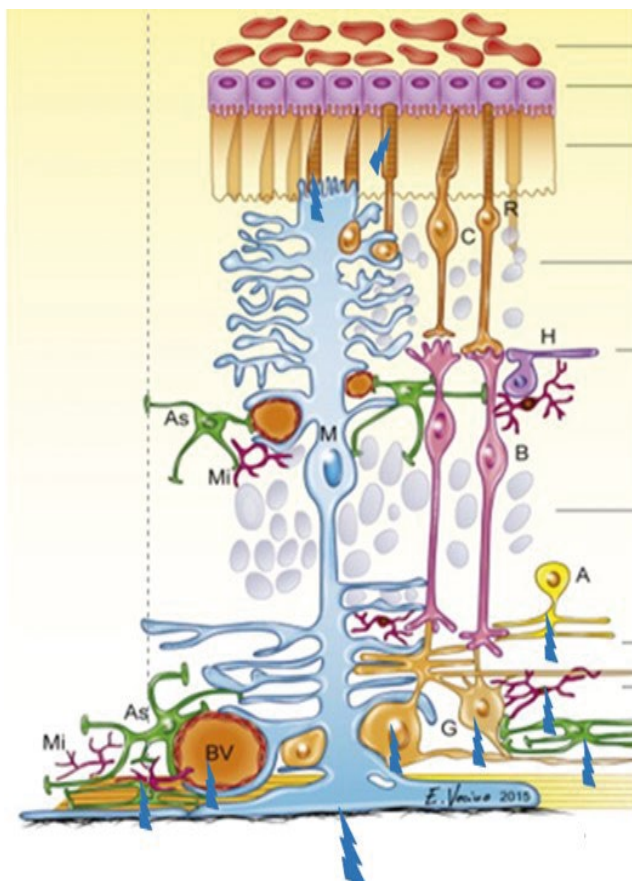


Рис. 1.66. Общая картина расположения мишеней воздействия синего света на уровне структуры функциональных систем

В первую очередь воздействию подвергаются клетки системы глии (клетки Мюллера (M), астроциты (As), микроглия (Mi), ганглиозные (G) и амакриновые клетки (A)). По классификации П. П. Зака (ФГБУН «Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля» РАН), мишени синего света размещены на уровне функциональных систем следующим образом (рис. 1.67).

Приведенные выше модели воздействия синего света дают общую картину поражения функциональных структур глаза. Механизмы воздействия синего света на мишени будут рассмотрены в соответствующих разделах.

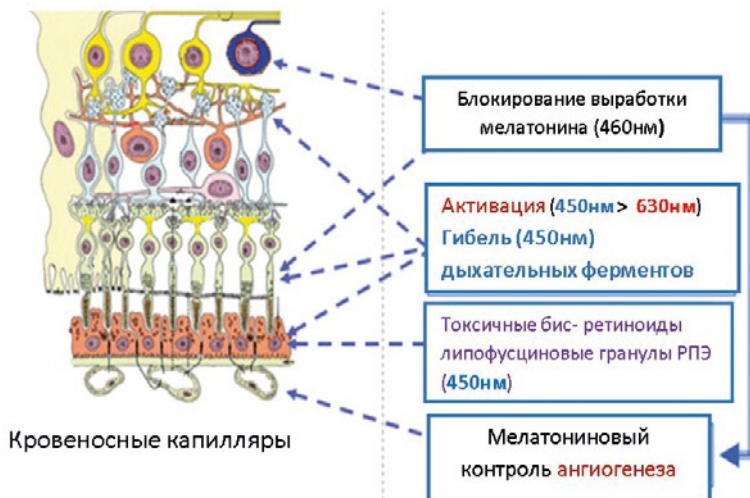


Рис. 1.67. Мишени фотобиологического действия синего света на сетчатку [1.27]

Метод биомеханического управления и очистки роговицы

Общая схема прохождения света через область УФ-защиты приведена на рис. 1.68, на котором показаны общие функциональные слои, через которые проходит свет.

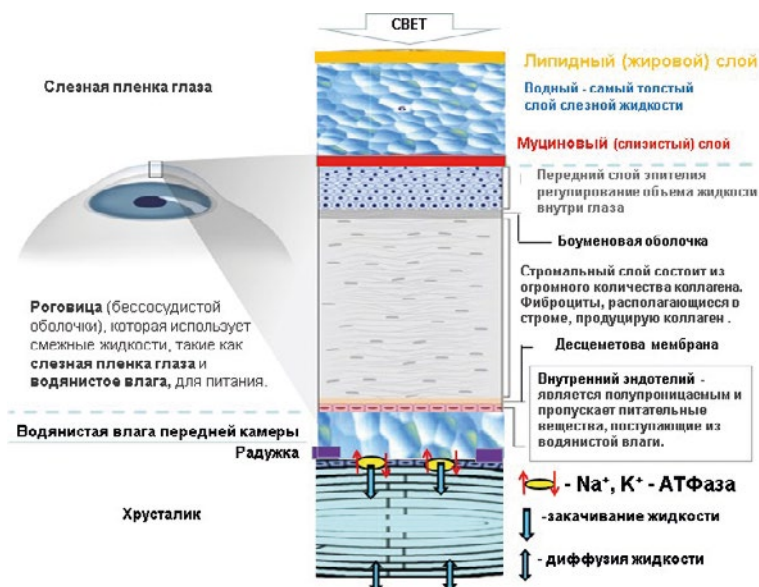


Рис. 1.68. Общая схема водообмена в системе «слезная пленка – роговица – хрусталик – стекловидная пленка» в условиях воздействия света

Поверхность роговицы и конъюнктивы покрывает слезная пленка толщиной около 10 мкм. Она состоит из трех слоев, каждый из которых имеет свой особенный состав и выполняет определенные функции:

- муциновый (слизистый) слой – самая тонкая составляющая слезной пленки, производимая клетками конъюнктивы. Он непосредственно контактирует с роговицей, сглаживает ее поверхность, *обеспечивая четкость зрения*;

- водный – самый толстый слой слезной жидкости. Он на 98% состоит из воды, а также имеет в своем составе растворенные соли, белки. Его задачей является питание и обогащение роговицы кислородом, защита от инфекций и удаление инородных веществ с поверхности глаза. Водный слой производится слезными железами, расположенными в толще века;

- липидный (жировой) слой – наружная часть слезной пленки. Обеспечивает плавное скольжение век по главному яблоку и предотвращает испарение слезы с его поверхности. Липидные вещества продуцируют мейбомиевые железы. Предполагается, что их работа контролируется определенными гормонами (половыми гормонами, уровнем тестостерона).

Таблица 1.2

Функции слезной жидкости

Функции	Липидный слой	Водянистый слой	Муциновый слой
Защитная	Препятствует (за счет гидрофобности) проникновению в роговичный эпителий аэрозольей, в т. ч. возбудителей аэрозольных инфекций. Термонизолирует эпителий роговицы и конъюнктивы	Механически удаляет (смывает) инородные тела с поверхности роговичного эпителия. Оказывает антибактериальное и противовирусное действие за счет собственных факторов неспецифической резистентности и иммунологической толерантности. Восстанавливает за счет содержащихся буферных систем pH слезной жидкости при попадании в конъюнктивальную полость слабых кислот и/или оснований	
Метаболическая		Транспортирует кислород, питательные вещества и одновременно удаляет шлаковые метаболиты, отмершие эпителиальные клетки. Способствует регенерации эпителия роговицы. Обеспечивает гидратацию эпителиальных клеток	Обеспечивает доставку питательных веществ от водянистого слоя СП к роговичному эпителию, а также удаление шлаковых метаболитов. Способствует регенерации эпителия роговицы. Обеспечивает гидратацию эпителиальных клеток
Светопреломляющая	Выравнивает наружную поверхность СП	Составляет основу (95%) естественной «контактной линзы» в виде прероговичной слезной пленки	Сглаживает неровности (микроскладки и микроворсинки) наружной мембраны роговичного эпителия. Удерживает СП на поверхностной мембране эпителия роговицы и конъюнктивы

Дело в том, что при всматривании в монитор компьютера, экран планшета, телефона или телевизора в 3 раза сокращается количество мигательных

движений глаза. Редкое моргание приводит к высыханию слезной пленки и появлению сухости роговицы. Список литературы по синдрому сухого глаза приведен в работе [1.132]).

Чтобы понять, что означает термин «синдром сухого глаза», нужно разобраться в составе слезы и выполняемых ею функциях [1.133]. В настоящее время принята модель разрыва слезной пленки (рис. 1.69).

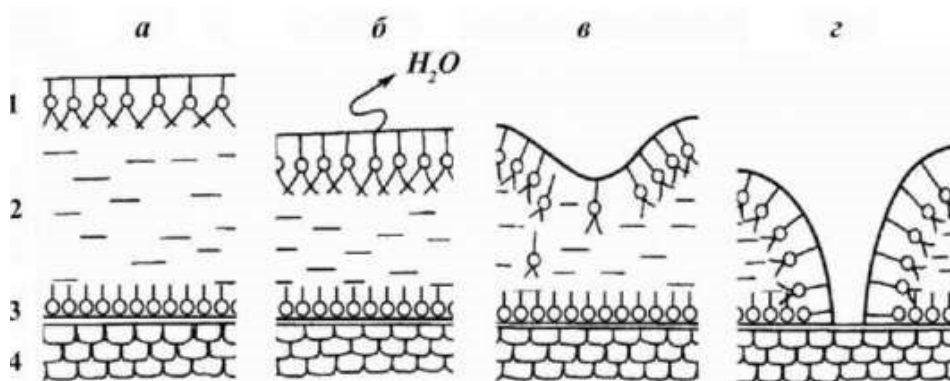


Рис. 1.69. Образование разрыва в прероговичной слезной пленке (по Ф. Холли, с изменениями):

а – стабильная слезная пленка; б – утоньшение слезной пленки вследствие испарения воды; в – локальное утоньшение слезной пленки в результате диффузии полярных молекул липидов; г – разрыв слезной пленки с образованием на эпителиальной поверхности роговицы сухого пятна;

- 1 – полярные молекулы липидного слоя слезной пленки;
- 2 – водянистый слой слезной пленки;
- 3 – полярные молекулы муцинового слоя слезной пленки;
- 4 – клетки переднего эпителия роговицы
- в) муциновый слой; г) роговица

«Сухой глаз» – возрастная макулодегенерация сетчатки. Этиопатогенез, диагностика, лечение синдрома «сухого глаза» (ССГ) это комплекс признаков поражения роговичного и конъюнктивального эпителия, вследствие снижения качества и/или количества слезной жидкости [1.134].

При «сухом глазе» важное диагностическое значение имеет проба по Норну, которая показывает время разрыва слезной пленки (Norn M. S., 1969). Она выполняется после инстилляций в конъюнктивальную полость 0,1 %-го раствора флюоресцеина или тест-полоски Fluorets на щелевой лампе с кобальтовым фильтром. Пациента просят поморгать и широко открыть глаза, после чего засекают время на секундомере до момента появления первого участка разрыва окрашенной флюоресцеином слезной пленки, проявляющегося в виде «черной дыры» [1.134].

Стабильное соединение, образованное между мембраносвязующими и растворимыми муцинами, создает гибкий, защитный слой, покрывающий поверхность глаза. Этот слой образует физический барьер для инородных объектов, например бактерий, на клеточном уровне.

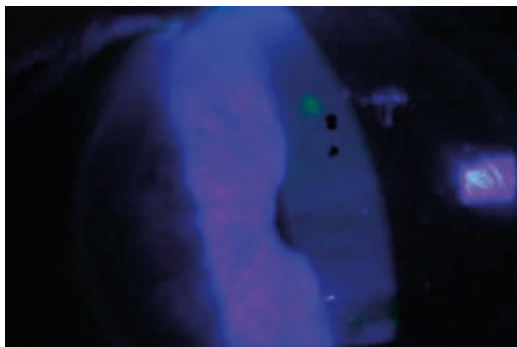


Рис. 1.70. Участок разрыва окрашенной флюоресцеином слезной пленки, проявляющегося в виде «черной дыры»

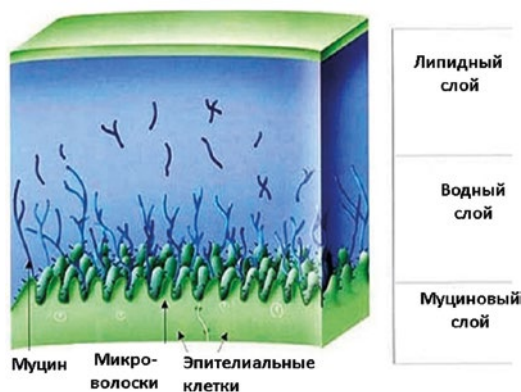


Рис. 1.71. Слезная пленка роговицы [1.135]

Высокое содержание сахара в этой клеточной структуре обеспечивает второе свойство – гидрофильность, что позволяет поддерживать высокое содержание воды и передает питательные вещества, соли, газы и кислород. Это особенно важно для роговицы (бессосудистой оболочки), которая использует смежные жидкости, такие как **слезная пленка глаза** и водянистая влага, для питания.

Кроме этого, некоторые данные свидетельствуют о том, что муцин является частью нескольких внутриклеточных сигнальных путей:

- сообщает о повреждении тканей, вызывая сигнальный каскад, который может привести к пролиферации (размножению) эпителиальных клеток.
- служит в качестве датчиков слезоточивости при изменении в слезной осмолярности.

Также муцины принимают участие в диагностике, позволяя определить состояние поверхности глаза человека:

- белые и липкие муцины сопровождаются бактериальной инфекцией;
- сильноволокнистые муцины часто встречаются при сухости глаз;
- плотный и эластичный муцин наблюдается при весеннем кератоконъюнктивите.

На рис. 1.72 приведены железы, продуцирующие слезную жидкость.

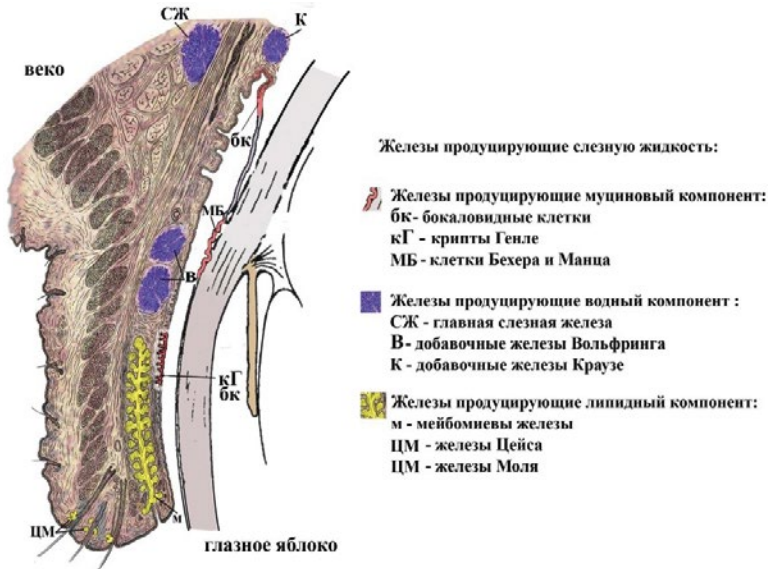


Рис. 1.72. Железы, продуцирующие слезную жидкость [1.134]

Роль аквапоринов в роговице глаза

Передний слой эпителия регулирует с помощью аквапоринов количество воды в передней области глаза. На рис. 1.73 приведена общая схема размещения аквапоринов в передней части глаза.



Рис. 1.73. Размещение аквапоринов на роговице (1.124)

В переднем слое роговице находятся аквапорины AQP5, а в заднем слое – AQP1.

AQP5 находятся в плазматических мембранах стратифицированного плоского эпителия роговицы. Этот эпителий уникален, поскольку он обеспечивает влажную апикальную поверхность, которая является **основной преломляющей поверхностью глаза**. Его расположение на поверхности просвечивающей роговицы дополнительно требует, чтобы эпителий был прозрачным. Современное знание транспортных возможностей эпителия роговицы очень ограничено, и этот эпителий считается барьером для водного транспорта. Можно предположить, что потенциальная роль AQP5 и, возможно, AQP3 в эпителии, действуя согласованно с AQP1 в роговичных кератоцитах и AQP1 в эндотелии роговицы, может гарантировать, что вода может быстро транспортироваться, предотвращая образование градиентов в пределах подкомпонентов роговицы, которые **могут вызвать набухание (изменение оптических свойств) и уменьшить прозрачность**. Другие потенциальные роли AQP5 в эпителии роговицы могут включать:

1) механизм быстрого регулирования объема клеток для предотвращения набухания клеток;

2) внешний порт, который может увеличить гидратацию поверхности роговицы, позволяя воде заменять испарение с поверхности глаза;

3) импортер, позволяющий воде проникать снаружи. Аналогичные роли AQP1 можно предположить в кератоцитах [1.124].

Эндотелий роговицы, задний эпителий роговицы – монослой специализированных плоских клеток, выстилающих заднюю поверхность роговицы и входящих в соприкосновение с содержимым передней камеры глаза. Гексагональные (шестигранные) клетки эндотелия содержат повышенное количество митохондрий и осуществляют транспорт жидкости и растворенных веществ, поддерживая роговицу в слабо дегидрированном состоянии, необходимом для ее прозрачности. Площадь клеток примерно одинакова; при значительном разбросе их размеров говорят о наличии *полимегетизма* [1.136].

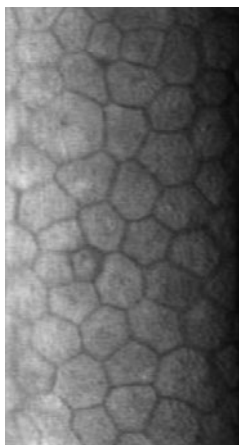
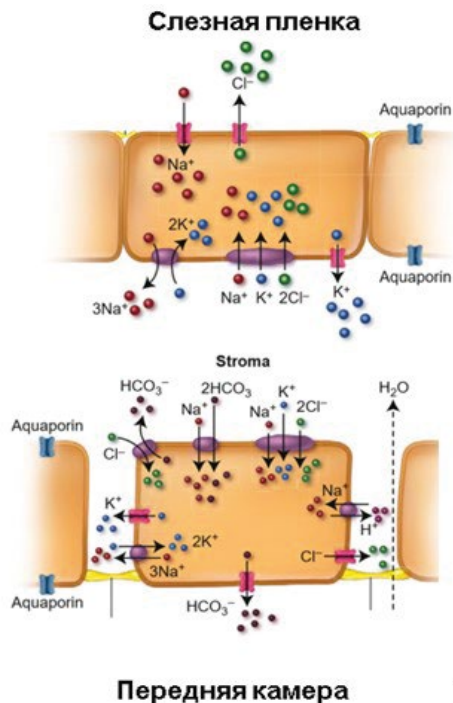


Рис. 1.74 Изображение гексагональных клеток эндотелия роговицы, полученное с помощью отраженного микроскопа



Диаграмма, изображающая движение ионов и воды через эпителиальные клетки роговицы. Хотя эпителий роговицы представляет собой несколько клеточных слоев, они представлены как один слой из-за щелевых соединений, соединяющих эти клетки, они действуют как синцитий.

Схема, иллюстрирующая движение ионов и воды через эндотелиальные клетки роговицы.

Рис. 1.75. Общая схема движения ионов и воды в структуре роговицы [1.137]

Обильная экспрессия аквапоринов в роговице и эпителии хрусталика указывает на важную роль аквапоринов в поддержании постоянной гидратации без набухания рефракционных оптических элементов глаза [1.139].

Слезная пленка формируется на роговице при моргании, механизм которого приведен на рис. 1.76 с указанием этапов и толщины (желтая линия).

Конъюнктивa

Конъюнктивa уязвима для УФ-излучения, которое активирует комплексную цепь окислительных реакций, обуславливая различные причины гибели клеток. Плоскоклеточная карцинома конъюнктивы часто начинается в области лимба. Исследование показало, что меланома тканей глаза, например сосудистой оболочки (хориоидеи), в 8–10 раз чаще встречается у европеоидов, чем среди представителей негроидной расы. УФ-излучение считается фактором риска для упомянутых заболеваний. Существуют веские эпидемиологические доказательства наличия связи между хроническим воздействием УФ-излучения и развитием птеригиума. Это крыловидная пленка – утолщение конъюнктивы, напозающее на роговицу, особенно часто можно наблюдать у людей, живущих в климатических условиях с большим количеством солнечных дней или много работающих на открытом воздухе. Частота развития птеригиума именно в назальном отделе конъюнктивы объясняется эффектом периферического фокусированного света в центральной зоне переднего отдела глаза, в зоне роста стволовых клеток лимба.

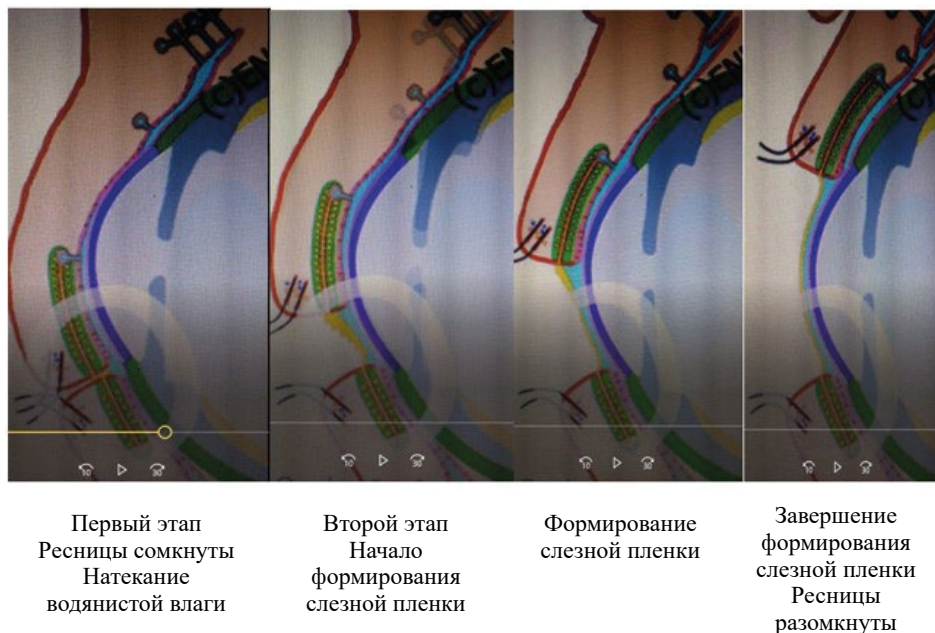


Рис. 1.76. Этапы формирования слезной пленки

Роговица

В случаях избыточного воздействия спектр УФ-В-лучей вызывает повреждения защитного антиоксидантного механизма, приводя к повреждению роговицы и других структур глаза. Значительная доля УФ-В лучей блокируется стромой роговицы, но в случае утончения стромы, как при кератоконусе или после рефракционных хирургических операций, на хрусталик больше воздействуют УФ-В лучи. Вопрос, увеличивает ли послеоперационное истончение стромы риск развития катаракты, пока остается открытым. Многие заболевания, связанные с УФ-излучением, являются хроническими, их развитие продолжается годами; в отличие от них, фотокератит (снежная слепота) служит примером острой реакции на ультрафиолетовое излучение. Эта излечимая патология характеризуется острой болью, слезотечением, блефароспазмом и светобоязнью. Эпителий роговицы и мембрана Боумана задерживает в два раза больше УФ-В-лучей, чем более глубокие слои роговицы. При фотокератите возникает раздражение поверхностного эпителия. Одного часа воздействия ультрафиолета, отраженного от снега, или 6–9 часов воздействия УФ-излучения, отраженного от песка в середине дня, достаточно, чтобы вызвать пороговый фотокератит. При меньшей длительности воздействия все равно могут отмечаться легкие симптомы дискомфорта глаз. Климатическая каплевая кератопатия, или сфероидальная дегенерация, – это стойкое патологическое изменение, характеризующееся скоплением очагов в форме капли в поверхностных слоях стромы роговицы. Хроническое воздействие УФ-излучения считается одним из основных факторов развития этой патологии.

Система глазной поверхности (СГП).

Одной из основных функций СГП является сохранение водноэлектролитного, а соответственно, и кислотно-основного баланса глазной поверхности и конъюнктивальной полости, в том числе и опосредовано – через поддержание физиологического и биохимического гомеостаза слезы. Так, биохимические параметры слезы, включая неорганические, такие как рН и минеральный состав, обеспечивает слаженная работа всех структур СГП.

Раздел 1.8. Бионеорганическая химия соединительной ткани и роговицы [1.140]

1.8.1. Роль металлов в метаболизме соединительной ткани

Отдельные минеральные элементы, определяющие качественные характеристики соединительнотканых структур, принимают непосредственное участие в модуляции активности ферментов, определяющих скорость синтеза и распада коллагеновых и эластиновых волокон. Прежде всего, к таким элементам относят магний, кальций, медь, цинк, марганец и бор [1.141].

Ионы металлов играют эссенциальную роль в нормальной физиологии соединительной ткани. В правильной организации коллагеновых волокон и основного вещества участвуют ферменты ката- и анаболизма, активность которых зависит от специфичных металлов. Их наличие, концентрация и биологическая доступность играют ключевую роль в активировании или ингибировании энзимов и определяют скорость ферментативных реакций [1.142]. Анаболизм коллагена ферментируют такие энзимы, как гидроксисилазы, лизилоксидаза и гликозилтрансферазы. Гидроксисилазы пролина и лизина, участвующие в посттрансляционных модификациях коллагена, содержат в активном центре атом железа. Медьсодержащая лизилоксидаза формирует поперечные связи коллагеновых фибрилл. Гликозилтрансферазы, кофактором которых является марганец, участвуют в гликозилировании гидроксизина молекул коллагена [1.142]. В реакциях катаболизма коллагена участвуют некоторые металлозависимые энзимы – коллагеназы и металлопротеиназы. Тканевая коллагеназа – металлозависимый фермент, который содержит цинк в активном центре. Матриксные металлопротеиназы – семейство внеклеточных цинк-зависимых эндопептидаз – способны разрушать все типы белков внеклеточного матрикса, в том числе и коллаген. Основные металлозависимые ферменты и их роль в патологических процессах, происходящих в соединительнотканых структурах, представлены в сводной табл. 1.3 [1.143, 1.142].

Модулирование биомеханических свойств и транспорта веществ в соединительной ткани осуществляется не только за счет коллагеновых волокон, но и посредством основного аморфного вещества – в значительной степени за счет изменения физико-химических свойств гликозаминогликанов. Под действием гиалуронидаз, активность которых ингибирует медь и железо, снижается вязкость гликозаминогликанов межклеточного матрикса.

Как известно, роговица, имеющая высокую проницаемость для кислорода, получает его непосредственно из окружающей атмосферы. Поскольку

в тканях роговицы присутствует в значительных концентрациях свободный кислород, все ее структурные компоненты (клетки, волокна и основное аморфное вещество) подвержены его воздействию, что предполагает наличие мощных факторов антиоксидантной защиты в роговице [1.138]. Супероксиддисмутазы (СОД) – группа антиоксидантных ферментов, которые, предотвращая развитие оксидативного стресса в тканях, защищают их от токсического действия активных форм кислорода. В организме человека кофакторами СОД выступают медь и цинк или марганец. СОД1 содержится в цитоплазме, СОД2 – в митохондриях, и СОД3 – в межклеточном веществе. В СОД1 и СОД3 ионы меди расположены в активном центре, а ионы цинка являются структурными компонентами фермента; СОД2 содержит в активном центре марганец [1.144].

Таблица 1.3

Роль металловзависимых ферментов в метаболизме соединительной ткани [1.138]

Металл	Влияние металла на ферментативную активность	Функции металловзависимых ферментов	Последствия ферментативной недостаточности
Железо	Кофактор гидроксилаз пролина и лизина	Посттрансляционные модификации препропептидов коллагена	Снижение или нарушение синтеза коллагена
Медь	Кофактор лизилоксидазы	Образование «поперечных» ковалентных связей между молекулами тропоколлагена	Снижение или нарушение синтеза коллагена
Цинк	Кофактор тканевой коллагеназы, матриксных металлопротеиназ	Лизис белков	Нарушение процессов распада коллагена, приводящее к фиброзным изменениям тканей
Железо, медь	Ингибиторы гиалуронидазы	Снижение вязкости гликозаминогликанов основного вещества в межклеточном матриксе	Повышение вязкости гликозаминогликанов, приводящее к нарушению биомеханики и транспорта в основном веществе
Медь, цинк, марганец	Кофакторы супероксиддисмутаз	Дисмутация супероксида O_2^- в кислород O_2 и пероксид водорода H_2O_2	Нарушение антиоксидантной защиты, приводящее к оксидативному стрессу в тканях

Отдельно следует подчеркнуть роль металлов в метаболизме соединительнотканых структур глаза. При миопии выявлены нарушения минерального обмена и биомеханических свойств склеры. Нарушение обмена металлов в этом случае проявляется изменением и состава, и распределения минеральных элементов в заднем отделе глазного яблока: отмечено уменьшение содержания металлов, отсутствие алюминия, бора и хрома, а также снижение уровней цинка, меди и железа [1.143]. Элементный анализ конъюнктивы при птеригиуме показал значительное уменьшение концентраций хрома, марганца, цинка и селена [1.145, 1.146].

**Роль металлов в метаболизме роговицы и пигментации роговицы
рассмотрена в работах [1.138, 1.147]**

Хотя большинство компонентов различаются между двумя жидкостями организма, утечка плазмы позволяет проводить исследования слезной жидкости вместо крови. Предыдущие исследования показали, что такие компоненты, как глюкоза, ионы Na^+ , K^+ и Cl^- , могут быть обнаружены как в крови, так и в слезной жидкости (таблица 1.4). Тем не менее слезная жидкость, как доказано, является менее сложной жидкостью организма по сравнению с сывороткой или плазмой из-за барьера крови-слезы [1.148, 1.149].

Таблица 1.4

Состав и концентрация слезной жидкости

Состав		Концентрация
Na^+		120–165 mM
K^+		15–42 mM
Cl^-		118–135 mM
Mg^{2+}		0.5–1.1 mM
Ca^{2+}		0.4–1.1 mM
HCO_3^-		20–42 mM
Urea	Мочевина	6 mM
Ascorbate	Аскорбат	11–23 μM
Lactate	Лактат	1–5 mM
Glucose ^{*,**}	Глюкоза	0.1–0.6 mM
Total Protein	Белок	5–11 mg/mL

Антиоксидант – аскорбиновая кислота (витамин С) – в высокой концентрации содержится во внутриглазной жидкости. Аскорбиновая кислота удаляет свободные радикалы из отделов глаза и защищает ДНК хрусталика от повреждений, вызываемых УФ-излучением. Аскорбиновая кислота служит своего рода фильтром как для УФ-А-, так и для УФ-В-лучей; высказывались предположения, что она играет роль защитного механизма в патогенезе катаракты. У пациентов с катарактой всегда имеется пониженная концентрация аскорбиновой кислоты во влаге передней камеры глаза; после УФ-воздействия также отмечается резкое снижение содержания аскорбиновой кислоты во внутриглазной жидкости.

В работе [1.152] представлена общая схема взаимодействия потока водянистой влаги и аквапоринов (рис. 1.77).

Из приведенной схемы видно, что часть водянистой влаги диффундирует через аквапорины, а вторая часть – по канальцам, но при отеке клеток канальцы могут перекрываться.

Радужка (ирис) – ограничитель избыточной энергии света.

Радужная оболочка (ирис), главной функцией которой является защита хрусталика, увеличение количества входящего в глаз света в темноте и уменьшение его количества на свету.

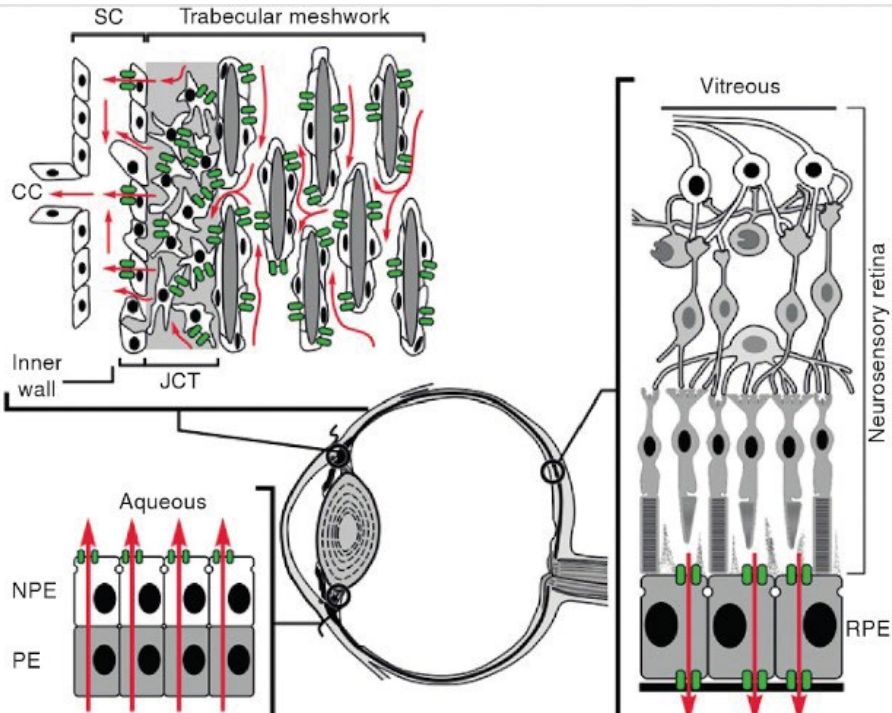


Рис. 1.77. Распределение aquaporin channels в тканях глаза, участвующих в динамике водянистой влаги. Показано схематическое изображение человеческого глаза и трех тканей глаза в поперечном сечении: обычный путь оттока (вверху слева), ресничный эпителиальный слой (внизу слева) и пигментный эпителий сетчатки (справа). Зеленым цветом обозначены пути активации каналов аквапоринов, которые участвуют в динамике водянистой влаги в этих трех тканях. Красные стрелки указывают направление потока через эти ткани глаза. SC – Канал Шлемма; JCT – юкстаканальная ткань; CC – коллекторный канал; NPE – непигментированный эпителий; PE – пигментированный эпителий; RPE – пигментный эпителий сетчатки

Количество света, входящего в глаз через зрачок, пропорционально площади поверхности зрачка или квадрату его диаметра. Диаметр зрачка человеческого глаза может изменяться примерно от 1,5 мм до 8 мм в молодом возрасте и от 5 до 7 мм в пожилом. За счет изменения отверстия зрачка количество входящего в глаз света может изменяться примерно в 30 раз.

Основная функция радужки и оптической системы глаза – формирование на сетчатке изображений объектов внешнего мира. Изображения характеризуются не только величиной, но и освещенностью. Необходимость расчета освещенности изображения на сетчатке глаза возникает при проведении светотехнических расчетов ряда офтальмологических оптических приборов [1.153].

$$E = 12LD_p^2 \cdot 10^4 \text{ (лк)}$$

По нормам освещения для чтения и письма яркость освещения искусственным светом листа белой бумаги должна быть не менее 10 кд/м². При-

ный диаметр зрачка глаза равным **2,5 мм**, получим величину освещенности на сетчатке при нормальной работе $E_{\text{норм}} \sim 0,1$ лк. Яркое дневное небо, яркость которого колеблется в пределах ($5 \cdot 10^3 - 1,5 \cdot 10^4$) кд/м², создает на сетчатке освещенность 40–120 лк.

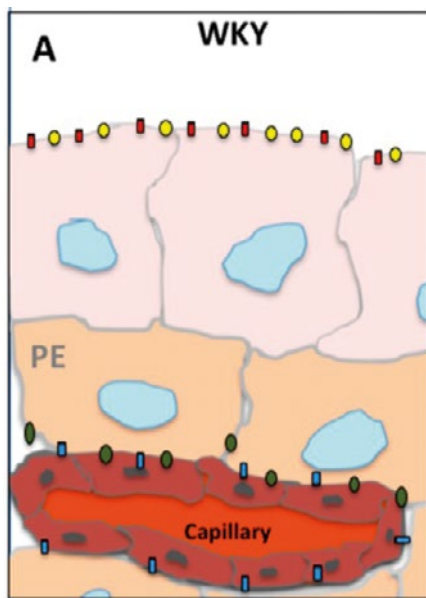
При взгляде на Солнце (его яркость около $12 - 10^8$ кд/м²) освещенность на сетчатке составляет примерно $12 - 10^6$ лк. Такая освещенность даже при очень кратковременном действии приводит к необратимым изменениям в тканях (фотокоагуляции).

В работе [1.154] рассмотрено многообразие моделей диаметра зрачка глаза человека в зависимости от уровня освещенности, возраста с учетом работы мышечного аппарата (мышца Брюкке, мышца Иванова, мышца Мюллера, мышца Калазанса) по управлению радужной оболочкой глаза, но при этом не рассмотрен вопрос о роли аквапоринов в этом процессе. Наличие избыточной влаги в радужной оболочке будет влиять на ее отек и, как следствие, на размер диаметра зрачка и динамику процессов закрытия и открытия зрачка.

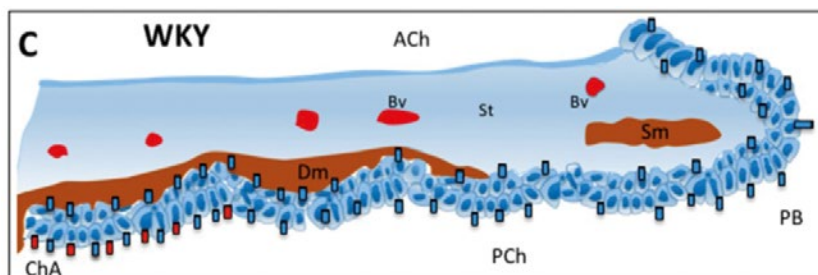
Известно, что экспрессия AQP1 в переднем ресничном эпителии и каналах Шлемма указывает на роль в секреции и поглощении водной влаги [1.155], а нарушение этих процессов из-за неэффективной работы аквапоринов создает предпосылки к возникновению различных болезней [1.156].

AQP1 также присутствует в радужной оболочке, где высокая водопроницаемость способствует быстрым изменениям формы, которые происходят со зрачковым сужением [1.157].

На рис. 1.78 приведена общая схема распределения AQP1, AQP4 и Na⁺/K⁺ АТФазы цилиарного тела (А) и радужной оболочки (С).



А) цилиарное тело



С) радужная оболочка

Рис. 1.78. Схематический рисунок цилиарного тела (А) и радужной оболочки (С), показывающий распределение AQP1, AQP4 и Na⁺/K⁺ АТФазы [1.157].

ACh: передняя камера; Bv: кровеносный сосуд; ChA: угол камеры; Dm: растягивающая мышца; PCh: задняя камера; PE: пигментный эпителий; PD: зрачковая граница; Sm: сфинктерная мышца; St: строма



В радужке основная часть аквапоринов находится на стороне задней камеры водянистой влаги, но часть аквапоринов AQP1 находится в области зрачка и подвержена воздействию света.

1.8.2. Методы фильтрации и ограничения энергетики светового сигнала

Солнечный спектр света намного шире, чем нужно для нормального функционирования сетчатки глаза человека. В настоящее время хорошо изучены механизмы защиты глаза от воздействия ультрафиолета и синего света так называемой «синей опасности». От интегральной энергетической мощности (мощности в диапазоне длин волн) и спектрального состава света зависят риски поражения зрительного анализатора. Этот постулат лежит в основе принципов фотобиологической безопасности, отраженных в современных нормативных документах.

Методология оценки рисков оптических источников была разработана в медицинском центре ВВС и ВМФ США Dr. Sliney. Его научные интересы были сосредоточены на предметах, связанных с УФ-воздействием на глаза, взаимодействием тканей с лазером, опасностями при применении лазеров в медицине и хирургии.

Исходя из практической необходимости для ограничения избыточной дозы синего света и преобразования спектра света в солнечный день до уровня комфортности человека, применяются различные светозащитные очки, фильтры и ограничение времени пребывания на свету. Эти гигиенические меры помогают функциональной защите глаза. Естественная защита

сетчатки сформировалась в ходе эволюции структур глаза, которая имеет общую оптическую прозрачность для каждого диапазона в спектре света. Ниже приведены доли проникновения/поглощения излучения солнечного света в структурах глаза человека для различных возрастных групп [1.158] (рис. 1.79–1.81).

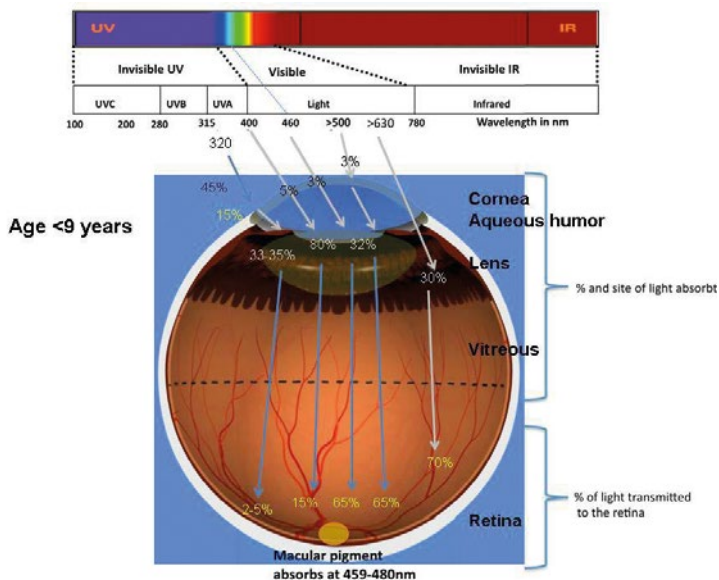


Рис. 1.79. Специфика оптического взаимодействия излучения с глазами детей до 9 лет (взято из Sliney 2002)

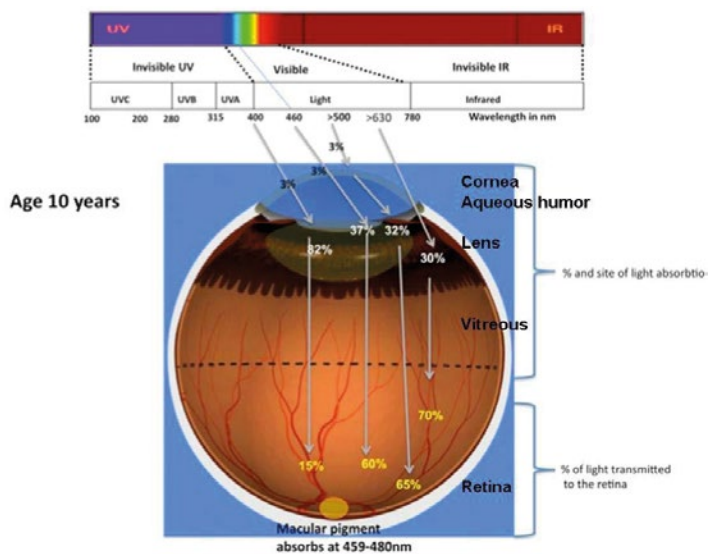


Рис. 1.80. Оптическое взаимодействие излучения с молодым человеческим глазом (10 лет) (взято из Sliney 2002)

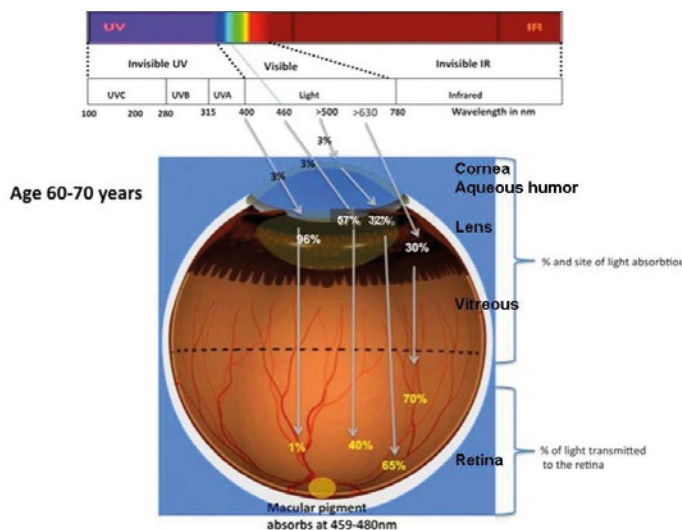


Рис. 1.81. Оптическое взаимодействие излучения с глазом пожилого человека (взято из Sliney 2002)

1.8.3. Хрусталик как защитный фильтр от «синего» света

Хрусталик глаза человека является великолепным фильтром, созданным природой. Он поглощает УФ-излучение в диапазоне от 300 нм до 400 нм. Плотный, эластичный и абсолютно прозрачный хрусталик глаза – настоящее чудо природы.

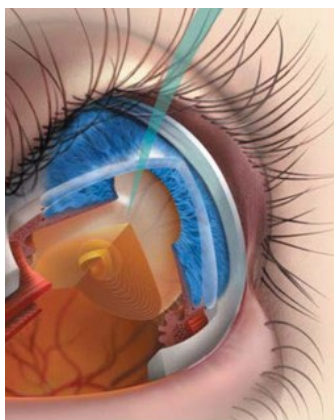


Рис. 1.82. Внешний вид хрусталика глаза человека

Хрусталик состоит из клеток только одного типа, они расположены в строго определенном порядке и имеют *клинообразную структуру*. В молодых клетках хрусталика, возникающих у плода из стволовых клеток, присутствуют органеллы, но на ранних стадиях развития организма они разрушаются. Остается лишь цитоплазма, состоящая из необычайно густого раствора особых белков – *кристаллинов*. Хрусталик неспроста называют

иногда биологическим кристаллом: его клетки имеют высокоупорядоченное расположение. Каждая из них содержит крупные молекулы кристаллинов, образующих комплексы с окружающими их компонентами цитоплазмы. Такая структура делает цитоплазму оптически гомогенной средой. Коэффициент преломления в хрусталике везде одинаков. Это обеспечивает высокие оптические свойства хрусталика для фокусирования изображения на сетчатке. Одним из основных защитных веществ хрусталика являются хромофоры – вещества эндогенного и экзогенного происхождения, способные поглощать энергию солнечного излучения. *Каждый хромофор поглощает энергию лишь определенного диапазона; этот диапазон называют спектром поглощения.* После взаимодействия фотона с хромофором молекула хромофора переходит в возбужденное состояние и передает энергию молекулам кислорода, других веществ или излучают свет в более длинноволновом диапазоне. Изменение хромофоров в хрусталике человека происходит на протяжении всей жизни.

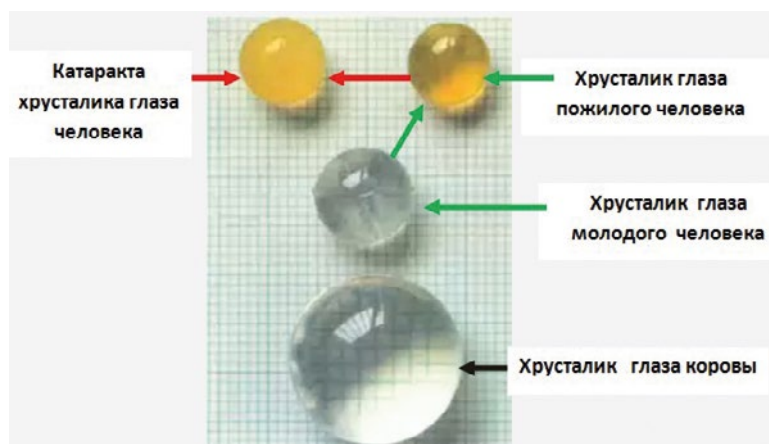
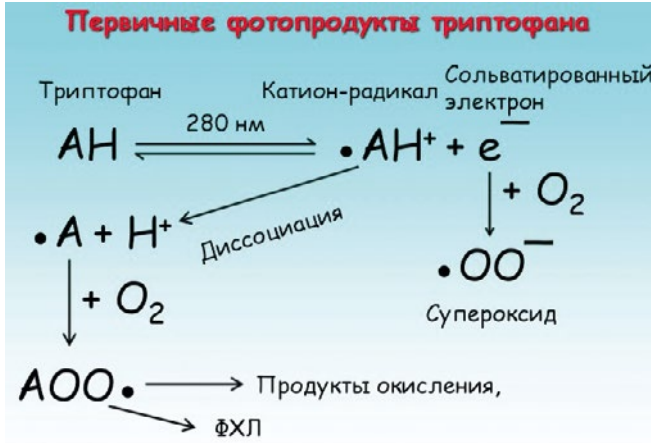


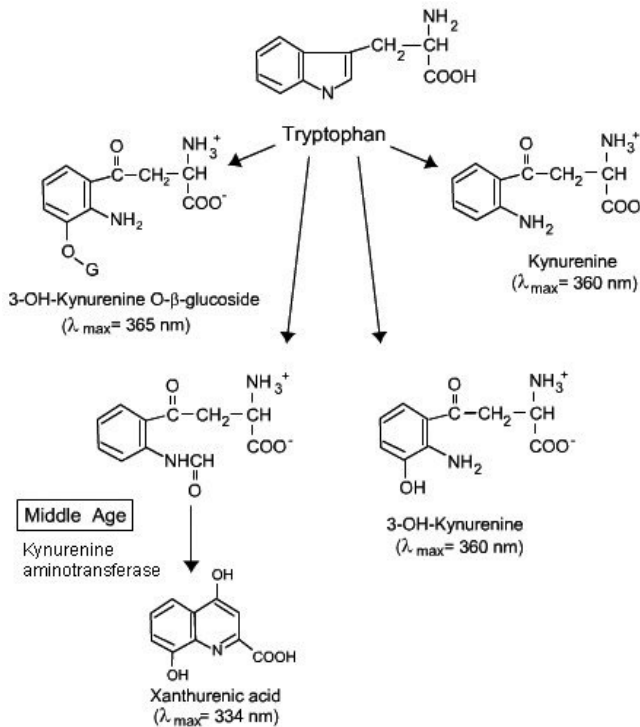
Рис. 1.83. Возрастные изменения в хрусталике человека и коровы

Возможно небольшое повреждение человеческого глаза от света при достижении среднего возраста, потому что хрусталик взрослого человека содержит желтые хромофоры (3-hydroxy kuurenines), которые поглощают свет, но освобождаются от энергии, прежде чем она нанесет повреждение. Таким образом, кинуренины хромофора, присутствующие в хрусталике взрослого человека, не только безопасны, но служат для защиты сетчатки с помощью фильтрации ультрафиолетового излучения, тем самым предотвращая её повреждения. После достижения среднего возраста фермент (кинуренин аминокислоты трансферазы), производится в возрастающих количествах, преобразуя защитные хромофоры (3-ОН кинуренин и его глюкозиды) в деструктивные хромофоры – ксантуреновую кислоту и ксантуреновый глюкозид. Когда эти ксантуреновые соединения поглощают свет, они производят активные формы кислорода (синглетный кислород и/или супероксид, которые повреждают белки хрусталика. Другой хромофор, N-формил кинуренин, образованный при непрерывном фотоокислении *эндоген-*

ного триптофана, также производит синглетный кислород и супероксид, повреждающие белки хрусталика. Таким образом, ксантуреновая кислота и N-формил кинуренин являются вероятной причиной повреждения хромофоров, отвечающих за формирование возрастной катаракты.



а)



б)

Рис. 1.84 (а, б). Изменение триптофана в хрусталике человека в течение его жизни

По мере старения хрусталика эти хромофоры изменяют цвет глаз человека от ясного (средний) до желтого (вверху справа). В результате возрастных изменений происходит помутнение хрусталика, которое известно как катаракта (вверху слева). Хрусталик глаза коровы (нижний) и других непраimate сохраняет прозрачность на протяжении всей жизни [1.159].

В хрусталике особая роль принадлежит триптофану и процессу его окисления под воздействием УФ-излучения (рис. 1.84).

Обычно нормальный хрусталик менее прозрачен, чем роговица, поскольку в дополнение к рассеянию возрастной белок (ответственный за пожелтение хрусталика с возрастом человека) активно поглощает свет различными хромофорами, включая 3-гидрокси-L-кинуруенин-O- β -глюкозид. При воздействии на аминокислоты (триптофан и тирозин) излучения с длиной волны 280 нм (полоса поглощения белков) наблюдается полоса излучения, максимум интенсивности которой лежит в области 330–350 нм. Индивидуальный спектр люминесценции каждой из этих аминокислот различается по положению максимума излучения (рис. 1.85).

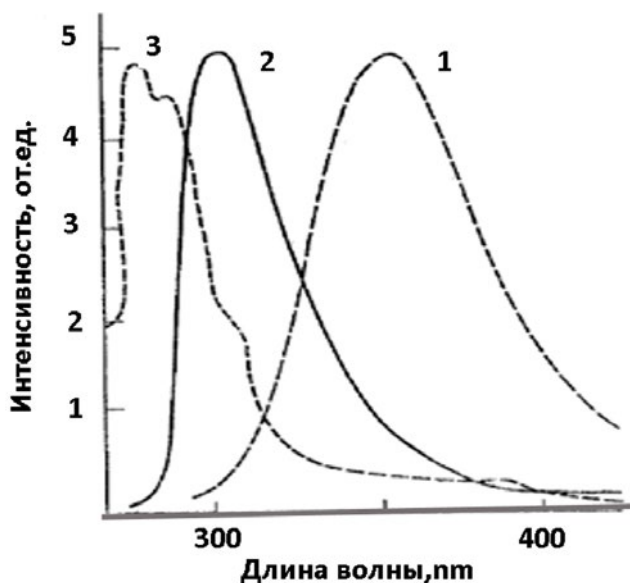


Рис. 1.85. Спектр люминесценции аминокислот в нейтральном водном растворе при комнатной температуре: 1 – триптофан; 2 – тирозин; 3 – фениланин [1.160]

Офтальмологическая наука считает, что естественной защитой глаза от «сине-голубой» опасности является хрусталик, ослабляющий свет в сине-голубой области спектра и этим снижающий степень фотоповреждения сетчатки. Существенно, что хрусталики детей практически вдвое прозрачнее в сине-голубой области спектра, чем хрусталики взрослых людей (рис. 1.86). Соответственно, можно предположить, что риск фотоповреждения детских глаз минимум вдвое выше, чем повреждения глаз взрослых людей.

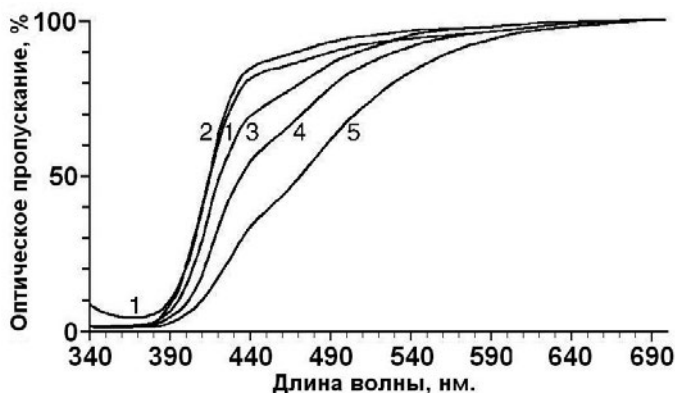


Рис. 1.86. Зависимость изменения оптического пропускания хрусталика от возраста человека: 1 – новорожденные; 2 – от 8 до 29 лет; 3 – от 31 до 49 лет; 4 – от 52 до 65 лет; 5 – старше 70 лет

Естественный хрусталик человека с возрастом желтеет. Желтый цвет хрусталика блокирует проникновение синего света, тем самым предохраняя сетчатку от фотоповреждения. Однако при удалении хрусталика в случае развития катаракты удаляется и естественная защита сетчатки глаза от синего света. Клетки сетчатки подвергаются негативному воздействию свободных радикалов, при этом значительно увеличивается риск возникновения возрастной дегенерации макулы и нарушается комфортность цветовосприятия окружающего мира. Это наглядно иллюстрируют картины Клода Моне.

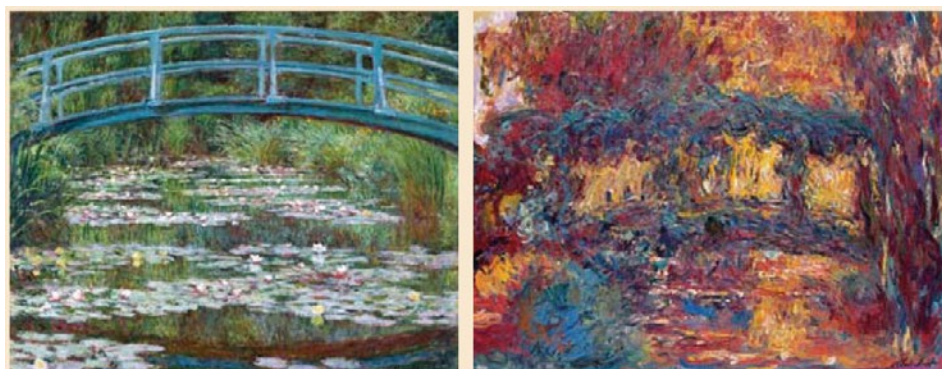


Рис. 1.87. Картина «Японский мостик», написанная Клодом Моне в разные периоды жизни

Клод Моне изобразил японский мостик в его саду в Живерни рядом с Парижем в 1899 году (слева). Та же сцена, что он попытался нарисовать снова между 1918 и 1924 годами, показывает, что его катаракта была достаточно развита. Налицо нарушение восприятия синего и зеленого цветов, оставившее его в мире, наполненном темно-красными и коричневыми красками. Следовательно, уровень помутнения хрусталика должен находиться на оптимальном уровне – защищать глаз от дозы синего, но не нарушать цветовосприятие окружающего мира (ухудшая качество жизни).

Причины развития катаракты

В работе [1.161] рассмотрены вопросы молекулярной физиологии и патологии хрусталика глаза и особое внимание уделено специфическим белкам хрусталика – кристаллинам.



Рис. 1.88. Динамика развития возрастной дегенерации макулы

Намного проще и дешевле предотвратить развитие катаракты, нежели годами проводить ее консервативное лечение либо выполнять дорогостоящее хирургическое вмешательство. Основные успехи в этой области достигнуты в изучении физико-химических процессов, приводящих к нарушению оптических свойств хрусталика. При старческой катаракте происходят изменения химического состава хрусталика. В начальном периоде развития катаракты увеличивается содержание воды, нарастает дисбаланс ряда ионов, аминокислот, одновременно уменьшается количество водорастворимых белков и витаминов, АТФ. Кроме того, снижается активность ряда ферментов, участвующих в процессе обмена веществ в хрусталике, резко уменьшается потребление кислорода, нарушаются процессы перекисного окисления липидов. В настоящее время существует несколько теорий, объясняющих возникновение помутнений в хрусталике. Однако каждая из них в отдельности не может полностью объяснить сложные механизмы развития катаракты. Скорее всего, формирование возрастных помутнений в хрусталике есть результат комплексного влияния как внутренних (эндогенных), так и внешних (экзогенных) факторов. В настоящее время основной причиной формирования катаракты является механизм свободно-радикального окисления. Свободные радикалы – химические соединения, обладающие высокой реакционной способностью. В организме они постоянно образуются при обмене веществ, однако разрушаются специальными ферментами и естественными антиоксидантами. Свободные радикалы очень опасны – они приводят к разрушению клеточных мембран и в конечном итоге вызывают гибель клетки. В тканях глаза наиболее существенным дополнительным фактором, стимулирующим образование свободных радикалов, является свет, в особенности коротковолновая часть спектра в диапазоне 200–300 нм. В результате образования свободных радикалов в хрусталике происходит образование и накопление

токсичных соединений, приводящих к необратимым изменениям белков. Особую роль играет факт снижения в хрусталике с возрастом активности ферментов антиоксидантной защиты и уменьшение концентрации природных антиоксидантов (витамины А, Е, глутатион). *Именно неспособность антиоксидантной защиты справиться с уровнем световой нагрузки и приводит к необратимым изменениям в хрусталике глаза.* Однако при удалении хрусталика в случае развития катаракты удаляется и естественная защита глаза от синего света.

Клетки сетчатки подвергаются негативному воздействию свободных радикалов. Риск возникновения возрастной дегенерации макулы значительно увеличивается [1.162].

Недавние исследования [1.163, 1.164] движения жидкости на изолированных хрусталиках утверждают, что хрусталик представляет собой бассейн, в котором диффузия ВВ происходит во всех направлениях. Представленные результаты были получены без учета транспортных свойств переднекапсульного эпителия хрусталика. Как известно, передняя поверхность капсулы хрусталика изнутри выстлана однослойным эпителием, который содержит систему активного ионного транспорта – Na^+ , K^+ -АТФаза. Эта ионообменная «помпа» создает градиент осмотического давления снаружи и внутри капсулы хрусталика за счет разной концентрации ионов K^+ и Na^+ , что способствует осмотическому движению «свежей» ВВ внутрь хрусталика. В норме «закаченная» внутрь хрусталика ВВ в дальнейшем может однонаправленно диффундировать только от передней поверхности его капсулы к задней.

Морфологическими исследованиями установлена волокнистая структура хрусталика, которая сложена концентрично и в молодом возрасте имеет до 40 слоев, аналогично кольцам на срезе дерева или слоям луковицы. Слои имеют мембранное «лепестковое» эллипсоидное строение и разделены межклеточным пространством (ширина 0,01 мкм), которое заполнено ВВ. Вполне возможно, что диффузионное движение ВВ внутри хрусталика может происходить по этим межклеточным пространствам между и вдоль параллельных слоёв эллипсоидных кортикальных поверхностей.

Подводя итог экспериментальной части исследования, можно получить обобщенную схему водообмена в хрусталике (рис. 1.89), которая согласуется с механизмом хрусталиковой аккомодации. Итак, водообменные процессы в хрусталике только частично связаны с флуктуацией его объема в моменты аккомодации «вблизи – вдаль». Однако при взгляде «вдаль» давление в уплощённом хрусталике минимально, поэтому «свежей» водянистой влаги легче поступить внутрь хрусталика через его переднюю капсулу. Система активного ионного транспорта Na^+ , K^+ -АТФаза, которая локализована в эпителии передней капсулы хрусталика, является определяющей и способствует осмотическому транспорту «свежей» водянистой влаги и ее дальнейшему однонаправленному диффундированию от передней поверхности капсулы хрусталика к задней не через ядро хрусталика, а вдоль пластин его кортикозных слоёв. Поступление водянистой влаги при взгляде полностью «вблизи» дополнительно повышает внутривнутрихрусталиковое давление за счет

осмоса до уровня 6 мм рт. ст. При взгляде «вблизи» хрусталик максимально округлен и его внутривнутрихрусталиковое давление максимально, что способствует диффундированию «отработанной» водянистой влаги через заднюю капсулу в стекловидную камеру [1.164].



Рис. 1.89. Схема однонаправленного движения водянистой влаги в хрусталике in vivo [1.164]

Хрусталик отделен от стекловидного тела пространством Бергера (Berger). По краям вдавления стекловидное тело присоединено к капсуле хрусталика при помощи «связки», распространяющейся в виде кольца шириной 8–9 мм (гиалоидокапсулярная связка Вейгера (Wieger)) [1.165].

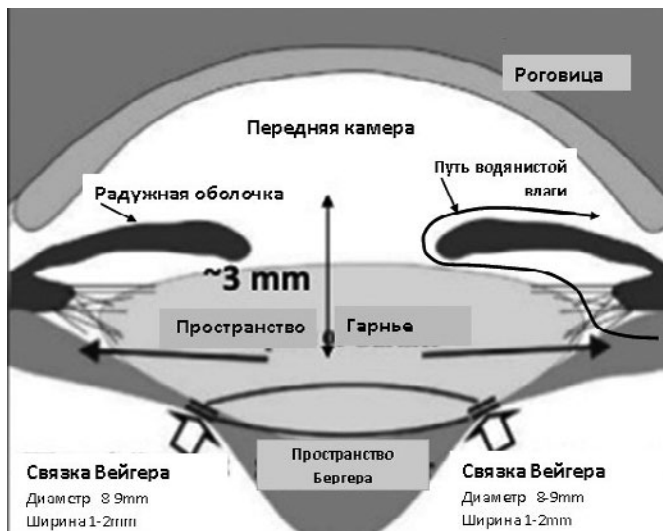


Рис. 1.90. Схема, изображающая взаимосвязь между задней капсулой и передним гиалоидом (любезно предоставлено доктором Т. Миёси). На практике связка Вейгера может быть полностью отделена; и наоборот, гиалоид может плотно прилипнуть к капсуле на протяженных участках [1.165]

Узкими синими стрелками указано направление движения водянистой влаги (ВВ) при ее частичной диффузии в заднюю камеру. Основной объем отработанной ВВ выводится из хрусталика с помощью диффузии через центральную часть его задней капсулы сначала в ограниченное мощной связкой Вейгера пространство Бергера, а затем в камеру со стекловидным телом.

Первоначальное описание структур витреолентиккулярного интерфейса принадлежит анатому Эмилю Бергеру, который обозначил пространство между задней капсулой хрусталика и передними слоями стекловидного тела в глазах трупов. Впоследствии наличие этой структуры было подтверждено *in vivo*. Ранее упомянутое пространство ограничено связкой Вейгера, это образование располагается в пределах 8-, 9-мм зоны позади хрусталика и является результатом адгезии передней гиалоидной мембраны и задней капсулы хрусталика [1.166]. *Пространство Бергера по форме напоминает фокус в системе оптоволокна, который собирает свет и направляет в оптическую среду, но в геометрической оптике глаза этот факт не учитывается.*

Передняя поверхность капсулы хрусталика представлена монослоем эпителиальных клеток. Эпителий передней поверхности хрусталика участвует в транспорте водянистой влаги внутри хрусталика [1.164].

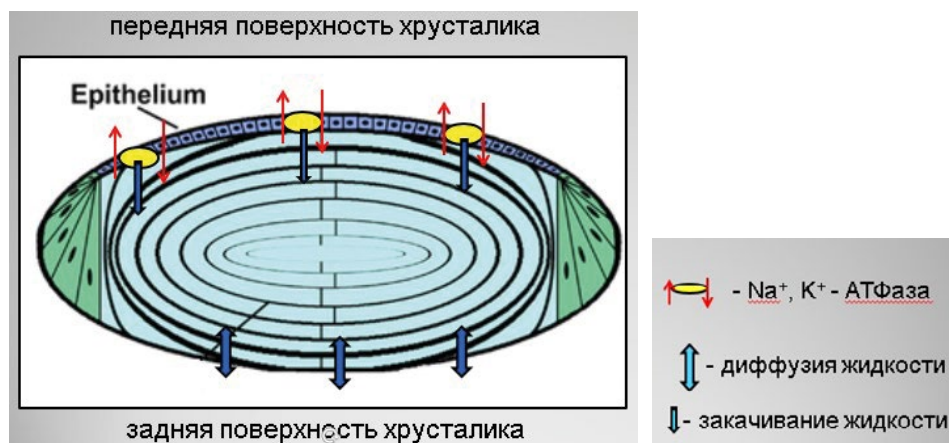


Рис. 1.91. Поток водянистой влаги в хрусталике [1.164]

В данной общей структуре хрусталика не рассматривалась роль аквапоринов AQP1 и AQP0. Аквапорин 1 является тетрамерным интегральным белком. Мономер состоит из 269 аминокислот, содержит 2 tandemных повтора с 3 трансмембранными участками и петлю с характерным мотивом аспарагин-пролин-аланин, которая формирует специфичный водный канал в клеточной мембране и обеспечивает передвижение воды через клеточную мембрану в направлении осмотического градиента.

Роль и значимость аквапоринов в работе хрусталика подробно изложены в работах [1.167, 1.168, 1.169, 1.170].

В работе «Физиологическая оптика хрусталика» говорится, что физиология хрусталика связана с активным поддержанием его оптических

свойств. Провал микроциркуляции может объяснить начало заболевания и катаракты [1.171].

Оптические свойства глазной линзы важны для общего качества зрения. Как прозрачная биологическая ткань, линза способствует общей и динамической фокусирующей способности глаза и исправляет оптические ошибки, вносимые роговицей. Оптические свойства линзы меняются на протяжении всей жизни. Изменения преломляющих свойств и прозрачности хрусталика приводят к пресбиопии и катаракте соответственно. Однако не совсем понятно, как изменения клеточной структуры и функции хрусталика инициируют эти изменения в преломлении и прозрачности. Здесь мы пытаемся восполнить этот пробел в знаниях, рассматривая, как оптические свойства линзы сначала устанавливаются, а затем поддерживаются на клеточном уровне в течение всей жизни человека. Центральное место в этом понимании имеет тот факт, что линза имеет систему микроциркуляции, которая генерирует поток ионов и воды, которые циркулируют через линзу [1.172].

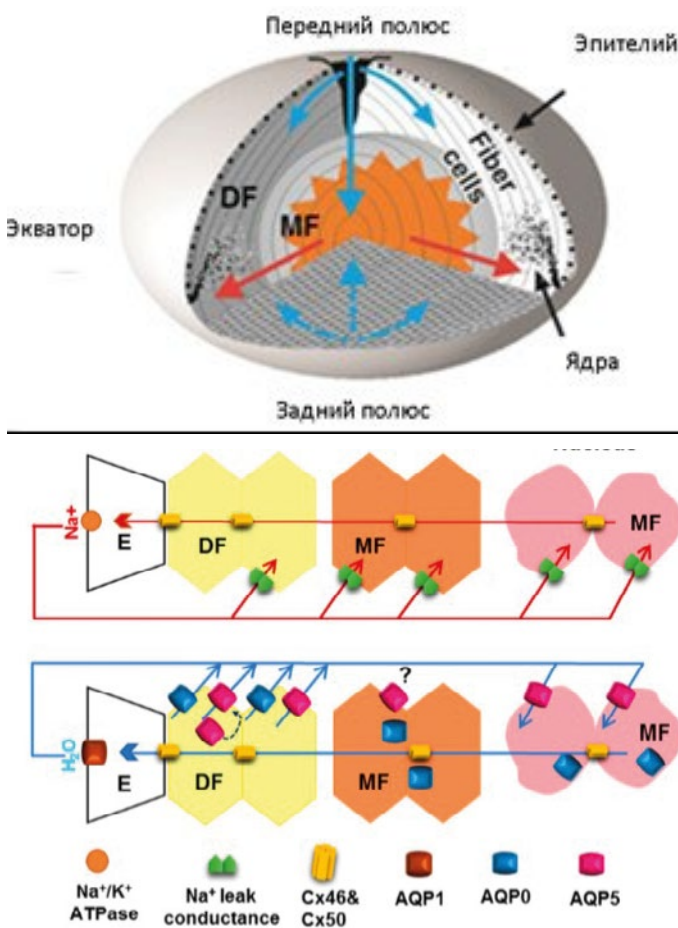


Рис. 1.92. Общая схема циркуляции натрия и воды в хрусталике (а) [1.171] и по его пространственным областям (б) [1.172]

Пространственные различия в свойствах переноса ионов вызывают микроциркуляцию. Верхняя панель: Na^+ течет в хрусталик вдоль межклеточных пространств между клетками и пересекает клеточные мембраны волокон, рассеивая его электрохимический градиент, затем возвращается обратно к поверхности линзы через внутриклеточный путь, опосредованный щелевыми контактами, которые направляют Na^+ к экватору, где Na^+ / K^+ АТФаза транспортирует его из хрусталика, чтобы завершить циркуляцию; нижняя панель: вода следует за циркулирующим током Na^+ , поступающим в линзу на каждом полюсе через внеклеточное пространство, а затем поступает в клеточные волокна через водяные каналы AQP0, после чего возвращается к поверхности через щелевые соединения и покидает линзу через каналы AQP1, расположенные в эпителии [1.172].

В работе [1.173] установлено положительное влияние гуморальных регуляторов активности аквапоринов (вазопрессин, эстрогены, компоненты ренин-ангиотензинной системы) на прозрачность хрусталика.

Поддерживая ионный и метаболический гомеостаз в линзе, система активно поддерживает ее прозрачность, регулируя содержание воды в стационарном состоянии, контролирует два ключевых параметра, геометрию линзы и градиент показателя преломления, которые определяют преломляющие свойства. Таким образом, водный транспорт становится критическим параметром, который связывает прозрачность и преломляющие свойства линзы на клеточном уровне, и подчеркивает необходимость изучения того, как возрастные изменения водного транспорта приводят к пресбиопии и катаракте, основным причинам ошибок рефракции и слепоты в современном мире [1.174].

Стекловидное тело занимает особое место, представляя собой гидрофильный гель, составляющий до 70% массы глаза, на 99% состоящий из воды.

В стекловидном теле вода особо связана с молекулами протеогликанов и гликозаминогликанов, из которых присутствует в основном гиалуроновая кислота.

Функции стекловидного тела:

- оптическая;
- формообразующая;
- защитная;
- метаболическая (обмен веществ внутриглазных жидкостей, депо воды, кислорода и метаболитов сетчатки);
- участие в акте аккомодации;
- участие в гидродинамике глаза;
- участие в регуляции нормального офтальмотонуса (избирательная проницаемость мембраны стекловидного тела, входящей в гематоофтальмический барьер (ГОб), обуславливает *стабильность осмотических отношений между кровью и стекловидным телом* [1.175]).

В работе [1.176] подробно изложены вопросы химического состава стекловидного тела.

Результаты исследований по физиологии стекловидного тела глаза изложены в большом количестве публикаций в диссертационных работах. Гигиенистов волнуют проблемы обеспечения здоровья глаза, в частности стекловидного тела, через оптимизацию потоков воды, света и кислорода в нем.

Стекловидное тело (СТ) занимает 2/3 внутреннего объема глаза человека, но несмотря на это, является наименее изученной структурой глазного яблока. Макроскопически оно представляет собой гелеобразное, прозрачное вещество, которое состоит из жидкой части и плотного остатка, состоящего из фибрилл, или волокон стекловидного тела.

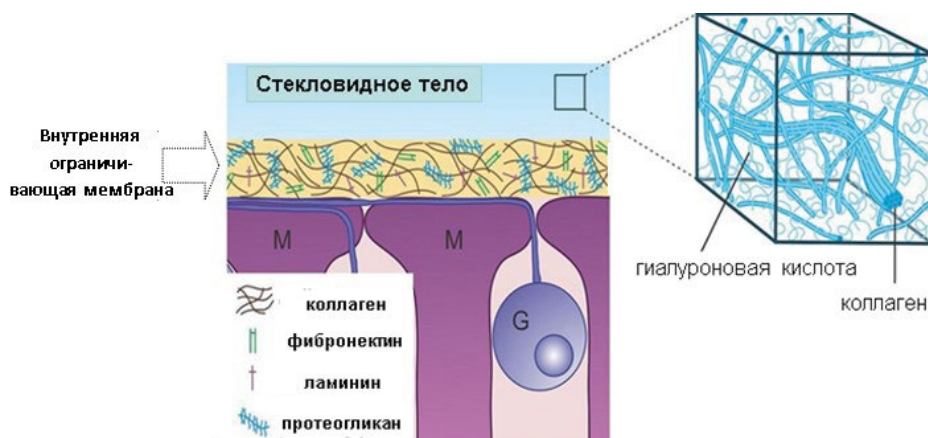


Рис. 1.93. Схематическое изображение стекловидного тела: внутренней ограничивающей мембраны, М – клетка Мюллера, G – клетка ганглии [1.177]

Внутренняя ограничивающая мембрана – это граница между сетчаткой и стекловидным телом, образованная астроцитами и концевыми ножками клеток Мюллера. Она отделена от стекловидного тела базальной пластинкой.

Стекловидное тело является производным мюллеровых клеток сетчатки и вследствие этого может рассматриваться как измененная базальная мембрана сетчатки [1.178].

На отростках клеток Мюллера, которые частично проникают во внутреннюю ограничивающую мембрану, находятся аквапорины АКП4 (AQP4) (рис. 1.94).

Особенностью мюллеровских клеток является то, что они простираются от внутренней пограничной мембраны (граничит со стекловидным телом) до внешней пограничной мембраны. Тела клеток находятся во внутреннем зернистом слое. Потеря архитектоники клеток Мюллера имеет значение при отслоении сетчатки.

В работе «Аквапорины в глазу: определения, функции и роль при заболеваниях глаз» [1.124] приведена общая схема распределения аквапоринов в сетчатке глаза (рис. 1.95).

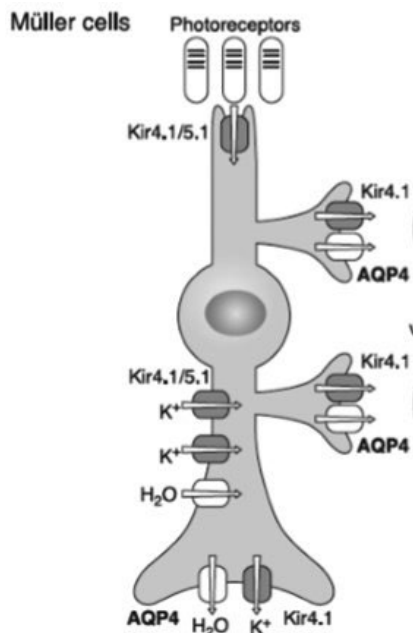


Рис. 1.94. Общая схема размещения аквапоринов АКП4 (AQP4) в клетке Мюллера

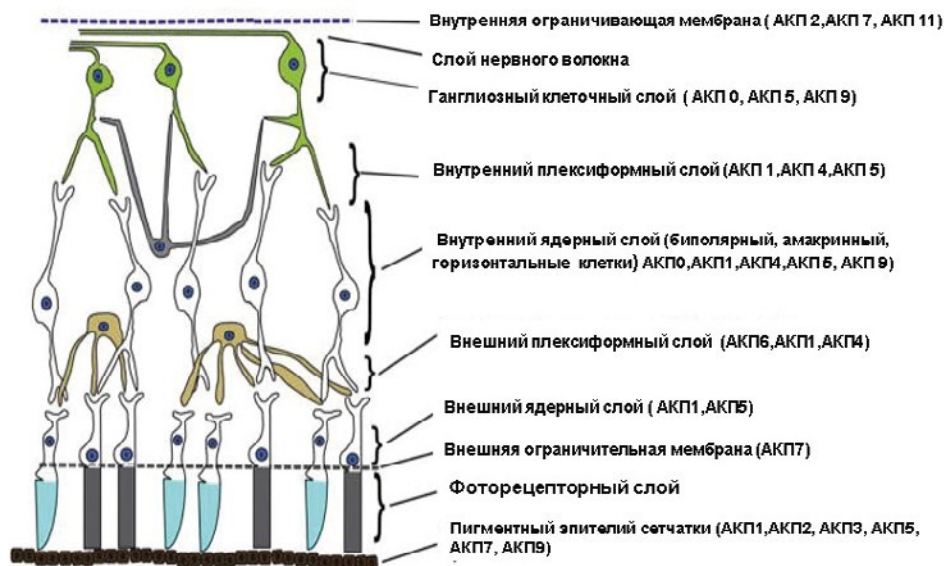


Рис. 1.95. Диаграмма слоев клеток сетчатки и наиболее распространенные аквапорины, выраженные в каждом слое [1.124]

Из данной диаграммы видно, что во внутренней ограничивающей мембране находятся аквапорины АКП2, АКП7 и АКП11. Известно, что аквапорины в зависимости от селективности проницаемости делятся на две подгруппы:

- 1) собственно аквапорины, проницаемые только для воды;
- 2) акваглицеропорины, пропускающие, кроме воды, также глицерин и некоторые другие небольшие молекулы, в частности мочевины.

Важно отметить, что обе подгруппы аквапоринов непроницаемы для протонов (H^+ -ионов). К первой подгруппе относят АКП0, АКП1, **АКП2**, **АКП4**, АКП5, АКП6 и АКП8, а ко второй – АКП3, АКП7, АКП9 и АКП10.

АКП11 и АКП12 не отнесены ни к одной из двух подгрупп и, видимо, являются третьей эволюционной ветвью мембранных каналов [1.179].

В работе [1.180] показано, что эффективное управление аквапоринами может осуществляться с помощью вазопрессина.

Вазопрессин представляет собой белковый гормон, состоящий из 9 аминокислот, который необходим для регулирования обмена воды в теле человека, в его органах и тканях. Вазопрессин вырабатывается гипоталамусом, способствует удержанию воды в организме, сокращению сосудов.

Гормон вырабатывается в следующих ядрах гипоталамуса головного мозга:

- в паравентрикулярном, расположенном около желудочка головного мозга;
- **в супраоптическом, расположенном над зрительным нервом.**

После выработки гранулы АДГ отправляются в заднюю долю гипофиза, где происходит их накопление. По телу гормон распространяется при помощи спинно-мозговой жидкости, в которую он попадает в самом минимальном количестве. Регулированием выработки АДГ занимается гипофиз, который контролирует его запасы и *уровень в крови* [1.181].

Нейробиологи из Университета Макгилла (Канада) установили, как система циркадного ритма управляет выделением гормона вазопрессина – регулятора выведения воды [1.182].

В ряде работ [1.183, 1.184, 1.185] отмечалось, что очень важен процесс формирования стекловидного тела на ранних этапах жизни человека. Но в них наряду с вопросами гидродинамики не затронуты гигиенические аспекты – свет, вода (аквапорины) и воздух (кислород).

Недостаток освещения во время беременности приводит к недоразвитию зрения у плода. В лоне беременной женщины вовсе не такая уж темнота, как полагали ранее. К плоду способно проникать достаточно света, чтобы первые зрительные представления об окружающей среде могли формироваться уже на последних месяцах. К таким выводам пришел итальянский исследователь Марко Дель Джудиче из Университета Турина. «Я измерил интенсивность света, способного проникать через разные телесные ткани – мускульные волокна, жировую прослойку, а также различные материалы, и на основании этих данных создал модель "света" в утробе женщины, вынашивающей ребенка», – пояснил ученый. Несколько лет назад доцент Туринского университета, психолог Марко дель Джудиче опубликовал статью под названием «Один в темноте?» (*Developmental Psychobiology*, 2011, 53, 214–219, DOI: 10.1002/dev.20506).

Количество света в матке зависит от наружного освещения, толщины материнских тканей и одежды. Влияние одежды показывает серая область между пунктирными линиями. Верхняя линия – одежды нет, нижняя ли-

ния – один слой плотной, темной ткани (<https://www.hij.ru/read/articles/medicine/6999/>).

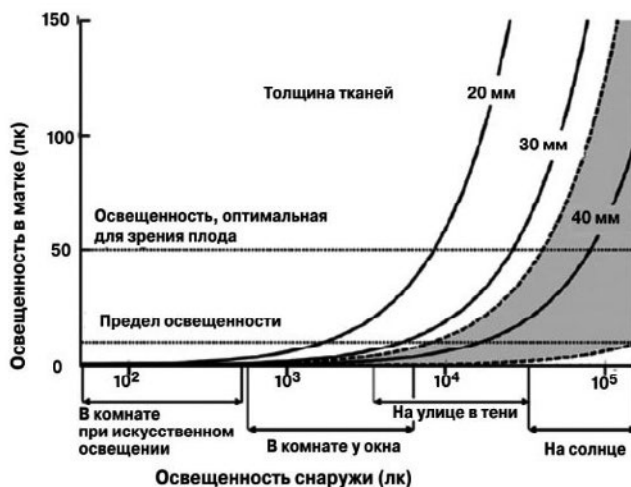


Рис. 1.96. Освещенность внутри матки в зависимости от наружного освещения

Британские исследователи под руководством профессора Ланкастерского университета Винсента Рейда, психолога («Current Biology», 2017, 27, 1825–1828, DOI: 10.1016/j.cub.2017.05.044) продолжали исследовать, как видит плод в утробе матери. Роль светового стимула выполнял треугольник из трех точек, высвеченных на материнском животе красным лазером с длиной волны 650 нм. Диаметр одной точки составлял 2 мм, расстояние между ними – 15 мм. Яркость красных пятен варьировала от 16 до 34 лк, то есть находилась в диапазоне оптимального восприятия зрительной системы плода. За поведением младенца в матке следили с помощью четырехмерного ультразвукового сканирования, которое позволяет не только увидеть объемное изображение плода, но и наблюдать в реальном времени его движения и мимику [1.186].

Ученые из Калифорнийского университета в Сан-Франциско и детского медицинского центра в Цинциннати проводили пренатальные исследования в области развития зрения у лабораторных мышей. Одним из механизмов воздействия света на зрение плода является подавление роста кровеносных сосудов сетчатки. При ретинопатии недоношенных происходит неограниченный рост сосудов сетчатки. Это приводит к повышенному внутриглазному давлению, серьезному повреждению глаз и к слепоте. Ученые представили практическое подтверждение сделанным ими выводам. Они сравнивали две группы мышей.

Одна группа являлась обладателем мутантного гена *опсина Opn4*, который отвечает за производство *меланопсина*.

Вторая группа здоровых мышей находилась на поздних стадиях беременности в условиях *плохой освещенности*.

У потомства мышей из обеих групп было обнаружено беспорядочное разрастание сосудов стекловидного тела и аномальный рост сосудов сет-

чатки. Меланопсин во время беременности имеется в организмах не только мышей, но и людей. По мнению ученых, полученные ими данные позволяют предполагать аналогичный механизм развития ретинопатии недоношенных. Оказалось, что фотоны воздействуют не на материнский организм, а *активируют белок меланопсин непосредственно у плода*. Активация меланопсина является частью процессов развития кровеносных сосудов и нейронов сетчатки глаза. А.С. Новохватский (1969) доказал существование прямых связей: *сетчатка-гипоталамус и гипоталамус-сетчатка*. Центростремительные волокна этой системы представлены в основном аксонами ганглиозных клеток сетчатки. Основное количество этих волокон оканчивается у нейросекреторных клеток переднего гипоталамуса, главным образом у клеток супраоптического ядра и паравентрикулярной зоны. Нейрогипофиз является органом, депонирующим два гормона: *антидиуретический (АДГ, вазопрессин) и окситоцин*. Как уже упоминалось выше, местом синтеза этих гормонов являются супраоптическое и паравентрикулярное ядра гипоталамуса. Формируясь в нейросекреторных клетках этих ядер, гормоны в виде гранул транспортируются по их аксонам и после разрушения гранул выделяются в капиллярную сеть нейрогипофиза. Антидиуретический гормон регулирует обратное всасывание воды в почечных канальцах и воздействует на гладкую мускулатуру артериол, повышая, таким образом, артериальное давление. *Окситоцин* стимулирует сокращение гладкой мускулатуры матки и молочных желез. *Вазопрессин* регулирует доступ воды к некоторым клеткам организма и вызывает вазоконстрикцию, *то есть сужение кровеносных сосудов*. Он вырабатывается в гипофизе и поступает в кровь. Помимо того, что он сужает кровеносные сосуды, некоторые клетки снабжены еще и специальными рецепторами для этого гормона. В зависимости от степени важности клеток одни из них имеют больше рецепторов для вазопрессина, чем другие. Именно перед родами повышается выработка вазопрессина и резко повышается скорость поглощения околоплодной воды и заполнение водой стекловидного тела.



Рис. 1.97. При рождении ребенка раньше срока стекловидное тело сформировано не полностью

На момент рождения ребенка в срок стекловидное тело полностью сформировано. Слои стекловидного тела, граничащие с оболочками, более уплотнены за счет сгущения тонких фибрилл, составляющих остов

стекловидного тела. К центру глаза гель стекловидного тела разжижается. Ограниченный собственной оболочкой и свободно лежащий в полости глаза массив геля прикрепляется к оболочкам глаза только в области зубчатой линии сетчатки и вокруг диска зрительного нерва. Межфибрилярное пространство заполнено бесклеточным аморфным веществом. Часть оболочки стекловидного тела – передняя пограничная мембрана – отделяет стекловидное тело от задней поверхности хрусталика, соединяясь, однако, с его экватором. Щелевидное пространство между стекловидным телом и хрусталиком, а также пространство между цинновыми связками (канал Гановера) заполнены внутриглазной жидкостью. Стекловидное тело состоит из переплетенных двойной сетью коллагеновых фибрилл II типа (~ 15 нм в диаметре) и гиалуроновой кислоты [1.187].

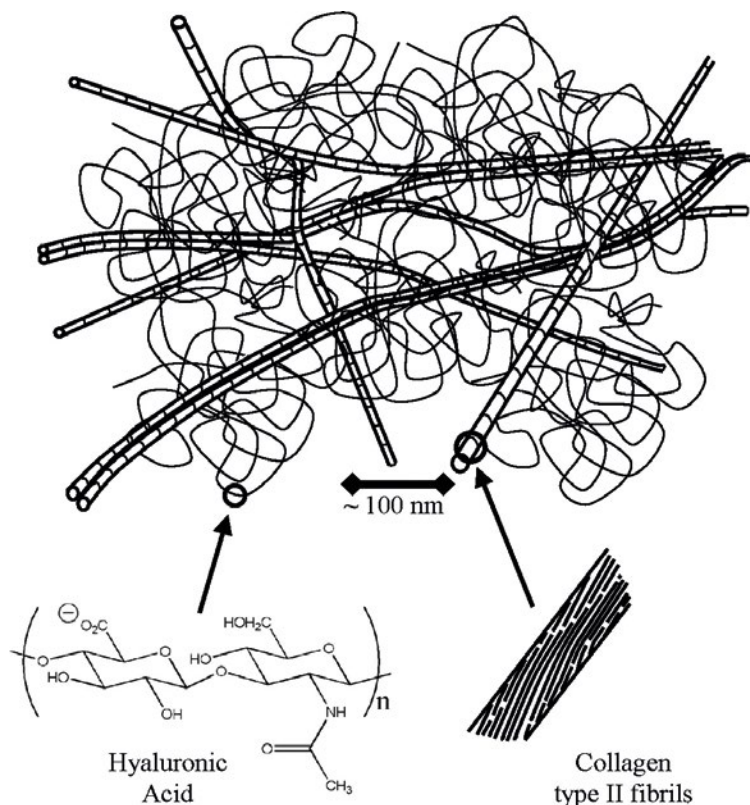


Рис. 1.98. Схематическое изображение сетевой структуры стекловидного тела, состоящей из коллагена (в первую очередь типа II) и гиалуроновой кислоты [1.188]

В такой структуре стекловидного тела формируется значительный отрицательный потенциал, который способствует поглощению и удержанию воды.

Патогенез – механизм зарождения и развития болезни и отдельных её проявлений – рассматривается на различных уровнях – от молекулярных нарушений до организма в целом (рис. 1.99).

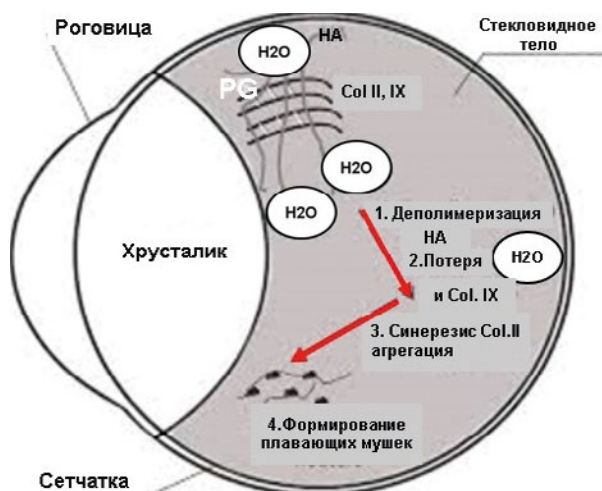


Рис. 1.99. Патогенез плавающих мушек (Col II, IX: коллаген II, IX; HA: гиалуроновая кислота, PG: простагландины) [1.189]

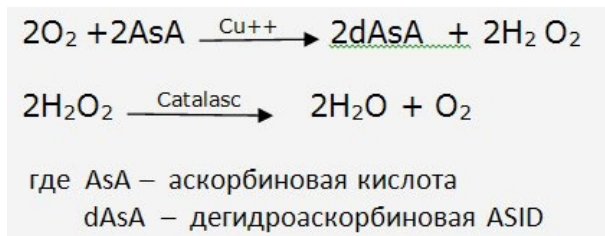
Стекловидное тело является производным мюллеровых клеток сетчатки и вследствие этого может рассматриваться как измененная базальная мембрана сетчатки [1.189, 1.190]. Задняя гиалоидная мембрана формируется в результате сращения фибрилл коры СТ с внутренней пограничной мембраной сетчатки и базальной мембраной Мюллеровских клеток. Морфологически она представляет собой коллагеновые волокна с гиалоцитами [1.191], принимающие участие в защитных реакциях организма, в утилизации продуктов обмена и поддержании гематофтальмического барьера (ГОБ). Клетки чаще встречаются в области основания СТ, цинновых связок, в кортикальном слое, непосредственно у сетчатки и диска зрительного нерва. В СТ содержатся как постоянные клетки эмбрионального происхождения – гиалоциты, так и транзиторные. Количество гиалоцитов зависит от локализации и возраста, в течение жизни их количество уменьшается. Транзиторные клетки – это фибробласты, макрофаги, моноциты и гистиоциты, определяются в кортикальном слое, у диска зрительного нерва, по ходу ретинальных сосудов и в области зубчатой линии. Некоторые авторы считают, что единым источником их происхождения являются моноциты, которые могут трансформироваться в зависимости от необходимости [1.192].

Большинство гиалоцитов обладает функциями макрофагов. По этой причине понятие насыщение их цитоплазмы лизосомами, фагосомами. Высокая фагоцитарная активность гиалоцитов выявляется как *in vitro*, так и *in vivo* [1.192].

Гиалоциты, видимо, способны синтезировать и основные компоненты стекловидного тела – гиалуроновую кислоту, коллагены I и II типов [1.192].

Электрический потенциал формирует в хряще крупные отрицательно заряженные агрегаты, поглощающие воду. В норме стекловидное тело полностью прозрачно. Жидкая часть стекловидного тела состоит из вязкой гиалуроновой кислоты, следов сывороточных белков, аскорбиновой кислоты, солей и других веществ и заключена в каркас из тонких белковых фибрилл.

В теле человека весом 70 кг в среднем содержится около 15 граммов гиалуриновой кислоты, треть из которой преобразуется (расщепляется или синтезируется) каждый день при воздействии супероксида – кислорода. С гигиенической точки зрения очень важно наличие в стекловидном теле аскорбиновой кислоты, которая выполняет роль антиоксидантной защиты и в присутствии ионов меди O_2^- переходит в перекись водорода, которая трансформируется в воду и молекулы кислорода.



Стекловидное тело выполняет важные физиологические задачи, защищая хрусталик глаза от окислительного повреждения. В стекловидное тело кислород поступает из кровеносной системы глаза. Переносимые этой системой газы выполняют важные защитные функции для жизнедеятельности клеток и в том числе сохранение внутриглазной среды за счет поддержания нормальных градиентов кислорода в глазу (рис. 1.100).

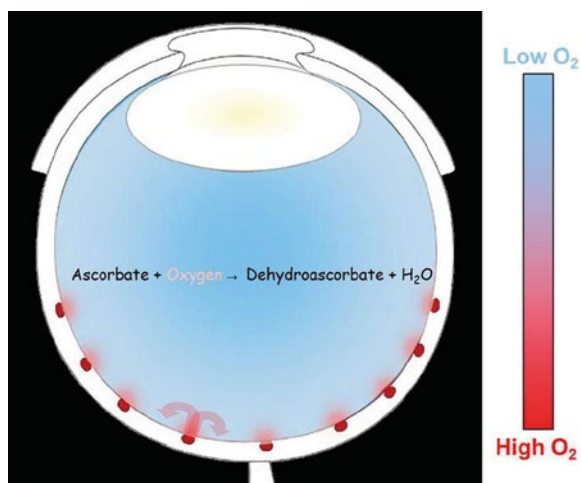


Рис. 1.100. Диаграмма, иллюстрирующая нормальное распределение кислорода в глазу с неповрежденным стекловидным телом

Кислород диффундирует из артериол сетчатки в стекловидный гель. Большая часть этого кислорода используется соседними внутренними тканями сетчатки (красные стрелки). Кислород, диффундирующий в стекловидное тело, может частично потребляться при взаимодействии с аскор-

биновой кислотой (витамином С), которая в избытке (2 мМ) содержится в стекловидном теле. Уровень кислорода возле задней части хрусталика остается низким. Для выполнения защитной миссии в кровеносной системе и в клетках должна находиться определенная оптимальная концентрация газов O_2 и NO . Исследователи, которые измеряли содержание кислорода в стекловидном теле человека, предполагали, что воздействие на линзу избытка кислорода вызывает ядерные катаракты [1.193]. В этой же работе приведена вычислительная модель, которая воспроизвела доступные экспериментальные распределения кислорода для неповрежденного и деградировавшего стекловидного тела человека в физиологических и нарушенных окружающей средой условиях. После проверки модель использовалась для оценки того, как возрастные изменения в физиологии стекловидного тела и структуре изменяют уровни кислорода в хрусталике. Стационарный перенос кислорода моделировался с использованием закона диффузии Фика. В некоторых случаях были включены эффекты конвективного движения для обоснования предположений об абсолютной диффузивности системы. Включение этого компонента дает уравнение баланса массы:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla c = \nabla \cdot (D \nabla c) + q$$

где c – концентрация кислорода; \mathbf{u} – вектор скорости; D – коэффициент диффузии кислорода в воде; q – опосредованное аскорбатом потребление кислорода в стекловидном теле. Поскольку в стекловидном теле содержится приблизительно 99% воды, было принято $D = 4 \times 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ для кислорода в воде и использован закон Генри для преобразования парциального давления кислорода (P_{O_2}) в концентрацию, $P_{O_2} = k \times c$, где $k = 769,2 \text{ л} \times \text{атм}/\text{моль}$ ($584,6 \text{ м}^3 \times \text{мм рт. ст.}/\text{Моль}$) для кислорода в воде.

Модель воспроизвела экспериментальные данные на людях, включая градиенты парциального давления кислорода (P_{O_2}) ($\gg 15 \text{ мм рт. ст.}$). Потеря антиоксидантной способности аскорбата повышала уровень кислорода в 3 раза на поверхности хрусталика. Однородная дегенерация стекловидного тела (разжижение), но не частичная отслойка заднего стекловидного тела, значительно увеличивает воздействие кислорода на хрусталик.

Содержание аскорбата и структура стекловидного геля являются критическими определяющими факторами воздействия кислорода на хрусталик [1.193].

1.8.4. Сетчатка и ее система защиты

В настоящее время огромная армия офтальмологов изучает сетчатку глаз, и имеется большое число публикаций и новых открытий.

В изучении сетчатки существуют следующие подходы:

- офтальмологический;
- биофизический [1.195–1.201];
- офтальмонейрокибернетический [1.202];
- гигиенический.

Гигиенистов наряду с общими вопросами строения сетчатки интересуют такие аспекты, как:

- прохождение света и поглощение его светочувствительными клетками сетчатки;
- движение потоков воды в клетках структурных элементов сетчатки и роль аквапоринов в этом процессе;
- система вещественного обмена в клетках сетчатки и условия ее устойчивого функционирования.

Сетчатка (лат. *retina*) – внутренняя оболочка глаза, являющаяся периферическим отделом зрительного анализатора; содержит фоторецепторные клетки, обеспечивающие восприятие и преобразование электромагнитного излучения видимой части спектра в нервные импульсы, а также обеспечивает их первичную обработку. Анатомически сетчатка представляет собой тонкую оболочку, прилежащую на всём своём протяжении с внутренней стороны к стекловидному телу, а с наружной – к сосудистой оболочке глазного яблока. В ней выделяют две неодинаковые по размерам части: зрительную часть – наибольшую, простирающуюся до самого ресничного тела, и переднюю – не содержащую фоточувствительных клеток – слепую часть, в которой выделяют, в свою очередь, ресничную и радужковую части сетчатки, соответственно частям сосудистой оболочки. На рис. 1.101 приведена общая схема размещения сетчатки в структуре глаза и ее фрагмент [1.203].

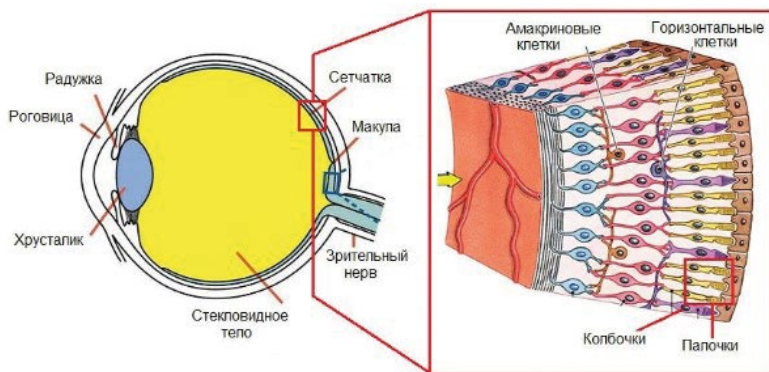


Рис. 1.101. Глаз и его сетчатка

Сетчатка представляет собой сложную слоистую структуру, которая приведена на рис. 1.102.

Структура сетчатки состоит из функциональных клеток, которые принимают участие в первичной обработке световой информации, и клеток, обслуживающих их устойчивое функционирование.

К первой группе относятся следующие клетки:

- ганглиозные клетки;
- амакриновые клетки;
- горизонтальные клетки;
- биполярные клетки;
- светочувствительные клетки (колбочки и палочки).

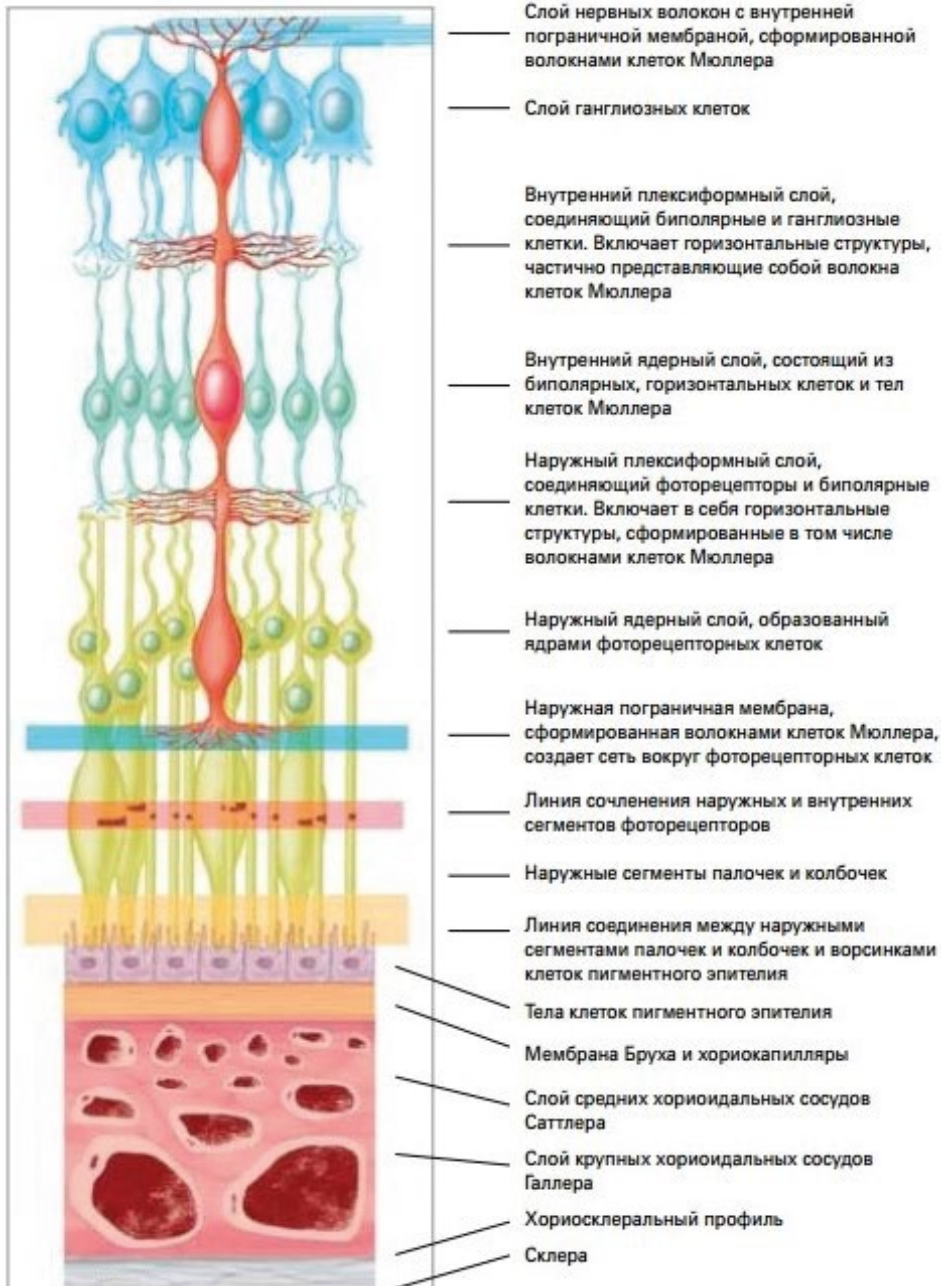


Рис. 1.102. Слоистая структура сетчатки глаза [1.203]

Пигментный эпителий – важный слой сетчатки, он прилегает к сосудистой оболочке, окружен палочками и колбочками, частично заходит на них. Клетки доставляют соли, кислород, метаболиты. Если образуются очаги воспаления глаза, то клетки этого слоя способствуют рубцеванию.

Ко второй группе относятся клетки, производные от радиальной глии:

- мюллерова глия в сетчатке;
- астроциты;
- микроглии.

Оптическое значение: результаты исследования, проведенного при университете Лейпцига в 2007 году, показали, что клетки Мюллера имеют светопроводные функции. Они собирают свет с передней поверхности сетчатки и проводят его к фоторецепторам, размещенным на задней поверхности сетчатки, подобно оптоволоконному кабелю [1.204]. Без мюллеровских клеток свет будет попадать на фоторецепторы в рассеянном виде, что приведет к снижению остроты зрения.

Оптические свойства глаза зависят от геометрических размеров клеток, которые определяются объемом воды в них. С точки зрения гигиены зрения очень важно знать, как происходит процесс переноса воды в сетчатке и какие факторы влияют на этот процесс. В сетчатке процесс переноса влаги осуществляется с помощью аквапоринов.

Но в биофизических моделях РПЭ [1.199] эти аквапорины не рассматриваются. С точки зрения биофизиков эпителии сетчатки РПЭ, как и другие эпителии, обладают высокополяризованной структурой, которую поддерживает сложноорганизованная система цитоскелета (рис. 1.103) [1.199, 1.205, 1.206].

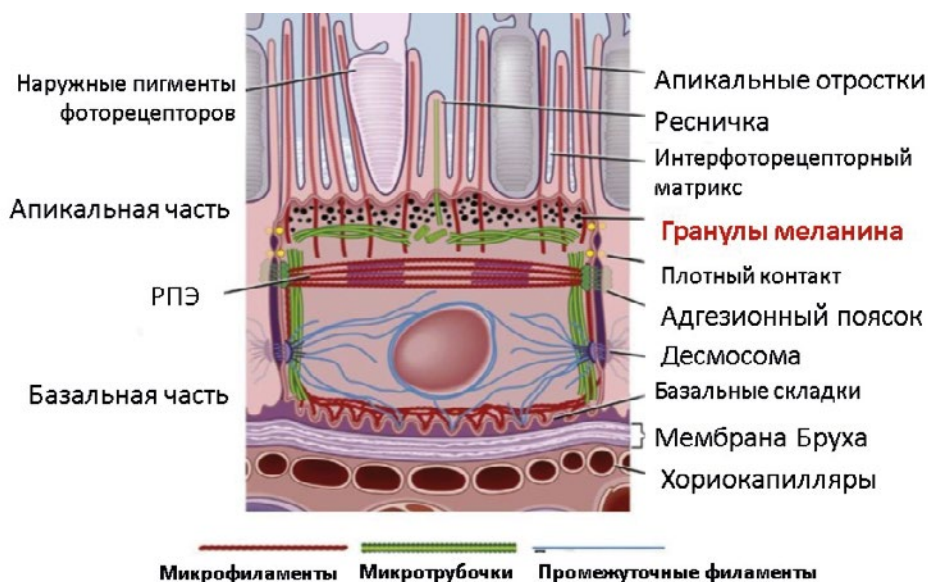


Рис. 1.103. Схема строения клетки РПЭ, отражающая особенности их цитоскелета [1.205]

Деградационные процессы РПЭ могут так же возникать из-за нарушения процессов утилизации результатов фотохимических реакций в сетчатке.

РПЭ выполняет многочисленные высокоспециализированные функции в сетчатке (рис. 1.104). Рассмотрим их более детально.

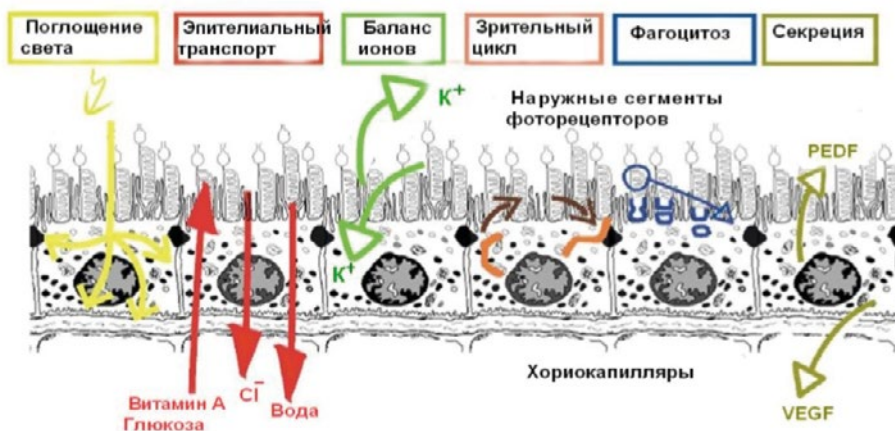


Рис. 1.104. Основные функции клеток РПЭ. VEGF – фактор роста эндотелия сосудов, PEDF – фактор пигментного эпителия [1.207]

1. Поглощение света. Благодаря наличию гранул меланина РПЭ абсорбирует световую энергию, обеспечивает оптическую защиту фоторецепторов [1.207]. Меланин – пигмент темно-коричневого или черного цвета, высокомолекулярное соединение, представляющее собой продукт ферментативного окисления тирозина и дигидроксибензилаланина в комплексе с белками – содержится в меланосомах. Меланин поглощает прошедший через сетчатку свет, препятствуя его отражению. Апикальные отростки клеток РПЭ, в которых содержатся гранулы меланина, окутывают наружные сегменты фоторецепторных клеток, за счет чего происходит световая изоляция каждого фоторецептора. Это обеспечивает четкую топографическую регистрацию световой энергии в наружных сегментах фоторецепторов, повышая при этом разрешающую способность зрительной системы. При возрастании освещенности глазного яблока зерна меланина мигрируют в отростки клеток пигментного эпителия, при этом степень фотоизоляции усиливается. Меланин также является мощным антиоксидантом, работающим как активно (нейтрализует действие свободных радикалов и препятствует их образованию, связывая ионы металлов, в частности железа), так и пассивно (поглощает ультрафиолетовое излучение, запуская реакцию свободнорадикального окисления). Помимо меланина, в клетках РПЭ содержится целый набор антиоксидантов (α -токоферол (витамин Е), аскорбиновая кислота (витамин С), β -каротин) и антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутаза, каталаза, пероксидаза, глутатион пероксидаза), тормозящих процессы свободно-радикального окисления.

2. Эпителиальный транспорт и ионный баланс РПЭ осуществляет высокоизбирательный транспорт веществ между кровью и субретинальным пространством. Так, РПЭ снабжает фоторецепторные клетки необходимыми веществами из крови, транспортируя глюкозу (энергетический метаболизм), ретинол (для зрительного цикла), ω -3 жирные кислоты (для синтеза фосфолипидов мембран наружных сегментов фоторецепторов); участвует в переносе воды, ионов (Cl^-), метаболитических остатков (лактат) из субре-

тинального пространства в кровь [1.207]. Удаление жидкости из субретинального пространства сохраняет там отрицательное гидростатическое давление, необходимое для адгезии между РПЭ и фоторецепторами. В трансэпителиальном транспорте участвуют многочисленные каналы и транспортеры, асимметрично расположенные в плазматической мембране РПЭ: на апикальной стороне находятся Na^+/K^+ АТФаза, аквапорины (AQP 1), $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{Cl}^-$ котранспортеры, K^+ каналы, $\text{H}^+/\text{лактат}$ котранспортер (MCT 1), тогда как на базолатеральной стороне доминируют Cl^- каналы (CLC 2, CFTR), $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$ обменник, $\text{H}^+/\text{лактат}$ котранспортер (MCT 3) [1.207, 1.206]. Клетки РПЭ также *регулируют pH* в субретинальном пространстве, а вместе с клетками Мюллера еще и контролируют баланс K^+ в этой области, что необходимо для нормальной возбудимости фоторецепторов [1.207].

3. Зрительный цикл РПЭ играет ключевую роль в *транспорте и преобразовании витамина А* (полностью транс-ретинола), тем самым обеспечивая постоянную регенерацию хромофоров фоторецепторов. Зрительные пигменты наружных сегментов фоторецепторов содержат светочувствительную хромофорную группу (11-цис ретиналь), связанную с большим трансмембранным белком – опсином. Поглощение кванта света 11-цис ретиналем приводит к его изомеризации в полностью транс-форму. Цис-транспереход ретиналя вызывает, в свою очередь, конформационную перестройку опсина и его активацию, взаимодействие с рядом сигнальных внутриклеточных белков (G-белок трансдуцин, фосфодиэстераза) в цепи процессов фототрансдукции, в результате чего возникает фоторецепторный электрический ответ клетки, передающийся через синапс следующим нервным клеткам сетчатки. Зрительный пигмент может быть заново активирован светом только в случае замены полностью транс-ретинола на его 11-цис изомерную форму. Удаление транс-ретиноля из фоторецепторной мембраны обеспечивает АТФсвязывающий кассетный переносчик ретиналя (ABCR). Затем с помощью фермента ретинол-дегидрогеназы транс-ретиноль превращается в транс-ретинол, который с помощью ретинол-транспортирующего белка (CRBP) переносится из фоторецепторной клетки в субретинальное пространство. Здесь он взаимодействует со следующим белком зрительного цикла – интерфоторецепторным ретинол-связывающим белком (IRBP), и с его помощью поступает в клетку РПЭ. В клетке РПЭ транс-ретинол под действием комплекса ферментов (трансферазы LRAT, изомергидролазы RPE 65, дегидрогеназы RDH5) трансформируется в 11-цис-ретиналь, который связывается с ретинолтранспортирующим белком (CRALBP) и транспортируется обратно в фоторецепторную мембрану [1.207, 1.208].

Описанный выше процесс носит название зрительного цикла в палочках (рис. 1.105).

О зрительном цикле в колбочках известно меньше, полагают, что в нем принимают участие как клетки РПЭ, так и клетки Мюллера для интенсификации процесса регенерации хромофора. Клетки Мюллера преобразуют полностью транс-ретинол в 11-цис-ретиналь, который поступает в колбочки и там превращается в 11-цис-ретиналь [1.209].

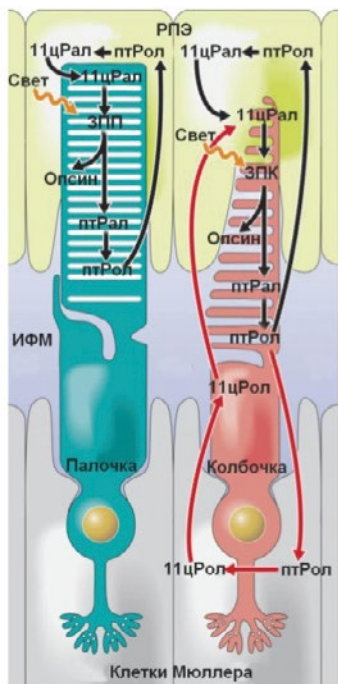


Рис. 1.105. Схема зрительных циклов в палочке и колбочке: 11цРал – 11-цис-ретиноль, 11цРол – 11-цис-ретинол, птРол – полностью транс-ретинол, птРал – полностью транс-ретиноль, ЗПП – зрительный пигмент палочек, ЗПК – зрительный пигмент колбочек, ИФМ – интерфоторецепторный матрикс [1.209]

4. Фагоцитоз. Одной из основных функций клеток РПЭ является фагоцитоз наружных сегментов фоторецепторов, что способствует обновлению последних. Присутствие эффективно поглощающих свет фотосенсибилизаторов, достаточно высокое парциальное давление кислорода, наличие легко окисляющихся субстратов в составе фоторецепторных мембран (полиненасыщенных жирных кислот) создает постоянную угрозу фотоповреждения для зрительных клеток. Эта проблема решается путем обновления светочувствительных наружных сегментов фоторецепторов. В базальных частях наружных сегментов постоянно образуются новые фоторецепторные диски, а в апикальных – отделяются пакки «старых» дисков (верхушка наружного сегмента). Эти «обломки» поглощаются клетками РПЭ, являющимися одними из самых активных фагоцитирующих клеток в организме. Каждая клетка РПЭ контактирует в среднем с 30–50 фоторецепторами, и 10–15% объема каждого наружного сегмента фагоцитируется и обновляется ежедневно [1.207]. Процесс фагоцитоза зависит от суточного цикла [1.207]. Например, пик обновления фоторецепторных дисков палочек, сопровождаемый увеличением количества фагосом в прилежащих клетках РПЭ, отмечается в утренние часы при интенсивном освещении. Несмотря на различия в строении фоторецепторных дисков, клетки РПЭ отщепляют наружные сегменты колбочек таким же образом, как и палочек, но только в другое время суточного цикла – после прекращения освещения. В последнее время

показано, что в регуляции фагоцитоза наружных сегментов фоторецепторов участвуют главным образом три рецептора клеток РПЭ: $\alpha V\beta 5$ интегрин (узнавание и связывание наружных сегментов фоторецепторов), тирозинкиназа MerTK (активация фагоцитоза), макрофагальный рецептор CD 36 (захват и поглощение клетками РПЭ наружных сегментов фоторецепторов) [1.207].

Клетки РПЭ обладают хорошо развитой фаголизосомальной системой, обеспечивающей эффективное переваривание фагоцитированных наружных сегментов фоторецепторов. Лизосомы РПЭ очень богаты гидролитическими ферментами, обеспечивающими деградацию фагоцитированных фрагментов фоторецепторов: содержат катепсины (D, B), α -маннозидазу, кислую фосфатазу, кислую липазу, α -фукозидазу, галактозидазы (α , β), глюкозидазы (α , β), фосфолипазы (A1, A2). В цитоплазме клеток РПЭ фагосомы поэтапно сливаются с компонентами эндо-лизосомного компартмента и, в конечном итоге, становятся фаголизосомами [1.210].

5. Секреция. Клетки РПЭ секретируют множество факторов и сигнальных молекул, необходимых для взаимодействия с соседними клетками и поддержания их жизнедеятельности. Среди них – мукополисахариды, АТФ, Fas-лиганд (FasL), факторы роста фибробластов (FGF-1, FGF-2 и FGF-5), трансформирующий фактор роста β (TGF- β), инсулиноподобный фактор роста-I (IGF I), цилиарный нейротрофический фактор (CNTF), тромбоцитарный фактор роста (PDGF), фактор роста эндотелия сосудов (VEGF), фактор роста эпителия хрусталика (LEDGF), члены семейства интерлейкинов (IL-6, IL-8), фактор пигментного эпителия (PEDF) и тканевые ингибиторы матриксных металлопротеиназ (TIMP-1, TIMP-3) (Strauss, 2005). В норме некоторые из этих факторов секретируются постоянно и помогают поддерживать структурную целостность прилежащих тканей. Так, PEDF секретируется на апикальной стороне клеток РПЭ и служит для стабилизации фоторецепторов путем предотвращения апоптоза [1.207, 1.211].

VEGF секретируется на базолатеральной стороне клеток РПЭ, стимулируя рост сосудов и регулируя проницаемость эндотелиальных клеток хориокапилляров [16, 1.207]. TGF β стимулирует воспаление и вместе с TIMP регулирует синтез и обновление внеклеточного матрикса. Секреция других ростовых факторов (например, bFGF и CNTF) активируется, когда сетчатка или РПЭ подвергаются патологическому воздействию (например, гипоксии) [1.207]. Главным регулятором секреторной активности РПЭ является увеличение внутриклеточного кальция, содержание которого растет благодаря работе различных Ca^{2+} каналов (L-типа, CaV1.3, TRPV2) [1.207].

6. Иммунологическая защита. Клетки РПЭ необходимы и для создания иммунологической привилегированности глаза. Во-первых, РПЭ является механическим барьером, отделяющим внутреннее пространство глаза от кровеносной системы. Во-вторых, РПЭ взаимодействует с клетками иммунной системы, подавляя иммунные реакции в здоровом глазу или активируя их в случае болезни. Для этих целей РПЭ секретирует иммуномодуляторы, такие как интерлейкины (IL-8), факторы комплемента (CFH) или моноцитарный хемотаксический протеин-1 (MCP1). РПЭ способен также взаимодействовать с различными факторами иммунного сигнального каскада, экспрессируя соответствующие им рецепторы, такие как рецепторы

главного комплекса гистосовместимости (МНС), толл-подобные рецепторы (TLR), рецепторы фактора некроза опухоли α (TNF- α) [1.207].

На рис. 1.106 приведены ионные каналы и транспортеры в пигментном эпителии сетчатки.

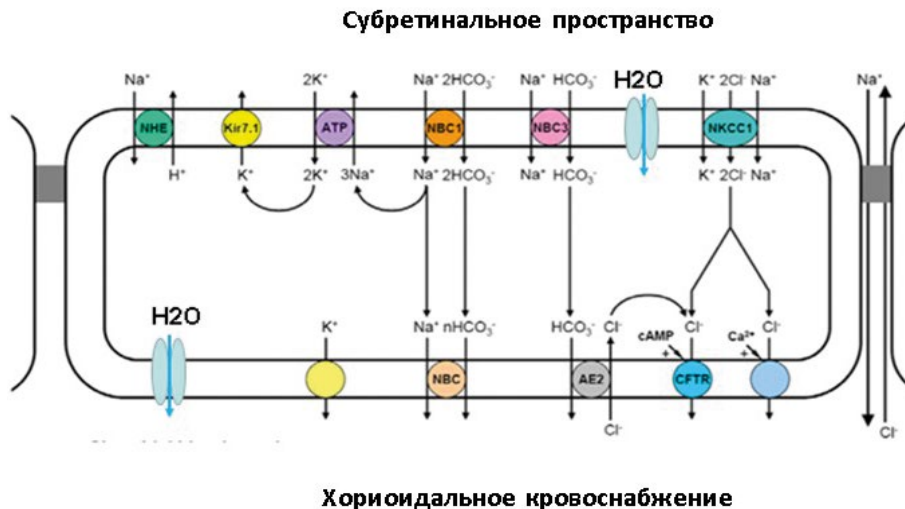


Рис. 1.106. Ионные каналы и транспортеры в пигментном эпителии сетчатки [1.212]

Приведенная выше схема РПЭ иллюстрирует тесную взаимосвязь кровеносной системы, клеток сетчатки и света между собой. Она базируется на комплексе вещественного и энергоинформационного обмена в этой сложной системе. Фотоны света через оптическую систему глаза поступают на сетчатку. В светочувствительных клетках они преобразуются в электрические импульсы, которые попадают в соответствующие разделы мозга человека. В дальнейшей переработке зрительной информации у человека участвуют свыше тридцати отделов мозга, представляющих вторичные сенсорные и ассоциативные области коры. Такой подход позволяет не только определить уровни защиты в структуре глаза, но и увязать их с системами защиты организма человека в целом. Через кровеносную систему поток питательных веществ через систему астроцитов, клетки Мюллера попадает в клетки глаза, обеспечивая нормальное функционирование зрительного анализатора. Например, витамин А, попадая в сетчатку и встретившись со световым потоком длиной волн 380, 480, 500 и 530 нм, инициирует синтез зрительного пигмента в сетчатке. Необходимо отметить, в спектре светодиодного света нет 380 нм и провал на 480 нм. Отсюда возникает проблема обновления родопсина при светодиодном освещении (дома, в школе, на спортивной площадке, в транспорте, на улице).

Это наглядное указание для гигиениста, что для нормальной работы зрительного анализатора необходим поток нужных веществ и полноспектрный свет (солнечный свет) в диапазоне от 380 до 700 нм для эффективной защиты структур глаза от фотоповреждений.

Фотоповреждения случаются, когда система не справляется с утилизацией продуктов фотохимических реакций. При гигиенически безопасном уровне солнечного света все элементы защиты глаза работают адекватно, но при повышенной дозе солнечного света или искусственном свете эта адекватность может быть нарушена из-за неоптимальной работы системы защиты.

Человек из полного спектра солнечного излучения видит только 40% – это наиболее информативная часть из всего спектра солнечного излучения, а остальная часть может представлять опасность для сетчатки глаза (рис. 1.107).



Рис. 1.107. Спектр солнечного света и опасные области для глаза человека

УФ-часть спектра и синий свет с длиной волны 400–500 нм обладают большой энергией и увеличивают риски фотоповреждения сетчатки глаз при определенном состоянии ее антиоксидантной защиты и системы утилизации продуктов взаимодействия. По мере продвижения света от роговицы к сетчатке природа построила многоуровневую защиту глаза от негативного влияния частей солнечного спектра. Элементы такой защиты размещены в соответствующих областях глаза. Наиболее общий механизм защиты от света – это поглощение его фотонов. Основной закон фотохимии и фотобиологии гласит, что действует только тот свет, который поглощается. В живых клетках, не содержащих хлорофилл, УФ-излучение поглощается в основном нуклеиновыми кислотами и белками, в меньшей степени коферментами, гормонами и пигментами. Фотоны могут взаимодействовать с молекулами вещества, при этом они исчезают, передавая свою энергию электронам молекул кислорода. Активные формы кислорода образуются во многих клетках глаза в результате последовательного одноэлектронного присоединения 4 электронов к 1 молекуле кислорода. Витамин С, будучи водорастворимым витамином и сильным восстановителем, взаимодействует с водорастворимыми активными формами кислорода O_2^- , H_2O_2 , OH и инактивирует их. Конечный продукт этих реакций – вода и опять кислород. С точки зрения гигиениста, для обеспечения эффективной УФ-защиты очень важно поддерживать баланс кислорода, витамина С, ионов металлов супероксиддисмутазы (СОД) и поглощенного количества фотонов УФ-спектра и синей его части. Исходя из принципа минимаксной стратегии и оптимальной достаточности,

нужно помнить, что АФК в определенной дозе необходимы для функционирования биохимических процессов в тканях глаза. Оптимально достаточный уровень АФК обеспечивается:

- потоком синего света, отвечающего критерию кривой Арндта-Шульца;
- эффективностью потока кислорода, антиоксидантов.

В молекулярном масштабе энергия фотонов довольно значительна: так, энергия кванта видимого света с длиной волны 500 нм равна 2,48 эВ, что в десять раз превышает энергию синтеза аденозинтрифосфата (АТФ), играющую исключительно важную роль в обмене энергии и веществ в организмах; в первую очередь как универсальный источник энергии для всех биохимических процессов. АТФ был открыт в 1929 году группой ученых Гарвардской медицинской школы – Карлом Ломаном, Сайрусом Фиске и Йеллапрагадой Суббарао, а в 1941 году Фриц Липман показал, что АТФ является основным переносчиком энергии в клетке.

Эффективность работы АТФ в значительной степени зависит от вязкости воды в нанобъемах окружающих мотор АТФ. При синем свете увеличивается количество активных форм кислорода, что увеличивает вязкость воды. При красном свете она уменьшается и увеличивается производительность АТФ.

Энергия ультрафиолетового кванта и информация об энергии фотонов видимой части спектра света приведена в таблице.

Таблица 1.5

Энергии фотонов видимой части спектра света

Интервал длин волн, нм	Цвет	Энергия середины интервала, эВ
380–490	Фиолетовый Синий	3,03 2,68
490–510	Сине-зеленый (голубой)	2,48
510–550	Зеленый	2,34
550–590	Желтый	2,17
590–630	Оранжевый	2,03
630–760	Красный	1,78

Для защиты от фотонов с высокой энергией природа выбрала метод поглощения энергии фотона и передачи ее электронам, которые побуждают новые реакции и процессы. Процессы при поглощении фотона связаны с электронными переходами в молекуле. Электроны в молекуле могут иметь лишь определенные значения энергии, которые принято изображать в виде энергетических уровней. Это хорошо видно на диаграмме Яблонского (рис. 1.108).

При поглощении кванта света электрон с верхнего заполненного уровня переходит на один из свободных уровней. Такая молекула, поглотившая фотон, называется электронно-возбужденной. Поглощенная энергия может дать начало фотохимическим реакциям и фотобиологическим процессам (рис. 1.109).

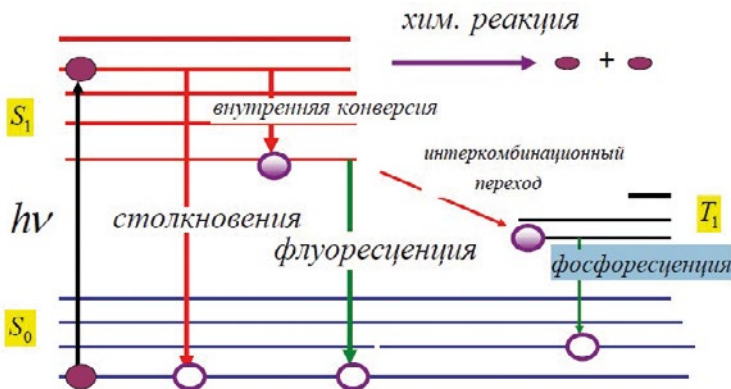


Рис. 1.108. Диаграмма Яблонского, на которой красными стрелками помечены безизлучательные процессы. Зелеными стрелками обозначены переходы, при которых система испускает квант света

За поглощение света в ультрафиолетовой и видимой областях спектра ответственны определенные хромофорные группы, входящие в состав сложных молекул. Обычно они имеют систему сопряженных двойных связей (часто циклические, ароматические системы). Хромофоры поглощают свет в видимой области, возбуждая л-электроны своих кратных связей. Так, карбонильная группа $C=O$ является хромофором, поглощающим в области 280 нм.

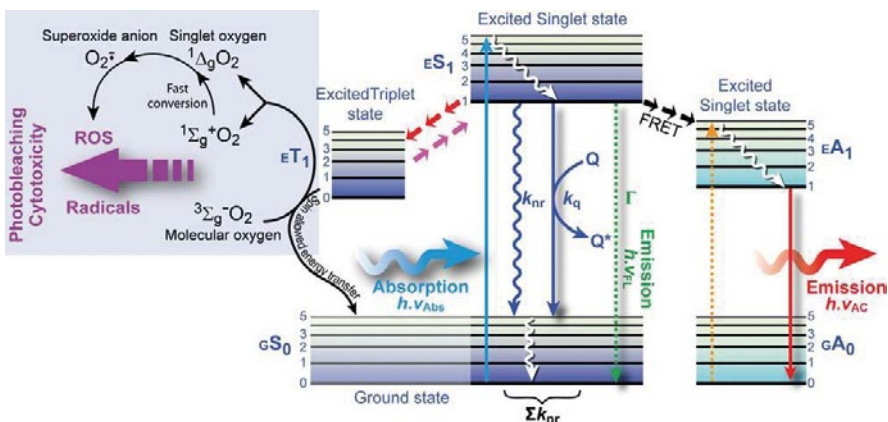


Рис. 1.109. Общая схема поглощения фотона при защите от солнечного света

Наиболее значимые для структур глаза полосы поглощения биологических макромолекул:

1. $\lambda \approx 190$ нм – пептидные связи белковой молекулы (интенсивность полосы увеличивается при нарушении пространственной организации молекулы);
2. $\lambda \approx 255-280$ нм – серосодержащие аминокислоты (таурин (антиоксидант), цистин, цистеин, метионин);

3. $\lambda \approx 260$ нм – пуриновые и пиримидиновые основания нуклеотидов;
4. $\lambda \approx 280$ нм – ароматические аминокислоты (триптофан, фенилаланин, тирозин);
5. $\lambda \approx 412\text{--}414$ нм (полоса Соре) – порфиринсодержащие соединения (*гемоглобин*);

Гемоглобин. Гемоглобин присутствует в равновесии с оксигемоглобином при любых парциальных давлениях кислорода. Больше всего его в венозной крови, где парциальное давление кислорода мало. Гемоглобин можно получить восстановлением оксигемоглобина гидразином, гидросульфитом натрия и некоторыми другими восстановителями, а также эвакуацией крови или растворов оксигемоглобина.

Гемоглобин легко обнаруживается с помощью спектроскопа по широкой полосе поглощения в зеленой области спектра. В видимой области спектра гемоглобин имеет две полосы с максимумами поглощения при 555 нм и 430 нм. Последняя полоса носит название полосы Соре.

Оксигемоглобин. Оксигемоглобин образуется при присоединении молекулярного кислорода к железу гема. Состояние окисления железа при этом не изменяется, и железо остается закисным. В видимой области спектра оксигемоглобин характеризуется тремя полосами поглощения – 576, 540 и 414 нм (полоса Соре). Миллимолярные коэффициенты поглощения из расчета на один гем равны, соответственно, 15,34, 14,5 и 125. С помощью спектроскопа оксигемоглобин легко узнать по двум четким полосам в зеленой области спектра. При этом полоса, расположенная ближе к красной области спектра, уже и более интенсивна.

6. $\lambda \approx 500$ нм – комплекс ретиналя и опсина (зрительный пигмент родопсин).

Рассеивание энергии поглощенных фотонов осуществляется фотолюминесценцией. Согласно закону Вавилова: квантовый выход фотолюминесценции постоянен в широкой области длин волн возбуждающего света, следовательно, определяется природой вещества. Так, квантовый выход флуоресценции триптофана $\approx 0,17$ (в составе белков от 0,02 до 0,4); тирозина $\approx 0,2$; фенилаланина $\approx 0,04$; ДНК $\approx 10^{-4}$ [1.213].

Для дальнейшего понимания адекватности работы механизмов защиты в условиях освещения искусственными источниками света следует рассмотреть основные положения указанных выше естественных механизмов защиты глаз от солнечного света.

Как видно из представленных данных, основная нагрузка по спектру UVC, UVB и UVA приходится на роговицу и хрусталик. Коллагеновые волокна, из которых состоят роговичные пластинки, обеспечивающие ее прозрачность, обладают двойным лучепреломлением. С возрастом и при различных заболеваниях **поляризация** роговицы уменьшается.

В хрусталике двойное лучепреломление, напротив, появляется только при его помутнении. В норме двойным лучепреломлением обладает также сетчатка. Эти свойства глазных сред используются как при исследовании функции зрения, так и при осмотре структуры глазного дна. Коллагеновые волокна обладают двойным лучепреломлением [1.214].

Природа построила многокаскадную систему защиты сетчатки от синего света. На каждом уровне спектр света преобразуется для обеспечения комфортного нахождения человека в солнечной световой среде. Преобразованный световой поток через стекловидное тело попадает на поверхность сетчатки. Основным элементом защиты от UV являются хромофоры. Чем короче длина молекулы хромофора, тем выше длина волны UV, пропускаемая к сетчатке. На каждом уровне защиты применяются свои хромофоры, сложность молекул которых увеличивается. Защита от синего излучения формируется по мере роста человека. Особенно подвержены воздействию синего света глаза детей. Это обусловлено тем, что детские хрусталики примерно в 5 раз прозрачнее для фототоксичного синего света, чем хрусталики взрослых людей. Даже при обычном освещении к 10 десяти годам у детей в их ретиальном пигментном эпителии накапливается примерно 50% вредного фототоксичного пигмента старости липофусцина, и соответственно, к старости они получают возрастную макулярную дегенерацию сетчатки, т. е. необратимую слепоту. Электромагнитное излучение 460 нм достигает сетчатки в пожилом возрасте в 40% случаев, у человека старше 10 лет – в 60%, и у детей младше 10 лет – в 65%.

Взаимодействие между светом различных длин волн и структур глаза и возможные последствия представлены в таблице 1.6.

Таблица 1.6

Взаимодействие света с тканями глаза и хромофорами

Ткани\молекулы	Длина волны (nm)	Механизм	Последствия
Роговица	<300 и >800	Рассеивание тепла	Кератит, кератопатия
Радужная оболочка глаза	Melanin: 380–700	Рассеивание тепла	
Хрусталик	Пик на 365 на 8 лет Пик на 459 на 65 лет	Рассеивание тепла	Катаракта
Сетчатка	400–700 Rhodopsin: 507 SWS: 450 MWS: 530 LWS: 580	Фотохимическое повреждение Тип 1: макс на 507nm Тип 2: макс на более короткие длины волн	Солнечный ретинит Макулопатия Обострение ретинопатии
Пигментный эпителий сетчатки	Меланин: 380–700	Рассеивание тепла	Потенцирование токсичности липофусцина (melanolipofuscin)
Липофусцин	355–450 A2E: 430–440	Фотодинамический эффект токсичности сетчатки	Солнечный ретинит
Ксантофилловые (желтые) пигменты	Лютеин 446 Ксантин 455 Зеаксантин 480	Рассеивание тепла	Снижение токсичности от воздействия синего света Защищает от AMD

Примечания:

RPE – пигментный эпителий сетчатки;

SWS – коротковолновые чувствительные колбочки (синие);

MWS – чувствительные колбочки средних волн (зеленые);

LWS – длинноволновые чувствительные колбочки (красный);

AMD – возрастная макулярная дегенерация.

При оценке защиты от «негативного» влияния дозы солнечного света очень важно учитывать, насколько эффективно и гармонично работают системы преобразования УФ части спектра и антиоксидантная защита клеток, а также насколько эффективно они снабжаются необходимыми полезными веществами, витаминами, ионами меди железа и кислородом. В своей работе «Фотобиологические парадоксы зрения» М. А. Островский говорит, что антиоксиданты – линия защиты от фотоповреждений. Речь идет о торможении процессов свободно-радикального фотосенсибилизированного окисления. В эту систему входят витамины Е (α -токоферол), витамин С (аскорбиновая кислота), таурин и набор антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутаза, пероксидаза, каталаза).

1.8.5. Витамины, обладающие антиоксидантным действием

Витамин Е (α -токоферол) – наиболее распространённый антиоксидант в природе – является липофильной молекулой, способной инактивировать свободные радикалы непосредственно в гидрофобном слое мембран и, таким образом, предотвращать развитие цепи перекисного окисления. Различают 8 типов токоферолов, но наиболее активен α -токоферол. Витамин Е отдает атом водорода свободному радикалу пероксида липида ($\text{ROO}\cdot$), восстанавливая его до гидропероксида (ROOH) и, таким образом, останавливает развитие перекисного окисления липидов (ПОЛ).

Свободный радикал витамина Е, образовавшийся в результате реакции, стабилен и не способен участвовать в развитии цепи. В то же время радикал витамина Е непосредственно взаимодействует с радикалами липидных перекисей, восстанавливая их, а сам превращается в стабильную окисленную форму – токоферолхинон.

Витамин С (аскорбиновая кислота) также является антиоксидантом и участвует с помощью двух различных механизмов в ингибировании ПОЛ.

Во-первых, витамин С восстанавливает окисленную форму витамина Е и, таким образом, поддерживает необходимую концентрацию этого антиоксиданта непосредственно в мембранах клеток.

Во-вторых, витамин С, будучи водорастворимым витамином и сильным восстановителем, взаимодействует с водорастворимыми активными формами кислорода – O_2^- , H_2O_2 , OH и инактивирует их. Диета, обогащенная витаминами Е, С, подавляет развитие катаракты – помутнение хрусталика глаза, обладает антиканцерогенным действием. Имеется много доказательств в пользу того, что положительное действие этих компонентов пищи связано с ингибированием ПОЛ и других молекул и, следовательно, с поддержанием нормальной структуры компонентов клеток. Из анализа оптической схемы глаза видно, что свет, попадая на неуправляемую роговицу (первый уровень УФ-защиты), проходит на хрусталик глаза (второй уровень УФ-защиты). Но при этом уровень светового потока ограничивается зрачком. Он же ограничивает уровень световой энергии, поступающей на сетчатку глаза. При солнечном свете зрачок управляется адекватно, так как законы его управления сформировались в этих условиях среды обитания человека.

Витамин А участвует в окислительно-восстановительных процессах, регуляции синтеза белков, способствует нормальному обмену веществ, функ-

ции клеточных и субклеточных мембран, играет важную роль в формировании костей и зубов, а также жировых отложений; необходим для роста новых клеток, замедляет процесс старения.

Витамин А поддерживает ночное зрение путём образования пигмента, называемого родопсин, способного улавливать минимальный свет, что очень важно для ночного зрения. Он также способствует увлажнению глаз, особенно уголков, предохраняя их от пересыхания и последующего травмирования роговицы.

На рис. 1.110 представлен путь движения витамина из кровеносной системы и его преобразования в родопсин.

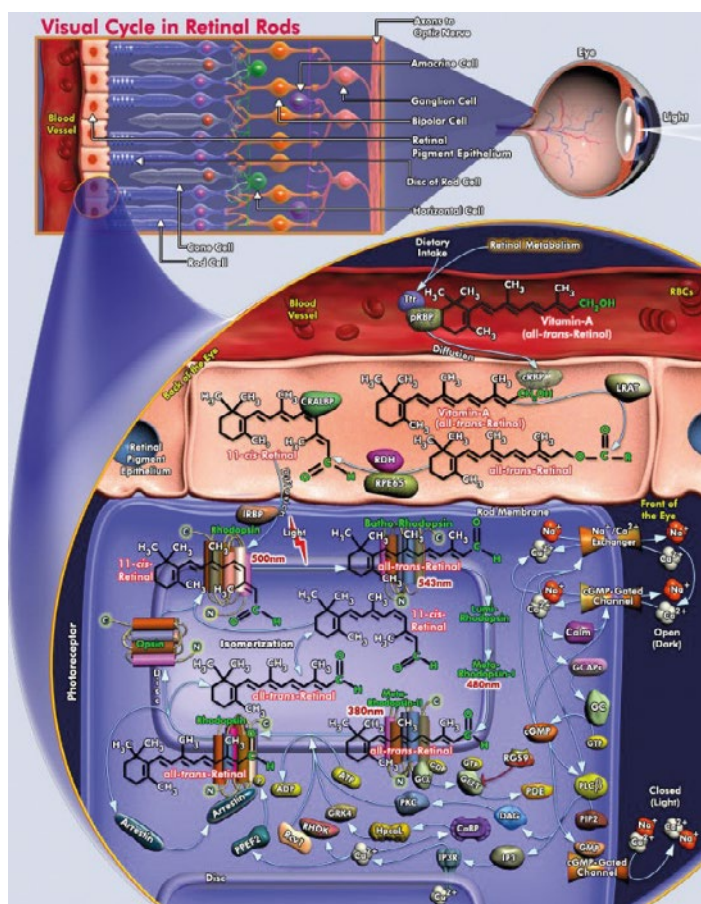


Рис. 1.110. Общая схема преобразования витамина А в светочувствительный пигмент (<https://www.qiagen.com/us/shop/genes-and-pathways/pathway-details/?pwid>)

Для преобразования витамина А в светочувствительный пигмент в спектре света должны присутствовать 380, 480, 497, 500 и 543 nm.

Витамин А в форме ретиналя играет важную роль в зрении. 11-Цис-ретиналь связывается с белками опсинами, образуя пигменты пурпурно-красного цвета. Родопсин или один из трех видов йодопсинов – основные зритель-

ные пигменты, участвующие в создании зрительного сигнала. Механизм образования зрительного сигнала (на примере родопсина) таков [1.215].

Квант света стимулирует родопсин. Абсорбция света родопсином изомеризует 11-цис-связь в ретинале в транс-связь. Эта транс-структура называется батородопсином (активированным родопсином). Транс-ретиаль имеет бледно-желтый оттенок, поэтому при освещении родопсин обесцвечивается.

При освобождении протона из батородопсина образуется метародопсин, гидролитический распад которого даёт опсин и транс-ретиаль. Фотохимическая цепь в батородопсине служит для активации G-белка, называемого трансдуцином. Трансдуцин активируется гуанозинтрифосфатом (ГТФ). Комплекс трансдуцин – ГДФ активирует специфическую фосфодиэстеразу, которая расщепляет цГМФ.

Падение внутриклеточной концентрации цГМФ вызывает каскад событий, приводящих к генерации зрительного сигнала: перекрытие цГМФ-зависимых Na^+ и Ca^{2+} каналов → деполаризация мембраны → возникновение нервного импульса → преобразование импульса в зрительное восприятие в мозге.

Более подробно цикл превращений родопсина в сетчатке глаза на свету и в темноте можно представить в виде схемы:



Таким образом, под действием кванта света родопсин через ряд промежуточных продуктов («оранжевый» и «желтый» белки) распадается на опсин и алло-транс-ретиаль представляющий собой неактивную форму альдегида витамина А. Имеются сведения, что алло-транс-ретиаль может частично превращаться в активный 11-цис-ретиаль под влиянием света (на схеме – пунктирная стрелка). Однако главным путем образования 11-цис-ретиналя является ферментативное превращение транс-формы витамина А в цис-форму (под действием изомеразы) и последующее окисление ее при участии алкогольдегидрогеназы. Следует отметить что подобные зрительные циклы имеют место как в палочках, так и в колбочках. Доказано, что сетчатка содержит 3 типа клеток-колбочек, каждый из которых наделен одним из трех цветочувствительных пигментов, поглощающих синий, зеленый и красный

свет, соответственно, при 430, 540 и 575 нм. Оказалось что все 3 пигмента, получившие название йодопсинов, также содержат 11-цис-ретиноаль, но различаются по природе опсина (колбочные типы опсина). Некоторые формы цветовой слепоты (дальтонизм) вызваны врожденным отсутствием синтеза одного из 3 типов опсина в колбочках или синтезом дефектного опсина (люди не различают красный или зеленый цвет).

Световая зрительная нагрузка генерирует транс-ретинол.

Рост глазного яблока находится под контролем не только регуляторных механизмов, единых для всех органов, но также определяется и вкладом зрительного восприятия. Данный факт явился основой для изучения ретиноевой кислоты как регулятора роста глазного яблока в экспериментах *in vitro* и *in vivo*. Результаты исследования на цыплятах показали, **что различные ткани глазного яблока способны синтезировать ретиноевую кислоту**. Так, при депривации и ношении отрицательных линз синтез ретиноевой кислоты хориоидеей уменьшается и увеличивается при ношении положительных линз. ***Сетчатка и пигментный эпителий также продуцируют ретиноевую кислоту, но в меньших количествах.*** Результаты экспериментальных исследований показали, что различные ткани глазного яблока (хориоидея, пигментный эпителий сетчатки) способны синтезировать ретиноевую кислоту, и она участвует в регуляции роста глазного яблока. Концентрация ретиноевой кислоты в организме должна поддерживаться на строго определенном уровне. Избыток ретиноевых кислот способен ингибировать синтез склеральных протеогликанов. Торможение синтеза протеогликанов ослабляет склеру и создает структурную основу для возникновения миопии [1.216, 1.217]

При приеме ретиноевой кислоты внутрь у цыплят отмечено удлинение глазного яблока [1.218, 1.219, 1.220].

У обезьян при создании депривационной миопии содержание ретиноевой кислоты напрямую коррелировало с удлинением глаза, отмечено увеличение синтеза ретиноевой кислоты в сетчатке, хориоидее, пигментном эпителии сетчатки [1.221, 1.218].

При изучении культуры клеток фибробластов склеры человека обнаружено 6 типов рецепторов к ретиноевой кислоте (RAR alpha, RAR beta, RAR gamma, RXR alpha, RXR beta, and RXR gamma) [1.222, 1.223].

Некоторые исследователи рассматривают ген рецептора RAR alpha как потенциальный ген развития миопии [1.224, 1.225, 1.226].

По данным литературы, действие ретиноевой кислоты приводит к изменению пролиферативной активности фибробластов склеры [1.227].

Так, в результате исследования [1.227] выявлено, что при экзогенном действии ретиноевой кислоты *in vitro* пролиферативная активность фибробластов склеры человека снижается. Однако в литературе описаны и противоположные результаты при изучении действия ретинола и ретиноевой кислоты на фибробласты склеры кролика: данные вещества в нетоксичной дозе усиливают пролиферацию и миграцию фибробластов теноновой капсулы склеры кроликов и уменьшают плотность экстрацеллюлярного матрикса. Возможным объяснением подобных расхождений в результатах может быть зависимость эффектов ретиноевой кислоты на фибробласты от природы ткани [1.227]. Точный механизм действия ретиноевой кисло-

ты на пролиферацию фибробластов склеры до конца не известен. Однако ряд исследователей предполагает, что в основе изменения пролиферативной активности под действием ретиноевой кислоты лежит усиление экспрессии белка фибулина-1. Фибулин-1 создает межмолекулярные связи, стабилизирующие структуру экстрацеллюлярного матрикса, а также определяет пролиферацию, миграцию и дифференцировку различных клеток, в частности склеры. Данные по изучению ретиноевой кислоты на рост глазного яблока можно использовать для разработки методов лечения, направленных на уменьшение ее содержания в глазах миопов [1.228].

Дефицит витамина А, по оценкам, затрагивает примерно треть детей в возрасте до пяти лет во всем мире. Он уносит жизни 670 000 детей в возрасте до пяти лет в год [1.229]. Приблизительно 250 000–500 000 детей в развивающихся странах становятся слепыми каждый год в связи с дефицитом витамина А (в основном в Юго-Восточной Азии и Африке) [1.230].

Дефицит цинка также может ухудшать всасывание, транспорт и метаболизм витамина А, поскольку он необходим для синтеза транспортных белков и в качестве кофактора для превращения ретинола в ретиналь.

Из вышесказанного можно сформулировать следующие гипотезы:

– Чем больше клеток попадает в засветку, тем больше вырабатывается транс-ретинола. Величина засветки зависит от адекватности управления диаметром зрачка глаза.

– Чем больше фотонов попадает на сетчатку, тем больше вырабатывается транс-ретинола. Количество фотонов зависит от уровня освещенности сетчатки и спектра света (*«эффект избыточной дозы света»*).

– Чередование световой нагрузки и отдыха влияет на выработку транс-ретинола.

Вышеперечисленные гигиенические факторы и рост световой нагрузки обострили проблему дефицита витамина А [1.230].

1.8.6. Эффект «меланопсинового удержания при сужении зрачка» как защита глаза от избыточной энергии света



«Мы эволюционировали, чтобы быть защищенными от воздействия солнца, когда солнце находится высоко в небе – именно поэтому у наших глаз есть брови и надбровные дуги. Когда солнце находится низко, оно становится краснее», – сказал д-р Джон О'Хаган, руководитель дозиметрии лазерного и оптического излучения группы Агентства по охране здоровья Великобритании в Electronics Weekly.

Мы испытываем особенно сильную реакцию отвращения к ярко-голубым источникам, в том числе голубовато-белого света. «Зрачковый рефлекс реагирует на синюю часть спектра. От синего света приходит самый сильный сигнал к мышцам в радужной оболочке глаза, чтобы закрыть зрачок», – говорит д-р Sliney, эксперт армии США по физиологическим эффектам светодиодов, лазеров и других ярких источников света из Центра по укреплению здоровья и профилактической медицины в штате Мэриленд [1.232].

В современной световой среде тесно переплелись вопросы ее гигиены и возрастающие риски заболевания глаз от воздействия света от искусственных источников. Воздействие света на глаза зависит от величины диаметра зрачка и качества спектра света, который является программой управления функциональными структурами зрительного анализатора. Неадекватное программное управление биомеханической системой зрения человека повышает риски заболевания глаз.

Солнечный свет попадает на сетчатку через зрачок и управляет его размером через соответствующие ганглиозные клетки и разделы головного мозга. Человек обычно негативно реагирует на ярко-голубые источники света. В работе *Ensuring safety in LED lighting* [1.233] отмечается, что для защиты глаз очень важны ганглиозные клетки, которые могут удерживать зрачок маленьким. Палочки и колбочки могут сужать зрачок только кратковременно, затем он снова увеличивается в большую сторону в течение примерно 10 секунд. David H. Sliney отмечает, что размер зрачка на улице равен примерно 2 мм и поддерживается фоточувствительными ганглиозными клетками, а верхнее веко защищает расположенную ниже часть сетчатки [1.234].

В классической светотехнике ключевым моментом для зрачка глаза является его реакция на величину, пропорциональную количеству белого света, попадающего на сетчатку. Диаметр зрачка человека может изменяться от 1,1 до 8,0 мм. Одними из первых на изучение закономерностей изменения диаметра зрачка от освещенности глаза обратили внимание проектировщики оптических приборов различного назначения. При их использовании взгляд человека максимально ограничен в зрительном пространстве. Без понимания этих закономерностей трудно спроектировать качественный оптический прибор. В своих работах исследователи исходили из того, что зрачковый рефлекс может вызываться различными причинами, но прежде всего – изменением яркости фона. По мере увеличения яркости фона происходит уменьшение диаметра зрачка. В общем виде эта зависимость выражается формулой В. В. Мешкова [1.235]:

$$D_p = 5 - 3 \operatorname{th} (0,4 \lg L), \quad (1)$$

где D_p – диаметр зрачка глаза, мм; L – яркость фона, кд/м²; th – гиперболический тангенс.

Зависимость диаметра зрачка от яркости, рассчитанная по формуле (1), приведена на рис. 1.111 (кривая 1).

В результате проведенных исследований Н. И. Пинегин установил, что уменьшение углового размера поля при постоянной яркости приводит к увеличению зрачка [1.236, 1.237]. В работе Т. Н. Хацевича исследована зависимость диаметра зрачка глаза при наблюдении изображения на экране электронно-оптического преобразователя (ЭОП) в приборах ночного видения [1.236].

Особенности поля адаптации (экрана ЭОП), связанные с излучением люминофора, флуктуациями яркости на экране, наличием синтилляций, вызывают некоторое изменение зрачковой реакции в сторону увеличения зрачка. При этом зависимость диаметра зрачка от яркости экрана ЭОП выражается формулой

$$D_p = 5,5 - 1,5 \lg [0,5 \lg (0,06L)] \quad (2)$$

Формула справедлива при $104 \text{ кд/м} < L < 102 \text{ кд/м.}$, т. е. при реальных яркостях экрана ЭОП, который светится, как правило, зеленым светом [1.238].

Из анализа приведенных данных видно, что при *люминесцентном освещении* сетчатки меняются формулы подсчета диаметра зрачка глаза в сторону его увеличения [1.236].

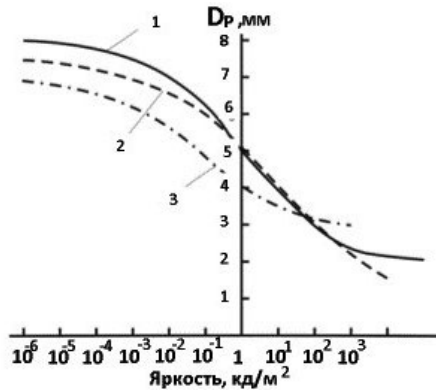


Рис. 1.111. Зависимость диаметра зрачка глаза от яркости фона. Штриховой линией обозначены зависимости, полученные Р. Ривсом (кривая 2) и Н. И. Пинегиним (кривая 3) [1.236]

На увеличение диаметра зрачка влияют не только вышеперечисленные факторы, но и наличие заболеваний глаз (рис. 1.112).

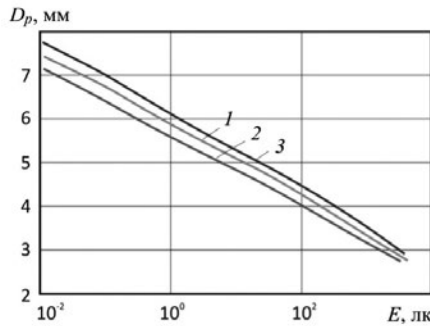


Рис. 1.112. Зависимость диаметра зрачка глаза от освещенности на зрачке: 1 – эмметропический глаз; 2 – гиперметропический глаз; 3 – миопический глаз

При миопии диаметр зрачка глаза больше, чем при нормальном зрении. Также диаметр зрачка зависит от состояния аккомодации и конвергенции, усиление которых влечет за собой сужение зрачка, их ослабление – расширение. Изменение возможно также при изменении только аккомодации или конвергенции [1.236]. По мере развития техники к специалистам по телескопам, светотехникам и разработчикам специальных оптических приборов подключились специалисты в области лазерной техники, отвечающие за фотобиологическую безопасность. Математические модели изменения

диаметра зрачка глаза человека интересовали отечественных светотехников при решении прикладных задач. А вопросы фотобиологической безопасности стали интересовать их только в настоящее время после массового внедрения светодиодного освещения. В основе нормативной документации по фотобиологической безопасности источников света лежат зарубежные работы по лазерной безопасности, в которых используются математические модели зависимости диаметра зрачка глаза от уровня освещенности, яркости, потока фотонов. Джон Маршалл, профессор офтальмологии Университетского колледжа Лондона, занимался проблемами зрения с 1965 г., когда он получил грант Королевских ВВС, изучая разрушительные эффекты воздействия лазеров на сетчатку. Он говорил, что в то время им нужно было иметь гораздо лучшее понимание того, как свет взаимодействует с сетчаткой и какие механизмы могут потенциально привести к повреждению глаза. Совместно с немецкими и американскими учеными он разработал базу данных, которая легла в основу международных кодексов практики для защиты людей от возможных разрушительных последствий лазеров. Результаты своих работ исследователь распространили на потенциальное губительное воздействие некогерентного света. Достижения авторов были включены в кодексы практики, используемые крупными международными организациями, такими как Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), экологические программы Организации Объединенных Наций и Международного Красного Креста [1.239].

Первые работы по лазерной безопасности позволили построить наглядные номограммы для сравнения различных источников света и областей безопасности (по доктору David H. Sliney). В этих номограммах особое место занимает диаметр зрачка, который полностью определяет проекцию предмета на сетчатку глаза. Также на представленной номограмме указаны области «синей опасности». Но время идет, наполняясь новыми открытиями и рождая новые определения норм в области фотобиологической безопасности. Например, в соответствии с ГОСТ IEC/TR 60825-9-2013 по безопасности лазерной аппаратуры, было введено понятие «максимально допустимая экспозиция» (МДЭ) (maximum permissible exposure (MPE)), которая при нормальных условиях не противоречит результатам появления биологических эффектов. Значение МДЭ зависит от длины волны излучения, длительности экспозиции, состояния ткани и размера места экспозиции. Для видимого и ближнего инфракрасного излучения в диапазоне от 380 до 1400 нм угловой размер источника определяет размер изображения на сетчатке, которое в значительной степени зависит от диаметра зрачка глаза. В данном ГОСТе определена «синяя опасность», максимально допустимая экспозиция которой оценивается применительно к глазу в диапазоне длин волн от 380 до 1400 нм и базируется на стандартном диаметре зрачка 7 мм для времени менее 0,5 с и 3 мм для времени более 0,5 с. В зависимости от яркости наблюдаемого светового поля диаметр зрачка варьирует между значением меньше, чем 2 мм, и больше, чем 7 мм, в зависимости от индивидуальных особенностей человека, предмета наблюдения, возраста. Формула может быть использована для расчета диаметра зрачка $d_{зр}$ (мм) от значения яркости L (кд/м) объекта наблюдения.

$$d_{\text{зр}} = 1,29 \text{ мм} + \frac{6,62 \text{ мм}}{1 + \left(\frac{L}{8,24 \text{ кД/м}^2} \right)^{0,32}}$$

Данная формула сложна для вычислений. Более наглядная зависимость диаметра зрачка от яркости приведена в ГОСТ ИЕС/TR 60825-9-2013 [1.240] (рис. 1.113).

Корректировка значений МДЭ в диапазоне длин волн от 380 до 1400 нм для времени <0,5 с в отношении к стандартному диаметру зрачка производится в пропорциональной зависимости от его площади. В случаях, когда источник излучения используется при разных условиях освещения (например, в течение дня, ночью), наиболее верным расчет безопасности излучения будет при диаметре зрачка 7 мм [1.240].

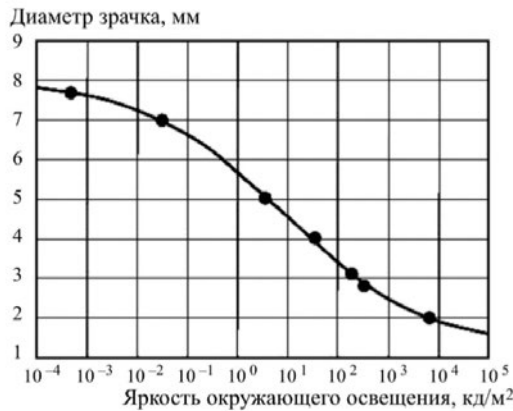


Рис. 1.113. Зависимость диаметра зрачка от яркости наблюдаемого поля в соответствии с ГОСТ ИЕС/TR 60825-9-2013 [1.240]

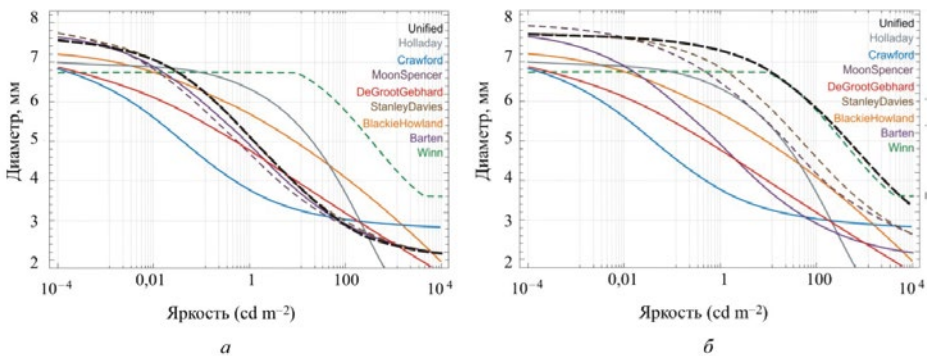


Рис. 1.114. Диаметр зрачка по нескольким формулам: а – диаметр поля 60°, бинокулярный просмотр; б – диаметр поля 10°, просмотр монокулярный. Пунктирные кривые показывают формулы, которые зависят от размера поля адаптации, возраста наблюдателя или бинокулярности. Для обеих фигур возраст волонтеров – 30 лет

Во вновь разработанном ГОСТ Р МЭК 62471–2013 «Лампы и ламповые системы. Светобиологическая безопасность» [1.241] такого примечания нет. При этом следует отметить, что в нормативном документе ГОСТ IEC/TR 60825-9-2013 применяется математическая модель зависимости диаметра зрачка от яркости наблюдаемого поля в соответствии с P. Reeves, JOSA 4, 35–43 (1920), а это модели диаметра зрачка, разработанные до 1920 г. В работе А. В. Watson и J. I. Yellott – специалисты Исследовательского центра NASA и Отдела когнитивных наук Университета Калифорнии – для своих целей обобщили ранее разработанные математические модели зависимости диаметра зрачка от яркости [1.242].

Они разработали новую единую формулу, которая включала в себя эффекты яркости, размер адаптирующего поля, возраст наблюдателя. Эти исследователи рассмотрели следующие модели: Holladay (1926); Crawford (1936); Moon and Spencer (1944); De Groot and Gebhard (1952); Winn, Whitaker, Elliott, and Phillips (1994); Stanley and Davies (1995); Barten (1999) и Blackie and Howland (1999). Обобщенные результаты приведены на рис. 1.114.

Такое многообразие математических моделей зависимостей диаметра зрачка от яркости и других факторов говорит о том, что модели построены в условиях высокой степени неопределенности знаний о функционировании биомеханической системы управления зрачком глаза в условиях современной световой среды. Степень неопределенности уменьшается по мере появления новых открытий в области функционирования клеток глаза и их увязки в биомеханическую систему управления диаметром зрачка глаза. Эта система действует по законам функциональной системы П. К. Анохина. Он говорил: «...поиски “системы” как более высокого и общего для многих явлений принципа функционирования могут дать значительно больше, чем только одни аналитические методы при изучении частных процессов». В 1964 г. основатель кибернетики Н. Винер утверждал: «Главные проблемы биологии...связаны с системами и их организацией во времени и пространстве». Эти положения явились методической основой анализа работы зрительного анализатора в условиях современной световой среды, которая по форме спектра отличается от солнечного света при заданном уровне освещенности. Более 150 лет ученые считали, что в глазу человека находятся только клетки фоторецепторов, палочки и колбочки, которые через зрительную кору головного мозга, взаимодействуя между собой, позволяют человеку накапливать визуальный опыт. Считалось, что только эти клетки, которые преобразуют спектр света в кодовые послания управляющих сигналов, обеспечивают информацией биомеханическую систему глаза для поддержания качества зрения в световой среде обитания. В 1991 г. были открыты особые светочувствительные ганглионарные клетки типа ipRGC (intrinsically photosensitive retinal ganglion cells), или mRGC (melanopsin-containing retinal ganglion cells) [1.243].

Они, в отличие от ранее известных ганглионарных клеток, содержат светочувствительный пигмент меланопсин, отличающийся от других фоточувствительных пигментов глаза: родопсина палочек и йодопсина колбочек, которые не умеют реагировать непосредственно на синий свет в области 480 нм. Эти светочувствительные ганглионарные клетки – новый, третий

тип фоторецепторов сетчатки глаза. В отличие от известных уже в течение 200 лет палочек и колбочек, они напрямую возбуждаются под действием света даже при блокировании «классических» фоторецепторов глаза [1.243].

В результате исследований, проведенных в различных медицинских центрах и университетах США и Англии, было установлено, что меланопсины имеют разные подтипы, обладающие индивидуальной световой чувствительностью. Фотоганглиозные клетки типа М являются предметом наиболее интенсивных исследований (рис. 1.115).

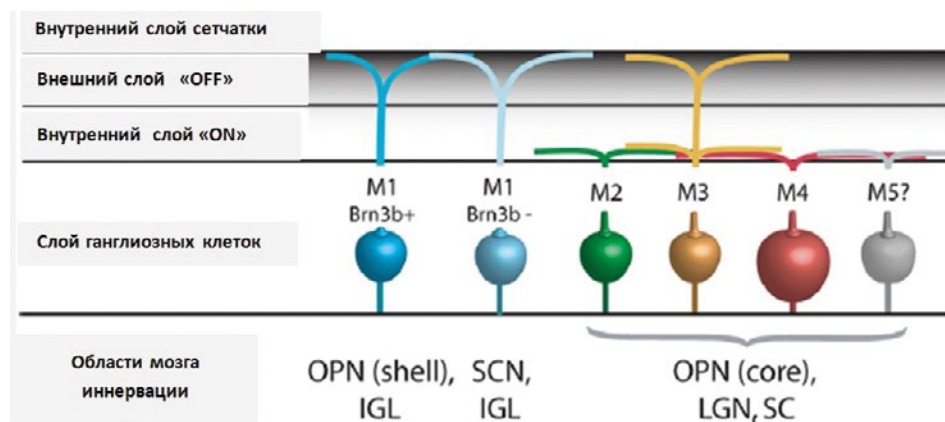


Рис. 1.115. Многообразие подтипов меланопсина ipRGC

Фотоганглиозные клетки являются предметом интенсивных исследований. Вещество, называемое меланопсин, вступает в реакцию в широком диапазоне цветов с пиками на 480 нм (вокруг провала между синей и зеленой областью чувствительности колбочек), а также может реагировать на другие чувствительные пики – 460 нм.

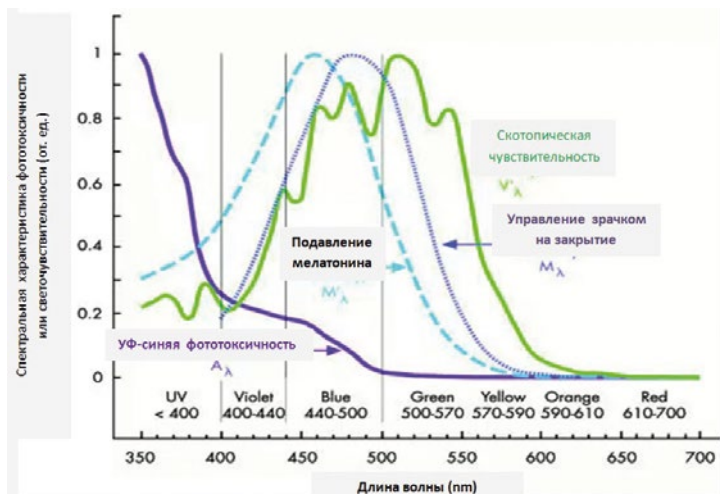


Рис. 1.116. Спектральная чувствительность меланопсина типа M1 [1.244]

Меланопсин подтипа М1 имеет два пика максимальной фоточувствительности к синему свету:

- М1 Brn^3b^- на 460 нм;
- М1 Brn^3b^+ на 480 нм.

В статье [1.243] показано, что по мере накопления информации уточняется общая форма кривых спектральной чувствительности меланопсина типа М1. Выявлено, что эффективность управления диаметром зрачка глаза на закрытие меланопсином М1 Brn^3b^+ определяется по форме кривой для зрячего и слепого человека.

Проведены также исследования изменений диаметра зрачка от степени возбуждения меланопсина [1.245].

У зрячих участников только высокая облученность светом 480 нм (более $> 11 \log$ фотоны $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$) вызывала значительно более устойчивую реакцию сужения зрачка во времени [1.243].

Зависимость диаметра зрачка от степени возбуждения меланопсина

Очень важным открытием для гигиенистов является тот факт, что меланопсин М1 Brn^3b^+ управляет закрытием зрачка в диапазоне уровней яркости, указанной на рис. 1.117.

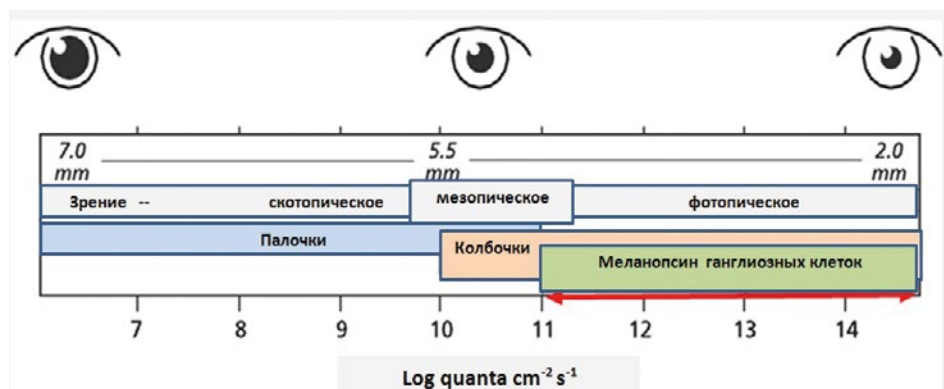


Рис. 1.117. Область яркости, в которой работает меланопсин М1 Brn^3b^+ [1.243]

Из этих данных видно, что меланопсин участвует в управлении диаметром зрачка глаза в широком диапазоне яркостей, который реагирует не только на количество света, но и на его спектральный состав. Управление закрытием зрачка имеет принципиальное значение для защиты глаза от избыточной мощности светового потока, который попадает на сетчатку глаза, а также для остроты зрения, адекватного восприятия цвета и работы механизмов аккомодации.

Неэффективное управление диаметром зрачка глаза на закрытие приводит к дисгармонизации в работе механизма аккомодации.

В настоящее время в мировых центрах развернуты широкомасштабные исследования по оценке влияния реакции зрительного анализатора человека и позвоночных на световые стимулы (синего, зеленого и красного света) [1.246, 1.247].

Для анализа реакции принят стандартный отклик (рис. 1.118).

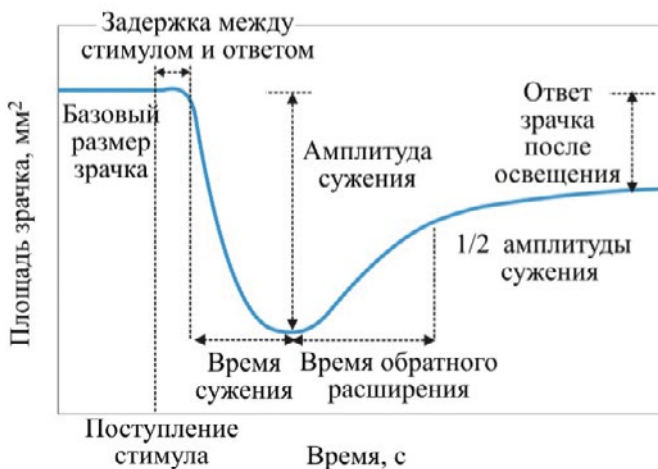


Рис. 1.118. Зависимость реакции зрачка на суживающий световой импульс [1.246]

Стандартный отклик характеризуется базовым размером зрачка (без светового стимула), амплитудой максимального сужения зрачка (при воздействии светового стимула) и ответом зрачка после освещения (post-illumination pupil response) PIPR. Именно показатель PIPR несет информацию об эффективности управления зрачком на сужение. Исследования светового рефлекса зрачка мышей, на которых обычно проводится масштабное изучение роли ганглиозных клеток в управлении зрачком при разных световых стимулах, показали, что при синем свете 480 нм зрачок сужается значительно больше, чем при красном световом стимуле [1.247]. Аналогичные исследования были проведены на двух группах волонтеров. В одной группе волонтеры имели хорошее зрение, а во второй — были слепыми [1.243]. Доказано, что при люминесцентном освещении 4000 К, при освещенности на роговице 135 люмен $1,14 \cdot 10^{14}$ (photons/cm²/s) и вычисленной облученности световых раздражителей сетчатки глаза — 0,54 мВт/см², диаметр зрачка равен 4,19 мм. Это свидетельствует о том, что освещение люминесцентной лампой при провале в спектре в области 480 нм оказывает комплексное воздействие. Эффект воздействия световых стимулов (синего 470 нм и зеленого 532 нм) и отдельно синего света на глаза волонтеров описывают в своей работе Soomin Lee et al. [1.248].

Результирующие отклики PIPR представлены на рис. 1.119.

Приведенная зависимость наглядно иллюстрирует, почему в фотооптических приборах ЭОП происходит увеличение диаметра зрачка. В настоящее время в исследованиях по оценке значения показателя PIPR используются источники синего и красного света с разными длинами волн, с учетом лекарственной стимуляции глаз. Так, для оценки показателя PIPR D. H. McDougal и P. D. R. Gamlin в своей работе применяли источники красного света длиной 613 нм и синего света длиной 493 нм (рис. 1.120).

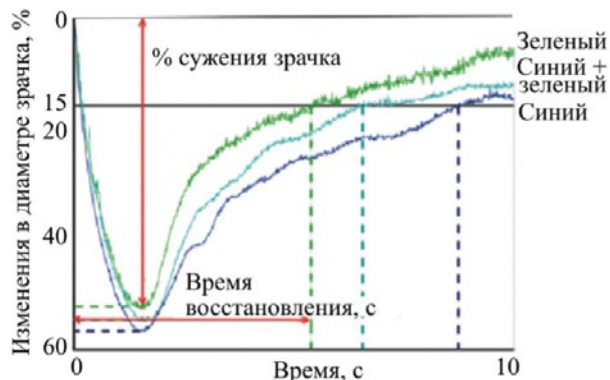


Рис. 1.119. Изменения диаметра зрачка волонтеров при раздельном и одновременном воздействии импульсами синего (470 нм) и зеленого (532 нм) света (источник света – матрица с отдельными светодиодами с провалом в области 480 нм)

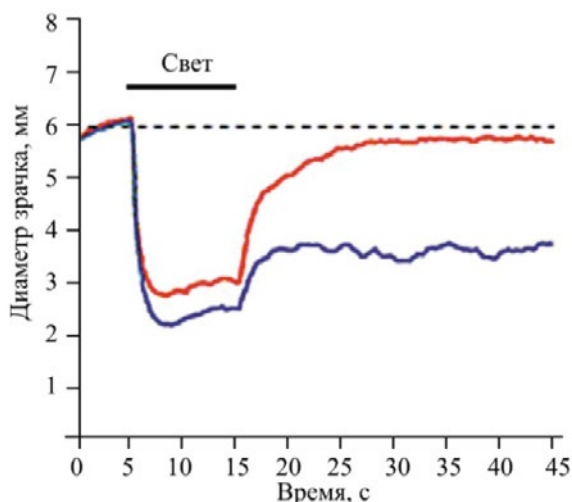


Рис. 1.120. Сужение зрачка, индуцированное 10 с световым стимулом 493 нм длины волны при $14.0 \log \text{ quanta cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ облученности (синяя кривая) и 613 нм длины волны при $14.0 \log \text{ quanta cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ облученности (красная кривая)

В другой работе для оценки показателя PIPR использовались световые стимулы 660 и 470 нм при применении лекарственной стимуляции глаз [1.249].

Возбуждение происходило постоянным и непрерывным стимулом 300 кд/м^2 от 0 до 20-й секунды. Когда световой раздражитель прекращался, довольно быстро наступало расширение зрачка. Во всех проведенных исследованиях показатель PIPR при стимуляции синим светом имел большие значения, чем при стимуляции красным. Это важно учитывать при оценке диаметра зрачка глаза в световой среде искусственных источников света. Исследования по критерию показателя PIPR распространяются не только на здоровых волонтеров различных национальностей, но и на волонтеров,

имеющих те или иные заболевания. Также было проиллюстрировано, что на показатель PIPR глаза влияет возрастная макулярная дегенерация – прогрессирующее заболевание, характеризующееся поражением макулярной зоны (центральной зоны сетчатки в заднем полюсе глазного яблока), где находится всего три слоя ганглиозных клеток [1.250].

Поражение части клеток снижает эффективность управления диаметром зрачка на сужение под воздействия синего света. Синий свет является хорошим стимулом для выявления людей с диагнозом ВМД (ABD) по реакции зрачка на сужение. Исследователи отмечают, что меланопсин, управляющий величиной PIPR, дисфункционален (неэффективен) при наличии у волонтера начальной стадии возрастной макулярной дегенерации (AMD) [1.250].

Специалисты Института здоровья и биомедицинских инноваций, Технологического университета Квинсленда (Австралия) изучили клиническую полезность меланопсина ганглиозных клеток (ipRGC), контролирующей реакции *postillumination* зрачка (PIPR), в качестве нового метода для документирования внутренней функции сетчатки у пациентов с диабетом типа II, не имеющих ретинопатии [1.251].

PIPR измеряли у двух групп людей: 1) пациенты с сахарным диабетом II типа с нормальной толщиной сетчатки глаза и без диабетической ретинопатии; 2) здоровые волонтеры. В обоих случаях стимуляция проводилась синим (длиной волны 488 нм) и красным светом (длиной волны 610 нм). В результате исследований установлено, что у волонтеров с диабетом значения показателя PIPR резко падали и не удерживали зрачок в суженном состоянии. Приведенные выше зависимости эффективности управления диаметром зрачка глаза на сужение по величине показателя PIPR иллюстрируют следующее:

- метод оценки по критерию «отклик зрачка после освещения» PIPR применим для всех световых стимулов (синего, красного, зеленого и их комбинации);

- зрачок наиболее эффективно откликается на стимул синего света с длиной волны 480 нм и имеет максимальную величину сужения зрачка, которая, как и показатель PIPR, зависит от величины фотонного потока;

- показатели критерия PIPR имеют наибольшие значения при воздействии синего света, чем при красном и зеленом световых стимулах;

- при стимуляции зрачка синим светом показатели критерия PIPR неадекватно зависели от лекарственных препаратов и уменьшались при наличии у человека возрастной макулярной дегенерации, начальных стадий сахарного диабета, не имеющего ретинопатии.

При облучении постоянным светом величина показателя PIPR совпадает с величиной максимального сужения зрачка и удерживается на этой величине. Слияние двух этапов работы зрачка мы определили как меланопсиновый эффект удержания зрачка при его сужении в световой среде. Из этого следует, что для эффективного поддержания зрачка в суженном состоянии в спектре света должна присутствовать необходимая доза синего света 480 нм. Такой оптимальный уровень дозы синего 480 нм характерен для солнечного света, а у всех искусственных источников в спектре света имеется провал в области 480 нм [1.252, 1.253].

Последствия этой особенности люминесцентного и светодиодного освещения можно оценить только с позиции общесистемного подхода к работе зрительного анализатора и качеству зрения человека в целом. Ухудшение зрения хорошо коррелирует с массовым внедрением энергосберегающего освещения в государствах с устойчивыми национальными предпочтениями в питании и образе жизни. К таким странам относятся Южная Корея, Япония, Китай. Жизнь, на всех ступенях ее развития, – «постоянное приспособление ... к условиям существования» (И. М. Сеченов, 1863), то есть жизнь – непрекращающийся процесс адаптации к постоянно меняющимся условиям среды. Многие авторы считают, что и миопия является адаптационным откликом глаза на световую нагрузку [1.254, 1.255].

Рассмотрим эти адаптационные механизмы при отсутствии меланопсинового эффекта удержания зрачка при его сужении в современной искусственной световой среде. Согласно анатомо-физиологической схеме, существуют два взаимоувязанных канала управления зрачком глаза на уменьшение его диаметра. Первый канал – ганглионарные клетки типа ipRGC. Воспринимаемая синий свет, они формируют сигнал, который поступает в средний мозг к ядру Эдингера – Вестфала для управления сфинктером зрачка. При этом указано, что сигнал от ганглиозных клеток, объединяющих RGB-колбочки, поступает только в латеральное коленчатое тело. Второй канал – зрительные фоточувствительные клетки (палочки и колбочки, объединенные ганглиозными клетками, составляют 80% от общего количества клеток). Они формируют сигналы для латерального коленчатого тела и полей зрительной коры. В поле 9-й коры больших полушарий головного мозга формируются корректирующие сигналы, которые, проходя через претектальный район, попадают в ядро Эдингера – Вестфала.

Структуры ядра Эдингера – Вестфала интегрируют:

- а) сигналы от ганглиозных клеток с подтипом меланопсина ipRGC, которые управляют сфинктером зрачка;
- б) сигналы ганглиозных клеток (интегрирующих сигнал от палочек и колбочек), которые управляют цилиарной мышцей и регулируют поток водянистой влаги в Шлеммовом канале.

В цилиарной мышце различают четыре типа мышечных волокон. К первому типу относятся меридиональные мышечные волокна (мышца Брюкке). Они находятся в наружной части и развиты особенно хорошо. Эти волокна начинаются от склеральной шпоры, внутренней поверхности склеры, тотчас кзади от шпоры, иногда от корнеосклеральной трабекулы; идут компактным пучком меридионально кзади и, постепенно истончаясь, заканчиваются в экваториальной области хориоидеи и супрахориоидеи. Задние концы более глубоко расположенных меридиональных волокон ресничной мышцы переходят в эластические фибриллы собственно сосудистой оболочки и мембраны Бруха. Сокращение продольных волокон приводит также к растяжению трабекулярной мембраны и расширению Шлеммова канала, что увеличивает резорбтивную контактную поверхность трабекулярной ленты и улучшает отток водянистой влаги из глаза. Ко второму типу относят радиальные или косые мышечные волокна (мышца Иванова). Они имеют менее правильное и более рыхлое строение. Волокна лежат в строме цили-

арного тела, внутри от меридиональной мышцы, начавшись от угла передней камеры и частично от увеальной трабекулы. Третий тип – циркулярные мышечные волокна (мышца Мюллера). Состоят из отдельных пучков волокон, не образующих компактной мышечной массы и имеющих циркулярное направление. Они расположены в переднезаднем отделе цилиарного тела, у внутреннего ребра. Эти волокна рассматриваются как часть радиальной мышцы. Сокращение радиальной и циркулярной порций цилиарной мышцы уменьшает просвет кольца, образуемого цилиарным телом ЦТ, и тем самым приближает место фиксации цинновой связки к экватору хрусталика, что приводит к увеличению его кривизны. К четвертому типу относятся иридалльные мышечные волокна (мышца Калазанса), расположенные у места соединения корня радужки и цилиарной мышцы и представленные тонким пучком мышечных волокон, идущих к корню радужки. Очевидно, они регулируют зазор между хрусталиком и радужкой, обеспечивая минимальное динамическое сопротивление для оттока водянистой влаги из задней камеры в переднюю. Совместная работа перечисленных мышц обеспечивает акт аккомодации. При напряжении цилиарной мышцы связки расслабляются, снижая напряжение капсулы хрусталика. При этом форма хрусталика становится округлой, а сам он передвигается по оптической оси в сторону радужки. Общая схема таких перемещений изложена в работах биомеханика И. Н. Кошица. Но модели перемещений хорошо изучены у взрослых людей, а не у детей. Цилиарное тело богато нервными окончаниями, однако у новорожденных оно развито недостаточно, поэтому многие заболевания протекают безболезненно. Только к 7–10-летнему возрасту цилиарное тело становится функционально полноценным [1.256, 1.257, 1.258].

С учетом этого факта очень важно, чтобы спектр искусственной световой среды был адекватен солнечному свету. В любом возрасте рассматривание предмета, располагающегося на близком расстоянии, сопровождается аккомодацией, конвергенцией и сужением зрачка. С помощью этих трех физиологических механизмов осуществляется возможность лучшего восприятия, лучшего видения рассматриваемого предмета. По существу все три явления представляют собой слагаемые одного акта – установки глаз на близкое расстояние. Раньше было много споров насчет того, с чем связано сужение зрачков при рассматривании предмета на близком расстоянии – с аккомодацией или с конвергенцией. Оказалось – и с тем, и с другим. Сужение зрачков при установке глаз на близкое расстояние осуществляется только тогда, когда предмет находится на расстоянии 40 см от глаз и ближе. Наиболее резко проявляется сужение зрачков при расстоянии предмета от глаз 15–20 см. На рис. 1.121 приведена зависимость изменения диаметра зрачка от уровня аккомодации.

Наиболее признанной теорией аккомодации является теория Гельмгольца, который показал, что при ее максимальном напряжении переднезадний размер хрусталика увеличивается с 3,6 до 4,0 мм, радиус кривизны передней поверхности хрусталика изменяется с 10 до 6 мм, задней поверхности – с 6,0 до 5,6 мм [1.259, 19].

Чем больше уровень аккомодации, тем меньше передний радиус хрусталика, который имеет свои физические и возрастные ограничения [1.260].

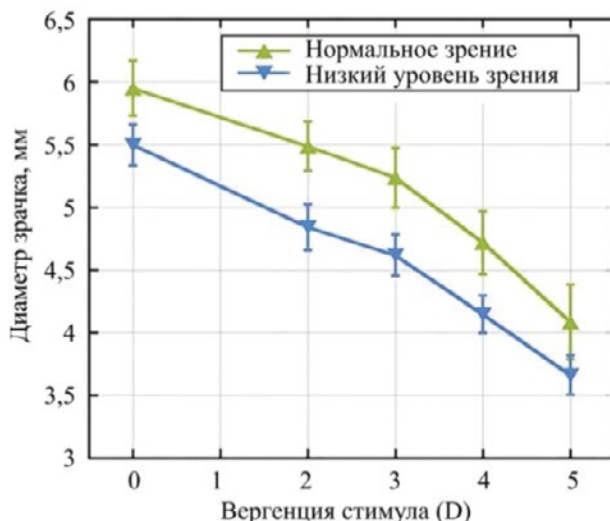


Рис. 1.121. Зависимость изменения диаметра зрачка от уровня аккомодации [1.261]

Уменьшение кривизны хрусталика и продвижение его к радужке приводит к дополнительному напряжению мышцы Калазанса для обеспечения адекватного зазора между хрусталиком и радужкой, то есть равенству притока и оттока водянистой влаги. В 2010 г. Janice Tarrant et al. исследовали взаимосвязи кривизны хрусталика, четкости изображения, aberrаций волнового фронта и процессов аккомодации [1.261].

В своих работах они применяли анализатор волнового фронта для измерения глазной aberrации у 13 волонтеров с хорошим зрением (emmetropes) и 17 волонтеров с миопией для рассмотрения 4 предметов на разных расстояниях. При приближении рассматриваемого предмета сужение зрачков проявляется сначала в очень небольшой степени, затем они суживаются резко и быстро. При усилении аккомодации и конвергенции, которые действуют синергично, происходит дополнительное сужение зрачка. Диапазон сужения зрачков при установке глаз на близкое расстояние бывает самый разнообразный [1.262, 1.263, 1.264].

Это говорит о том, что при миопии цилиарная мышца напряжена больше, чем при эметропии. В этом случае хрусталик более выпукл, и происходит первоначальное нарушение равенства между притоком и оттоком водянистой влаги. Механизм сужения и удержания зрачка глаза при аккомодации и конвергенции привлекает исследователей для решения прикладных задач [1.265, 1.266].

В своих работах для формирования зрительных образов авторы применяли ЖК-мониторы, OLED-микродисплей и лист белой бумаги с буквами, подсвеченными лампой накаливания. Ученых более всего интересовало влияние синего света 480 нм на управление диаметром зрачка при его освещении светом, отличным от солнечного. Некоторые авторы в качестве зрительного стимула использовали буквы на экране ЖК-монитора и OLED-микродисплея (eMagin, США) [1.265].

Уровень освещенности составлял порядка 15 кд/м^2 . Исследовалось две ситуации: далеко (ЖК-монитор) – $2,75 \text{ м}$; близко (OLED-микродисплей) – 30 см . Исследования проводились при участии волонтеров – молодых людей в возрасте $27,8 \pm 2,4 \text{ г}$.

Другие исследователи в качестве зрительного стимула использовали ЖК-монитор для просмотра фильмов, а в качестве волонтеров у них выступали дети (что очень актуально) в возрасте от 6 до 16 лет:

76 – были типично развивающиеся дети;

41 ребенок – с синдромом Дауна (DS) [1.266].

В ходе проведения исследования была получена зависимость изменения диаметра зрачка от уровня аккомодации (рис. 1.122).

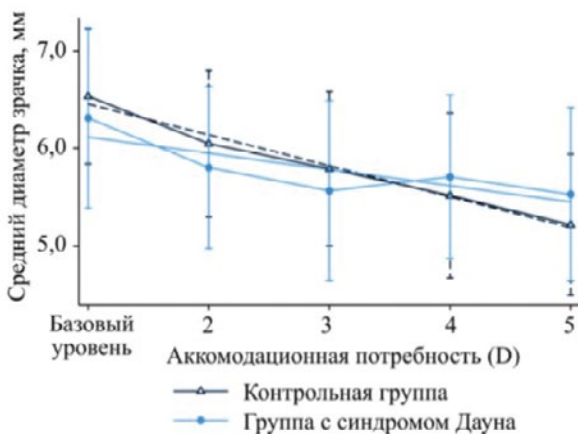


Рис. 1.122. Зависимость изменения диаметра зрачка от уровня аккомодации

В работе S. Plainis в качестве предмета наблюдения была буква «Е», напечатанная на белой бумаге, освещенной лампой накаливания [1.267, 40]. Яркость фона – 5 кд/м^2 . Тем не менее освещенность сетчатки глаза не была постоянной для каждого предмета и размещения уровня из-за различий в размерах зрачка. Все измерения проводились с естественными зрачками, без введения каких-либо препаратов (мидриатического или циклоплегического). В исследованиях приняли участие семь волонтеров в возрасте от 23 до 33 лет (средний возраст – 28 лет). Четыре волонтера имели нормальное зрение (emmetropes), а три волонтера – низкий уровень зрения (muopes) (диапазон: от $-2,00$ до $-2,50 \text{ D}$), скорректированный очками [1.267].

Чем выше был адаптивный ответ, тем больше была степень миоза, и это отношение носило линейный характер. Каждая диоптрия аккомодации индуцирует $0,18 \text{ мм}$ сужения зрачка. Линейный характер зависимости хорошо коррелирует с зависимостью, представленной на рис. 1.114. Исходя из взаимного расположения хрусталика, радужной оболочки, ресничной мышцы и высокой чувствительности системы управления диаметром зрачка, можно составить математическую модель (формула 4) фактического значения диаметра зрачка при его закрытии в условиях световой среды при выполнении определенной зрительной работы.

$$D \phi = D_n (E, \lambda) - \Delta D (A) - \Delta D (K), \quad (4)$$

где $D_n (E, \lambda)$ – начальный диаметр зрачка при уровне освещенности и спектре света среды обитания;

$\Delta D (A)$ – изменение диаметра зрачка при аккомодации, которая индуцирована степенью напряженности цилиарной мышцы (мышца Брюкке, Иванова, Мюллера и Калазанса);

$\Delta D (K)$ – изменение диаметра зрачка при конвергенции.

С методической точки зрения очень важно, к какому значению стремится текущее значение диаметра зрачка при выполнении зрительной работы. Качество зрительного восприятия зависит от разрешающей способности сетчатки, дифракции света в области зрачка и свойств оптических сред глаз. Одной из особенностей человеческого глаза является наличие глубины фокусной области, в пределах которой может не происходить изменения качества изображения. Значит, существует оптимально достаточное значение диаметра зрачка, которое обеспечивает такую фокусную настройку. Зрительное восприятие регулируется не только физиологической оптикой, но и корковыми структурами центральной нервной системы. Улучшая оптику глаза путем снижения аберрации, можно повысить зрительное разрешение от обычного уровня к более высокому. Различают хроматическую, дифракционную и сферическую аберрации. Хроматическая аберрация – искажение изображения, связанное с тем, что лучи видимого света, имея разную длину волны и падая на линзу параллельным пучком, преломляются, фокусируются не в одной точке. Коротковолновые лучи (сине-зеленые) фокусируются дальше от сетчатки, чем длинноволновые (красные). Это явление называется хроматизмом положения. В результате изображение размывается, и края его окрашиваются. Если фокус синих лучей совместить с сетчаткой, изображение точки будет окружено красным ореолом, и наоборот. Очертания воспринимаемых предметов могут окрашиваться при гиперметропии – красным, при миопии – синим цветом. В условиях освещения белым светом человек не различает цветные каемки вокруг наблюдаемых предметов. Это объясняется наложением цветных ореолов один на другой и малыми угловыми размерами цветных каемок. Хроматические аберрации не оказывают существенного влияния на центральное зрение. Дифракционная аберрация связана с нарушением прямолинейности, отклонением световой волны при ее распространении мимо резких краев непрозрачных или прозрачных структур, формирующих отверстия. Такой структурой в глазу является зрачок. В результате дифракции света на границе зрачка, где согласно законам геометрической оптики должен быть четкий переход от тени к свету, возникает ряд светлых и темных дифракционных колец, проецируемых на сетчатку. С уменьшением диаметра зрачка диаметр дифракционного круга светорассеяния увеличивается. Но при этом сферическая аберрация уменьшается. Сферическая аберрация характеризует состояние, при котором есть различие в преломлении светового луча между центром сферической оптической поверхности и ее периферией. В основе сферической аберрации лежит кривизна роговицы и хрусталика. Влияние сферической аберрации на качество изображения зависит от величины зрачка. При малых размерах зрачка – от 2

до 4 мм – сферическая aberrация минимальна, но резко возрастает при расширении зрачка. Для поддержания качества изображения на максимальном уровне при обеспечении минимального уровня дифракционной и сферической aberrаций необходимо обеспечить оптимально достаточную величину диаметра зрачка (Дод) не только для обеспечения минимального уровня aberrации, но и для обеспечения процесса аккомодации (5) [1.268].

$$\text{Дод} = D_n(E, \lambda) - \Delta D(A) - \Delta D(K) = \text{const.} \quad (5)$$

$D_n(E, \lambda)$ – формирует уровень освещенности и спектр света среды обитания.

Все современные энергосберегающие источники света имеют низкий уровень энергии на длине волны 480 нм из-за провала в этой области по сравнению со спектром солнечного света при той же цветовой температуре и уровне освещенности. Неадекватная работа канала управления диаметром зрачка в условиях искусственного освещения приводит к нарушению условий меланопсинового эффекта удержания зрачка при его сужении. Что в свою очередь провоцирует на дополнительную работу ресничную мышцу для поддержания качественного зрения. Все это в совокупности при длительной зрительной нагрузке в условиях современной световой среды увеличивает риски возникновения глазных болезней.

При остаточном напряжении ресничной мышцы и ее сильном перенапряжении происходит нарушение соотношения притока и оттока водянистой влаги (ВВ). Роль и значимость этих нарушений в развитии миопии подробно изложены в работах И. Н. Кошица и соавт. [1.269, 1.270].

В результате этих исследований и из описания механизмов регуляции увеосклерального пути оттока (УСПО) стала более понятной роль радиальной и циркулярной порций ресничных мышц (мышц Иванова и Мюллера) в активной регуляции увеосклерального пути оттока в глазу. Средняя скорость продуцирования водянистой влаги у человека в норме составляет около 2 мм³/мин, диапазон изменения в норме – 1,5–4,5 мм³/мин. Период полного обновления ВВ в глазу составляет 90 мин, т.е. через передний отдел глаза в сутки протекает примерно 3 мл (3 см³) водянистой влаги при среднем объеме глаза менее 7,5 мм³. Небольшие вариации в производстве или оттоке внутриглазной жидкости будут иметь большое влияние на внутриглазное давление [1.271].

Для обеспечения такой производительности и четкой работы мышц по управлению потоками необходимо:

- 1) чтобы сигналы, поступающие на вход ядра Эдингера – Вестфаля, формировались при воздействии солнечного спектра света на клетки сетчатки;
- 2) чтобы солнечный спектр света адаптировал структуру зрительного анализатора под адекватные алгоритмы работы функциональных элементов для обеспечения качества зрения при минимизации рисков заболеваний.

Спектр солнечного света с учетом гигиенических ограничений адекватно управляет состоянием мышцы Брюкке, Мюллера и Иванова, а также состоянием клапанов оттока водянистой жидкости, которые рассмотрены в работе И. Н. Кошица и соавт. [1.269].

Дополнительно было рассмотрено состояние мышцы Калазанса, которая управляет размером зазора между радужкой и хрусталиком при аккомодации. Роли и работе клапана «ирис – хрусталик» в рассмотренных моделях управления потоком водянистой влаги не уделялось достаточного внимания [1.269]. Хотя в моделях развития глаукомы активно обсуждается роль этого зазора, но без учета состояния (деградации) мышц Калазанса. В частности, специалисты кафедры биомедицинской инженерии и факультета химической технологии и материаловедения Университета Миннесоты провели математическое моделирование процессов аккомодационных микрофлюктуаций и контура радужки [1.272].

Исследования продолжаются, но их математические модели не учитывают работу мышцы Калазанса. На медикаментозных моделях различных тонических состояний цилиарной мышцы было установлено, что работа аккомодационного аппарата имеет непосредственное отношение к гидродинамике глаза, причем направление перемещения и объемы жидкости зависят от амплитуды флюктуаций аккомодации. Спектр света, не адекватный солнечному спектру, порождает дисгармонизацию в работе функциональных элементов зрительного анализатора и это проявляется в виде:

- расширенного зрачка при отсутствии в спектре света 480 нм, что характерно для энергосберегающего освещения и подсветки мониторов;
- нарушения синтеза родопсина из витамина А – провал в спектре 380 и 480 нм;
- синдрома сухих глаз при работе за мониторами, что свидетельствует о нарушении управления водянистой влагой;
- тенденции увеличения внутриглазного давления при длительном нахождении (5 часов) в условиях светодиодного освещения [1.273].

Так, внутриглазное давление, измеренное методом бесконтактной тонометрии (T_n), составляло до начала исследования $17,35 \pm 1,1$ мм рт. ст. и после его завершения $17,67 \pm 1,1$ мм рт. ст. (5 дней) при уровне освещенности 400 лк и коррелированной цветовой температуре 4000–4500 К.

Для истинного внутриглазного давления зоны низкой нормы (9–12 мм рт. ст.), средней нормы (13–16 мм рт. ст.) и высокой нормы (17–22 мм рт. ст.) зависят как от анатомических особенностей расположения венозного синуса, так и от особенностей прикрепления ресничной мышцы к склеральной шпоре. Все это иллюстрирует, что в условиях искусственного освещения имеет место дисгармонизация в управлении потоками водянистой влаги из-за дополнительной компенсации мышцами ресничного тела неэффективного управления сужением зрачка при рассмотрении предмета вблизи. Накопленное напряжение в мышцах, управляющих потоками водяной влаги, увеличивает риски повышения неопределенности в управлении состоянием «клапанов» трабекулярного и увеосклерального путей. При этом нарушение равенства «притока и оттока» водянистой влаги приводит к формированию избыточного ее количества, создавая предпосылки к ускоренному удлинению оптической оси глаза. Средний размер глаза человека в длину от роговицы до центра сетчатки составляет 23,5 мм. Каждый прирост глаза на 1 мм в длину добавляет 3,0 диоптрии миопии. Нарушение оттока водянистой влаги на протяжении времени является предпосылкой для развития

глаукомы, хориоидальной неоваскуляризации и макулярной дегенерации [1.273, 1.274, 1.275].

Что касается катаракты, существуют различные исследования ее связи с миопией высокой степени [1.276]. При нарушении условий меланопсинового эффекта удержания зрачка при его сужении происходят системные деструктивные изменения в функциональных элементах глаза. В современной системе освещения и устройствах отображения информации таким системным раздражителем является неадекватное управление диаметром зрачка в течение длительного времени, что дополнительно нагружает механизм аккомодации и конвергенции.

1.8.7. Защитные функции водянистой влаги и стекловидного тела

Водянистая влага – прозрачная, бесцветная жидкость, заполняет переднюю и заднюю камеры глазного яблока – щелевидные полости, располагающиеся спереди и сзади радужки. Водянистая влага продуцируется сосудами ресничного тела и радужкой. Не путать водянистую влагу камер глазного яблока со слезой! Отток водянистой влаги осуществляется в систему венозных вен, в ресничные и конъюнктивальные вены. Внутриглазная жидкость (ВГЖ) или водянистая влага (*humor aquosus*) представляет собой действительно жидкость, в норме совершенно прозрачную, похожую на капельку чистой прозрачной воды. Состав внутриглазной жидкости резко отличается от состава воды, потому что в ней содержатся питательные вещества, белки, глюкоза, витамины, ферменты, кислород, микроэлементы необходимые для нормальной жизнедеятельности роговицы, хрусталика и стекловидного тела, не имеющих собственного кровоснабжения. Водянистая влага образуется специальными непигментированными эпителиальными клетками цилиарного тела из крови, которая тесно связана с биохимическими процессами в печени человека. Человеческий глаз производит от 3 до 9 мл водянистой влаги в сутки.

От циркуляции водянистой влаги в глазу зависит его офтальмотонус, или гидродинамика глаза, значительно влияющая на состояние всех функциональных механизмов. Динамика обмена водянистой влаги в структурах глаза тесно увязана с миопией. Приобретенная близорукость часто развивается на фоне нарушений кровообращения, сужения сосудов, склероза хрусталика и ослабления глазных мышц. Конвергентно-аккомодационно-гидродинамическая теория патогенеза миопии А. И. Дашевского [1.277] позволила в первом приближении понять прогрессирование миопии с возможными проблемами в оттоке водянистой влаги при разном тоне аккомодации. При этом роль внутриглазного давления, согласно гипотезе прогрессирования миопии Н. М. Сергиенко и Ю. Н. Кондратенко, могла быть определяющей, поскольку миопические глаза всегда обладают сравнительно повышенным офтальмотонусом, что не может не сказываться на накоплении усталостных механических напряжений в склере. В основе ослабления склеры и развития миопии лежит нарушение трофики тканей глаза под действием различных факторов, причем ключевой причиной является продолжительность и степень нарушений. Это послужило основой для ранжирования возможных факторов по степени их важности и влиянию на прогрессирование миопии

[1.278]. При этом пришло понимание тесной связи возникновения и прогрессирования приобретенной миопии с интенсивностью увеосклерального пути оттока (УСПО) на фоне осознания того, что цилиарная мышца (ЦМ) является у человека своеобразным «стрелочником», переключаящим суммарный отток водянистой влаги на ее разные пути. Схема питания задней части склеры с помощью приходящих с водянистой влагой нутриентов, представленная на рис. 1.123, позволяет выявить взаимосвязь интенсивности воспроизводства коллагена в задней части склеры с тонусом ЦМ.

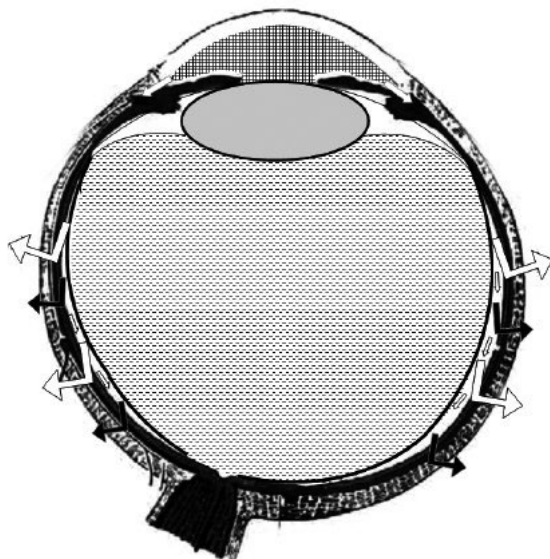


Рис. 1.123. Схема питания средней и задней части склеры водянистой влагой [1.278]

Задняя камера не заштрихована. Передняя камера заштрихована сеткой, супрацилиарная и супрахориальная щель не заштрихованы: показан путь доставки нутриентов с помощью водянистой влаги из передней камеры сквозь межволоконный матрикс цилиарной мышцы к тканям средней и задней частей склеры для поддержания метаболизма и воспроизводства коллагена. Средний тонус цилиарной мышцы. Увеосклеральный отток ВВ максимален, а трабекулярный – закрыт. Наиболее благоприятное анатомическое расположение всех внутриглазных структур для доставки ВВ к задней части склеры из передней камеры глаза (белые стрелки), а также продуцированной из сосудов хороидеи (черные стрелки). Работа этого естественного физиологического механизма рассмотрена в статьях И. Н. Кошица, О. В. Светловой [1.278].

Защитно-транспортная функция астроцитов в сетчатке глаза

Для обеспечения нормальной работы нейронов сетчатки, которые первыми подвергаются воздействию избыточной дозы синего света, существует глиальная система, функциональные элементы которой будут рассмотрены ниже [1.24].

В работе [1.279] указано, что не полностью выяснена роль *глиальной популяции и сосудистых элементов* в эффектах поражения сетчатки светом. В настоящее время этой проблеме уделяется большое внимание [1.280], особенно в условиях света и радиации.

Глиальная система сетчатой оболочки выполняет те же функции, что глия центральной нервной системы. В сетчатке различают четыре типа клеток:

- мюллеровская клетка;
- олигодендроциты;
- микроглия;
- астроциты.

Некоторые авторы выделяют еще один тип глии – специализированный астроцит, который располагается только вблизи кровеносных сосудов (периваскулярная глия Лисса).

Клетки Мюллера. Мюллеровские клетки являются самыми крупными клетками глии сетчатой оболочки. Распространяются они от наружной до внутренней пограничной мембраны. Средняя плотность мюллеровских клеток примерно равна 8000–13000 клеток в мм².

В эмбриональном периоде мюллеровские клетки возникают из внутреннего слоя зрительного бокала в два этапа. **На самых ранних этапах** нейроэпителиальные клетки края глазного бокала, смежные с клетками будущего пигментного эпителия сетчатки, образуют первичные нейроны (колбочки, горизонтальные клетки и ганглиозные клетки). **Второй этап развития** нейроэпителиальных клеток приводит к образованию палочек, биполярных, амакриновых клеток, а также мюллеровских клеток. Все развивающиеся нейроны и мюллеровские клетки мигрируют к месту своего постоянного расположения. При этом мюллеровские клетки обеспечивают правильную ориентацию, перемещение и жесткое топографическое расположение нейронов в процессе эмбрионального развития сетчатки.

Мюллеровские клетки обладают многочисленными отростками, выполняющими все межклеточные пространства ткани сетчатки и *заполняющими тела нейронов*. Различают четыре типа отростков мюллеровской клетки:

1. Радиальные отростки, распределяющиеся во внутреннем плексиформном слое.
2. Нежные горизонтальные отростки, распространяющиеся в обоих плексиформных слоях, а также в слое нервных волокон.
3. Тонкие, волосоподобные отростки, образующие «корзинки» вокруг внутренних сегментов фоторецепторов.
4. Отростки, образующие ячеистую сетчатую структуру вокруг тел ганглиозных клеток и клеток внутреннего плексиформного слоя.

Мюллеровские клетки формируют также ножкоподобные окончания на кровеносных сосудах сетчатки большого калибра.

Клетки Мюллера прикрепляются к наружной пограничной мембране при помощи десмосом, а к нейронам при помощи плотных контактов. Между ними не выявлено щелевых синаптических контактов. Цитоплазма мюллеровских клеток неодинакова в различных участках. Эти структурные различия отражают функциональные особенности. **Внутренняя половина клетки** содержит шероховатую и гладкую эндоплазматическую сеть, аппа-

рат Гольджи, митохондрии, свободные рибосомы и радиально ориентированные филаменты диаметром 10–20 нм. Наличие перечисленных органоидов предполагает высокий уровень белкового синтеза.

Внешняя, или склеральная, половина клетки приспособлена к поглощению метаболитов (эндоцитоз) и их внутриклеточному транспорту. Вблизи наружной пограничной мембраны видны многочисленные микротрубочки и митохондрии. Вполне вероятно, что эти органоиды обеспечивают клетку энергией, необходимой для активного транспорта метаболитов.

Наружная часть клетки содержит гликоген, количество которого зависит от степени оксигенации сетчатки. Если в экспериментальных условиях уменьшить кровенаполнение сосудов сетчатки, то запас гликогена в клетках быстро истощится. Отмечено, что в цитоплазме мюллеровской клетки, расположенной на уровне внутреннего синаптического слоя, в *условиях световой адаптации* значительно возрастает количество гликогена.

В нормальных условиях клетки Мюллера поддерживают активность нейронов и целостность гематоэнцефалического барьера. Основной функцией клеток Мюллера является поглощение жидкости из ткани сетчатки, которая опосредована трансклеточным водным транспортом, связанным с течениями через калийные каналы.

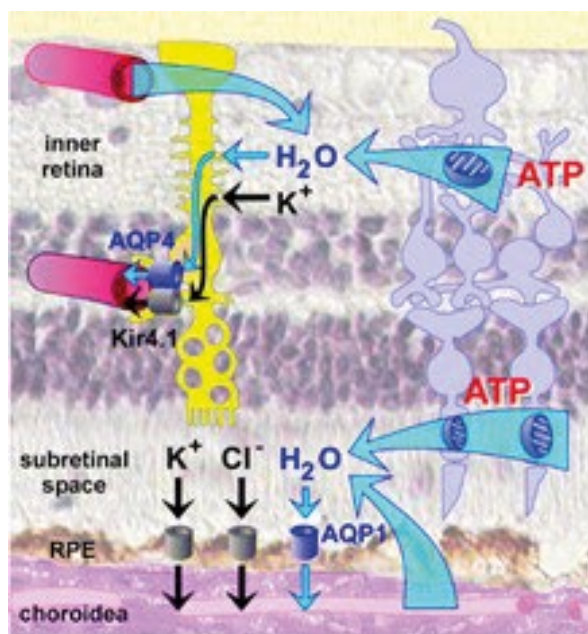


Рис. 1.124. Общий вид транспорта воды и K⁺ через клетки Мюллера

Изменения в клетках сетчатки Мюллера при патологических состояниях были исследованы [1.282] путем иммуногистохимии и записи их поведения под стрессом. В моделях животных с различными ретинопатиями, например, ишемией сетчатки, воспалением глаз, отслоением сетчатки и диабетом, было установлено, что клетки Мюллера уменьшают производительность

их основного канала калия (Кир 4.1). Это изменение связано с нарушением быстрого транспорта воды через клеточные мембраны Мюллера, что можно узнать по индукции клеточного отека в гипоосмолярных условиях. Отек клеток Мюллера также может быть вызван окислительным стрессом.

Предполагается, что нарушенная транспортировка жидкости через клетки Мюллера (в дополнение к утечке сосудов) является патогенным фактором, способствующим развитию отека сетчатки. Фармакологическая реактивация сетчатого зазора клетками Мюллера может представлять собой подход к разработке новых препаратов для купирования отеков. Триамцинолона ацетонид, который клинически используется для устранения отеков, предотвращает отек клеток Мюллера, так как он вызывает высвобождение эндогенного аденозина и последующее срабатывание рецептора A1, что приводит к открытию ионных каналов. Видимо, триамцинолон устраняет отек путем ингибирования сосудистой утечки и стимуляции зазора сетчатки клетками Мюллера.

Олигодендроциты. Классические формы олигодендроглиальных клеток свойственны зрительному нерву. В сетчатке большинства позвоночных животных клетки, напоминающие олигодендроциты, располагаются в слое ганглиозных клеток. В сетчатке человека этот тип клеток рядом исследователей не выделяется. Тем не менее некоторые исследователи на основании общности функции мюллеровских клеток и клеток олигодендрогии считают эти клетки близкими по происхождению.

Олигодендроциты позвоночных являются самыми мелкими клетками ганглиозного слоя. Их форма округлая или овальная. Ядрышко небольшое и расположено в центре ядра. Для клеток этого типа **характерно расположение группами по 2–3 клетки** в непосредственной близости от крупных нейронов. Именно поэтому их количество существенно возрастает при увеличении концентрации нейронов. Среди клеток редко встречается митозы.

Как и остальные глиальные элементы сетчатой оболочки, олигодендроциты образуют единую функционально-метаболическую систему с нейронами сетчатки. По всей видимости, олигодендроциты, расположенные в слое ганглиозных клеток, не способны к миелогенезу. Появляется эта способность лишь в области диска зрительного нерва при формировании миелиновой оболочки аксонов ганглиозных клеток.

Микроглия. Микроглия складывается из маленьких клеток (до 30 мкм), имеющих мезодермальное происхождение. В ганглиозном слое у всех позвоночных микроглия часто являются сателлитами нейронов, а свои цитоплазматические отростки посылают к капиллярам, оплетая их.

Различают **два типа микроглиальных клеток**. Один тип клеток мигрирует в сетчатку на наиболее ранних этапах эмбрионального развития вместе с мезенхимой зрительного нерва. Второй тип клеток поступает в сетчатку из кровеносного русла (моноциты) или исходят из перицитов кровеносных сосудов.

Цитоплазма микроглиальных клеток напоминает цитоплазму астроцитов, но при этом в ней меньше гранул гликогена и меньше микрофиламентов. Цитоплазма скудная, а ядро светлое. Отличительной особенностью микроглиальных клеток является насыщение цитоплазмы длинными

профилями шероховатой эндоплазматической сети, наличием небольшого количества микротрубочек. В цитоплазме можно также обнаружить многочисленные лизосомы и липофусциновые гранулы. Клетки микроглии распределены равномерно во всей толще сетчатой оболочки, но неравномерно по площади сетчатки. Необходимо подчеркнуть, что микроглиальные клетки являются единственным глиальным элементом слоя Хенле в области центральной ямки.

Функции микроглии сетчатки **до сих пор полностью не выяснены**. По происхождению, форме, топографии и по аналогии с гистиоцитами центральной нервной системы их можно отнести к фагоцитирующим и пемаривающим клеткам. В отличие от макроглиальных клеток, микроглия не участвует в процессах репарации. После травмы они размножаются и начинают напоминать гистиоциты. При этом они фагоцитируют продукты распада клеточных элементов сетчатки как и в головном мозге, микроглиальные клетки способны к амебoidalному передвижению (трансформируются в макрофаги). Таким образом, основной функцией микроглии является защитная функция. Это особенно четко проявляется при различных патологических состояниях как сетчатой оболочки, так и увеального тракта.

Астроглия – совокупность астроцитов. Астроциты возникают в эмбриональном периоде из клеток неврального гребня, проникая **в сетчатку по ходу зрительного нерва**. Различают «фиброзный» и «протоплазматический» астроциты. Типичной особенностью астроцитов центральной нервной системы, в том числе сетчатки, являются длинные маловетвящиеся отростки, часть которых примыкает к стенкам небольших кровеносных сосудов. Тело клетки и ядро имеют овальную и полигональную форму и слабо окрашены. В ядре содержится небольшое количество хроматина. Ядрышко, как правило, обнаружить не удастся. Цитоплазма астроцитов насыщена микрофиламентами (10 нм в диаметре). Хорошо развит эндоплазматический ретикулум. Видны гранулы гликогена, длинные митохондрии, центриоли и реснички. Фибриллы могут объединяться в пучки различной толщины и длины. Иммуногистохимически как в цитоплазме клеток, так и в их отростках выявлен маркерный белок – фибриллярный кислый белок глии.

Фиброзные астроциты содержат мало митохондрий и больше микрофиламентов, чем протоплазматические астроциты.

Отростки протоплазматических астроцитов более короткие и толстые. Простираются они во внутреннем плексиформном слое. Их ядра различного размера и содержат грубые зерна гетерохроматина. Как тела клеток, так и их отростки располагаются только в слое нервных волокон сетчатки. Причем морфология клеток изменяется в различных участках сетчатки. **Вблизи диска зрительного нерва их отростки исключительно длинные**, а по периферии клетки принимают звездчатую форму с более короткими отростками одинаковой длины. **Астроциты отсутствуют в области желтого пятна и зубчатой линии**. Вообще, число астроцитов коррелирует с толщиной слоя нервных волокон сетчатки, в котором разветвляются их отростки.

Астроциты охватывают, особенно при проникновении в склеральный канал, аксоны ганглиозных клеток, формируя вокруг них футляр (рис. 1.125).

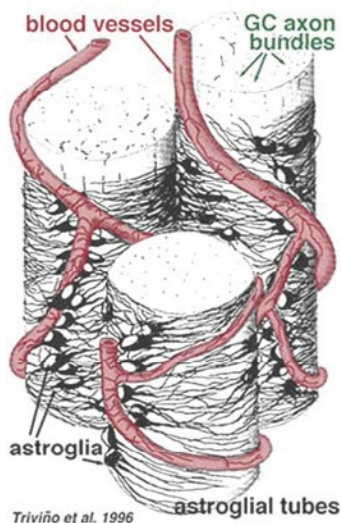


Рис. 1.125. Объемное схематическое изображение взаимоотношения астроцитов с пучками аксонов ганглиозных клеток и кровеносными сосудами в слое нервных волокон сетчатки: 1 – астроциты; 2 – аксоны ганглиозных клеток; 3 – кровеносные сосуды [1.283]

Особенностью астроцитов является и то, что они **контактируют с кровеносными сосудами**, образуя при этом щелевые контакты, расположенные на их ножках. Между собой они соединяются при помощи щелевых контактов и зон слипания. Предполагают, что это взаимодействие обеспечивает функционирование гематоэнцефалического барьера. Подобно мюллеровским клеткам, астроциты **обеспечивают нейроны глюкозой** и участвуют в поддержании ионного состава межклеточной жидкости. Кроме того, астроциты поддерживают нормальный уровень метаболизма нейромедиаторов. Одной из основных функций астроцитов является **защитная функция**. При повреждении ткани сетчатки астроциты подвергаются гипертрофии и размножаются, образуя глиальный рубец. Процесс регуляции пролиферативной активности астроцитов в норме и при патологических состояниях (глаукома) как сетчатки, так и зрительного нерва, находится под контролем эндотелина-1.

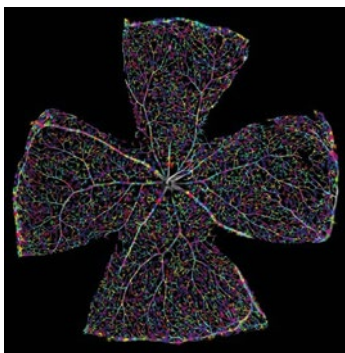


Рис. 1.126. Поле астроцитов на сетчатке Рис. 1.127. Фокальный микрограф сетчатки мыши

Крупномасштабный монтаж с высоким разрешением всей поверхности сетчатки. Состоит из приблизительно 400 изображений, бесшовно сшитых в месте астроцитов сетчатки трансгенной мыши, которая была использована для аннотирования отдельных ячеек (невозможно иначе), а затем вычислительно сегментирована на основе вероятности случайного обхода. Каждому экзоцитозу затем был присвоен тон, из которого можно извлечь количественные биоизображения. Кровеносные сосуды здесь показаны серым цветом [1.284].

Сетчатка является фоторецептивным органом глаза. Она содержит слои нейронных клеток, включая глиальных клетки (зеленые) и астроциты (красные), которые захватывают и передают световую информацию от сетчатки. Синее окрашивание знаменует ядро клеток. Эти образы были составлены из нескольких изображений, «сшитых» вместе, чтобы показать всю структуру [1.285].

Важнейшей функцией астроцитов является ликвидация деградирующих митохондрий ганглиозных клеток, тем самым поддержание ее жизнеспособности и надежное устойчивое функционирование в условиях световой нагрузки глаза. Митохондрия, перенесенная по нервному волокну, поглощается астроцитом и ликвидируется его лизосомой. Общая схема взаимодействия ганглиозной клетки, митохондрии, астроцита и его лизосомы приведена на рис. 1.128.

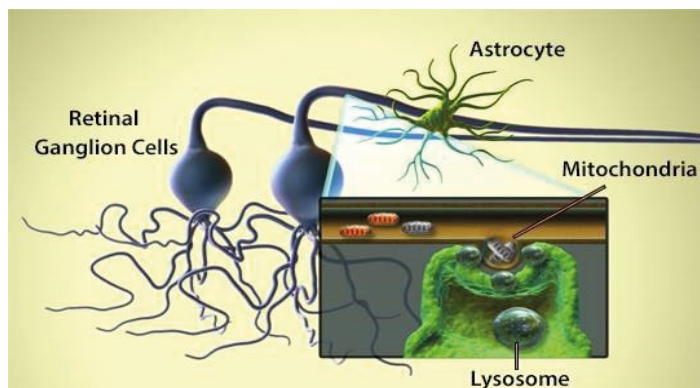


Рис. 1.128. Общая схема взаимодействия ганглиозной клетки, митохондрии, астроцита и его лизосомы

Подробно механизм поглощения митохондрий ганглиозных клеток рассмотрен в работе [1.286].

Этот процесс взаимодействия митохондрий и астроцитов очень важен в условиях воздействия на ганглиозные клетки синего света.

Модуляция кровотока и диаметра кровеносных сосудов

В ответ на активацию нейронов астроциты способны выделять вазоактивные вещества (вещества, способные расширять либо сокращать кровеносные сосуды) простагландины, оксид азота (NO), циклооксигеназу COX1 и другие. Механизм выделения этих веществ различен.

Основным фактором выделения этих веществ служит поглощение глутамата из синаптической щели. Глутамат может быть доставлен к астроцитам специальными переносчиками глутамата, он также может воздействовать на метаболитные рецепторы астроцитов. Воздействие на рецепторы астроцитов приводит к повышению в них концентрации ионов кальция Ca^{2+} , что впоследствии приводит к выделению вазоактивных веществ COX1. Механизм регуляции диаметра сосудов при транспорте глутамата переносчиками глутамата пока неизвестен.

Кроме рецепторов глутамата, астроциты также обладают рецепторами АТФ. Активация рецепторов АТФ приводит к увеличению концентрации ионов кальция в астроцитах и выделению вазоактивных веществ.

Поглощение астроцитами ионов калия из синаптической щели приводит к выделению ими веществ, воздействующих на кровеносные сосуды.

Кровеносная система стекловидного тела и сетчатки

Кровеносная система не только окружает стекловидное тело, но и пронизывает сетчатку. Изменение свойств кровеносной системы и образующих гемато-ретиальных барьеров под воздействием спектра света в значительной степени определяет здоровье глаз. Общая схема кровеносной системы и образующих гемато-ретиальных барьеров приведена на рис. 1.129.

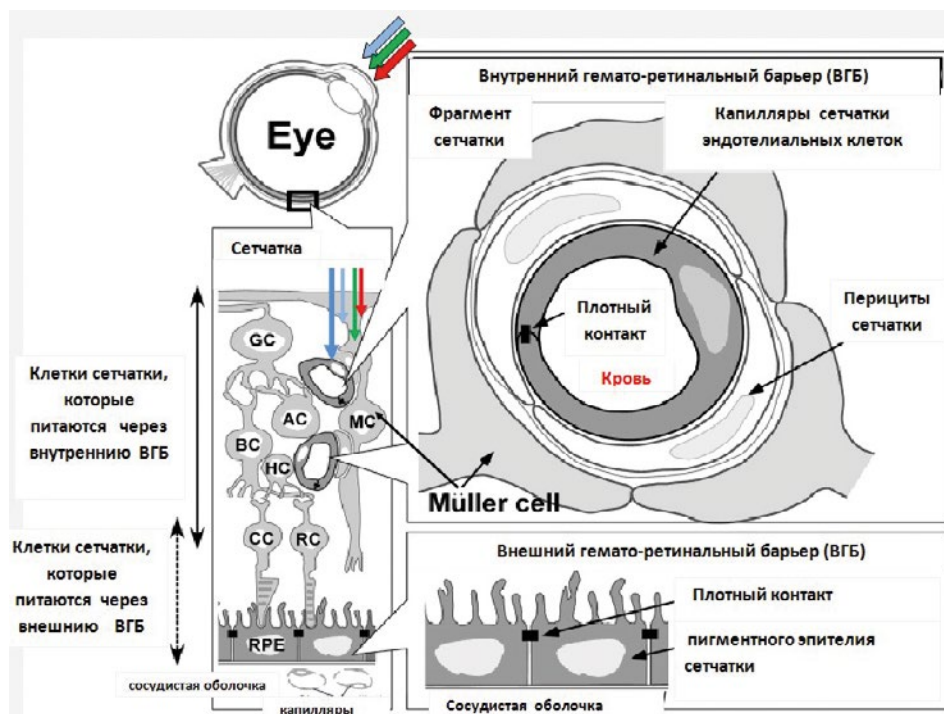


Рис. 1.129. Схематическое изображение сетчатки, внутреннего и внешнего гемато-ретиальных барьеров [1.287]. ГК – ганглиозные клетки; АС – амакриновые клетки; ВС – биполярные клетки; НС – горизонтальные клетки; МС – клетки Мюллера; RC – стержень фоторецепторов клеток; СС – колбочки; RPE – пигмент сетчатки эпителиальных клеток

Как было показано выше, свет формирует кровеносную систему глаза, воздействуя по цепочке «свет – ганглиозные клетки – гипоталамус – *вазо-прессин* – кровеносная система». Стекловидное тело охвачено кровеносной системой, важность которой очевидна, но неочевидно то, что под воздействием света при участии меланопсина происходит светозависимая релаксация (ослабление, расслабление) кровеносных сосудов.

Меланопсин, один из опсинов, не причастных к формированию изображения, имеет связь с некоторыми поведенческими реакциями на свет, в том числе с изменением циркадного ритма организма в ответ на чередование темных/светлых периодов, легким подавлением активности у ночных и бдительности у дневных животных. Orn4 играет физиологическую роль в регулировании функции кровеносных сосудов, особенно в процессе фоторелаксации (расслабление кровеносных сосудов в ответ на свет). Используя PCR (полимеразную цепную реакцию), было показано, что Orn4 (классический рецептор, связанный с G протеинами) содержится в кровеносных сосудах. Установлено, что в сосудах мышей без меланопсина (Orn4 [1.289]) фоторелаксации не происходит, чему препятствует маленькая молекула-ингибитор. *Расширение сосудов определяется длиной волны, с максимальной реакцией (больше всего они расширяются) на 430–460 нм.*

Функции Orn4 не только регулируют циркадное поведение, но и контролируют процессы роста и развития сетчатки [1.290].

Фоторелаксация не задействует эндотелиальный оксид азота, монооксид углерода, или цитохром P450, полученные вазоактивными простааноидами (простогланинами), но связана с сосудистой гиперполяризацией, как было показано измерениями внутриклеточного мембранного потенциала – (определенный тип связи между молекулами, которые расширяют/сужают сосуды). Синий свет (455 нм) регулирует вазореактивность (сокращение сосудов как реакция на стимул) хвостовой артерии *in vivo* (эксперимент в живой ткани, перенесенной из организма в искусственную внешнюю среду) и кровоток в хвосте живого организма, поддерживая потенциальную физиологическую роль этой системы сообщения. *Это эндогенный опсино-регулируемый, свето-активируемый молекулярный переключатель для расширения сосудов может быть использован для лечения заболеваний, в которых важно насколько расширены сосуды.*

Состояние кровеносных сосудов глаза очень важно для здорового зрения. Воспаление сосудистой оболочки глаза определяется как увеит. Это заболевание является частой причиной слабовидения и слепоты (около 25%). При увеите необходимо срочно обратиться к офтальмологу. Главными симптомами заболевания являются «туман» перед глазами, ухудшение зрения (возможна даже полная слепота), покраснение глаз, светобоязнь и слезотечение [1.291].

Классификация увеитов:

- передний увеит (иридоциклит) – поражается радужка и цилиарное тело;
- периферический увеит – вовлекается цилиарное тело и хориоидея, стекловидное тело и сетчатка;
- задний увеит (хориоидит) – поражается хориоидея, сетчатка и зрительный нерв;
- панувеит – воспаляется вся сосудистая оболочка глаза.

Чаще всего увеит вызывается инфекцией или системным воспалительным заболеванием. В некоторых случаях причина увеита *остаётся неизвестной*.

Увеит, или воспаление увеального тракта, встречается в офтальмологии в 30–57% случаев воспалительных поражений глаза. Увеальная (сосудистая) оболочка глаза анатомически представлена радужной оболочкой (iris), цилиарным или ресничным телом (corpus ciliare) и хориоидеей (chorioidea) – собственно сосудистой оболочкой, лежащей под сетчаткой. Отсюда основными формами увеита являются ирит, циклит, иридоциклит, хориоидит, хориоретинит. Большая распространенность увеитов связана с *разветвленной сосудистой сетью глаза* и замедленным кровотоком в увеальных путях. Как было показано выше, синий свет влияет на формирование сети сосудов и диаметра сосудов (сужение и расслабление). Данная особенность в определенной мере способствует задержке в сосудистой оболочке различных микроорганизмов, которые при определенных условиях могут вызывать воспалительные процессы. Другая принципиально важная особенность увеального тракта заключается в раздельном кровоснабжении его переднего отдела, представленного радужкой и ресничным телом, и заднего отдела – хориоидеи. Структуры переднего отдела снабжаются кровью, задними длинными и передними ресничными артериями, а хориоидея – задними короткими ресничными артериями. За счет этого поражение переднего и заднего отделов увеального тракта в большинстве случаев происходит раздельно. Иннервация отделов сосудистой оболочки глаза также различна: радужку и ресничное тело обильно иннервируют цилиарные волокна первой ветви тройничного нерва; хориоидея не имеет чувствительной иннервации. Названные особенности влияют на возникновение и развитие увеитов.

Взаимодействие света при определенной концентрации окиси азота влияет на состояние сосудов глаза и может создавать предпосылки для развития различных видов увеитов.

При *поражении сосудов* ослабевают защитные функции глаза, что приводит к прорастанию сосудов в сетчатку и попаданию крови в стекловидное тело.

Также увеит может быть обусловлен задержкой в сосудистой оболочке различных микроорганизмов, на борьбу с которыми мобилизуется иммунная система организма. Основным звеном патогенеза иммунного повреждения глаза является дисбаланс Т- и В-систем иммунитета.

1.8.8. Изменение сосудистой оболочки глаза японского перепела Coturnica Japonica в зависимости от спектрального состава освещения [1.292]

Жизнедеятельность сетчатки целиком и полностью зависит от кровоснабжения через собственную сосудистую оболочку (ССО) глаза. На протяжении всей жизни сетчатка, ее ретикулярный пигментный эпителий (РПЭ) и ССО постоянно подвергаются фотобиологическому воздействию ежедневного освещения. Наиболее активным фотобиологическим действием на тканевые и клеточные структуры глазного дна оказывает синяя область видимого диапазона (450–470 нм).

Авторы статьи [1.292] исследовали возможную роль синей компоненты повседневного освещения в формировании функциональных параметров ССО. Данное исследование является практически значимым в связи с тем, что в настоящее время широко дискутируется потенциальная опасность повседневного светодиодного освещения с высокой цветовой температурой (от 4500 К и выше), обладающего *избыточным излучением в синей области спектра (450–470 нм)* (Behar-Cohen et al., 2011; Зак, Островский, 2011). В работе были использованы самки японских перепелов в возрасте 15, 35 и 55 недель, что примерно соответствует человеческому возрасту – пятнадцати, сорока и семидесяти годам соответственно. Птицы содержались изолированно без присутствия самцов на экспериментальной базе ФГБУН ИМБП РАН (Института медико-биологических проблем РАН).

В полуторамесячном возрасте птицы были разделены на две группы с разными условиями освещения. Первая группа содержалась при общепринятом стандартном освещении обычной 50-ваттной лампой накаливания, вторая группа содержалась при синем светодиодном освещении. На рис. 1.130 приведено спектральное распределение энергии обоих источников освещения.

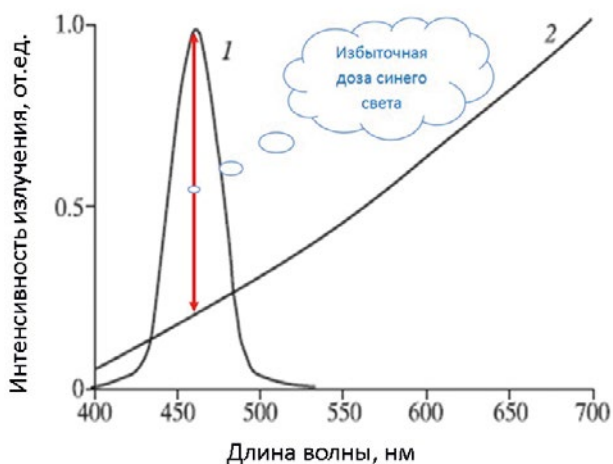


Рис. 1.130. Относительное спектральное распределение энергии коротковолнового (КВ) синего освещения (1) и длинноволнового (ДВ) освещения лампой накаливания (2). Абсолютные величины мощности обоих источников света выравнены и составляли 0.002 Вт/см²

Как следует из графиков, спектр излучения синего светодиодного освещения приходится на коротковолновую область видимого спектра – полосу 450–470 нм, а доминирующая спектральная полоса лампы накаливания приходится на длинноволновую часть (500–700 нм) видимого спектра. Далее по тексту длинноволновое освещение будет обозначаться, как ДВ-освещение, а коротковолновое – как КВ-освещение. Цикл суточного освещения состоял из 15 ч постоянного освещения с перерывом на 9-часовой ночной перерыв. Включение и выключение света производилось автоматически таймером-контроллером. Оба вида освещения были выравнены по мощно-

сти: 0,002 Вт/см² по центру птичьей клетки (40 см от источника освещения). Спектрометрические калибровки проводили спектрометрами Avantes-2048 (Avantes, Голландия) и МК-350 (Uptech, Тайвань).

В единицах освещенности свет использованной лампы накаливания составлял 200 Лк. Предельная длительность содержания птиц при разном спектральном освещении составила 49 нед. (1 год). Основные структурные компоненты ССО глаза японского перепела представлены на светомикроскопическом изображении ее поперечного среза (рис. 1.131), где хорошо различимы: супрахороидальное пространство, лакуны, расположенные непосредственно под супрахориоидеей; просветы малых кровеносных сосудов (артериол и венул), заполненные эритроцитами и окруженные многочисленными меланоцитами; просветы хориокапилляров, примыкающие вплотную к мембране Бруха.



Рис. 1.131. Поперечный срез хориоидеи японского перепела. СК – склера, СХ – супрахориоидея, ЛС – просветы лимфатических сосудов, КС – просветы малых кровеносных сосудов, м – меланоциты, хк – хориокапилляры, мб – мембрана Бруха, РПЭ – пигментный эпителий сетчатки. Длина масштабного отрезка – 20 мкм

Визуальный анализ срезов ССО на светооптическом уровне не выявил в ней четких морфологических различий между птицами, содержащимися при ДВ-освещении и синем КВ-освещении. Однако подробное морфометрическое исследование выявило целый ряд отличий в ССО птиц, содержащихся при КВ-освещении по сравнению с содержащимися при ДВ-освещении (таблица 1.7).

Таблица. Сопоставление ангиографических характеристик разновозрастных групп японских перелов в зависимости от спектрального состава освещения. Данные представлены в виде медианы и указанных в скобках первой и третьей квартилей согласно программе STATISTICA 10

Ангиографические характеристики: Медиана (в скобках величины первого и третьего квартиля)	Возраст, недели					
	15			35		
	ДВ	КВ	ДВ	КВ	ДВ	КВ
Толщина сосудистой оболочки, мкм	74.1 (67.2–91.6)	70.6 (62.4–84.2)	79.7 (73.3–84.2)	75.3 (65.3–106.3)	72.8 (58.1–73.1)	96.5 (71.2–125.1)
Суммарная площадь просветов сосудов на 1 мкм длины мембраны Бруха, мкм	8.1 (4.9–10.7)	7.0 (4.8–10.2)	15.7 (10.8–22.4)	21.7 (7.4–21.8)	8.0 (7.5–9.0)	11.3 (10.5–13.3)
Удельная доля просветов сосудов от площади хорионден, %	13.5 (10.0–7.9)	10.4 (6.2–15.6)	20.3 (14.9–24.1)	20.3 (13.7–26.9)	16.3 (13.4–18.5)	12.7 (8.5–19.0)
Средняя площадь просвета одиночного сосуда, мкм ²	616 (311–953)	470 (280–644)	823 (539–1193)	1571 (902–3018)	544 (336–789)	1028 (518–1667)
Коэффициент округлости сосудов	0.67 (0.47–81)	0.66 (0.50–0.78)	0.73 (0.57–0.84)	0.65 (0.43–0.77)	0.73 (0.58–0.83)	0.64 (0.44–0.85)
Численность сосудов на 1 мм длины мембраны Бруха	11.9 (10.3–12.6)	11.6 (8.4–14.1)	9.1 (8.0–10.3)	8.2 (6.3–9.8)	14.4 (11.7–15.5)	6.6 (6.4–14.2)
Численность капилляров на 1 мм длины мембраны Бруха	23.3 (17.7–1.3)	34.1 (29.4–39.3)	24.9 (21.1–28.5)	23.2 (19.7–28.6)	27.7 (24.6–31.0)	21.1 (20.9–21.3)
Капиллярно-сосудистое соотношение	2.0 (1.2–2.8)	3.2 (2.8–3.4)	2.4 (1.8–3.9)	2.8 (2.2–4.0)	2.2 (1.8–2.8)	3.2 (3.2–3.3)
Численность fenestr на 1 мкм длины капилляров	1.32 (0.77–1.97)	1.30 (0.97–1.76)	1.51 (0.88–2.02)	1.06 (0.67–1.59)	0.88 (0.61–1.56)	1.42 (0.45–2.29)
Удельная доля пигментированных клеток от общей площади хорионден	0.23 (0.22–0.29)	0.34 (0.28–0.41)	0.28 (0.25–0.41)	0.37 (0.33–0.43)	0.32 (0.23–0.38)	0.28 (0.19–0.32)

При исследовании ССО на электронно-микроскопическом уровне в эндотелии хориокапилляров хорошо различимы fenestr, расположенные в основном на поверхности, обращенной к мембране Бруха (рис. 1.132).

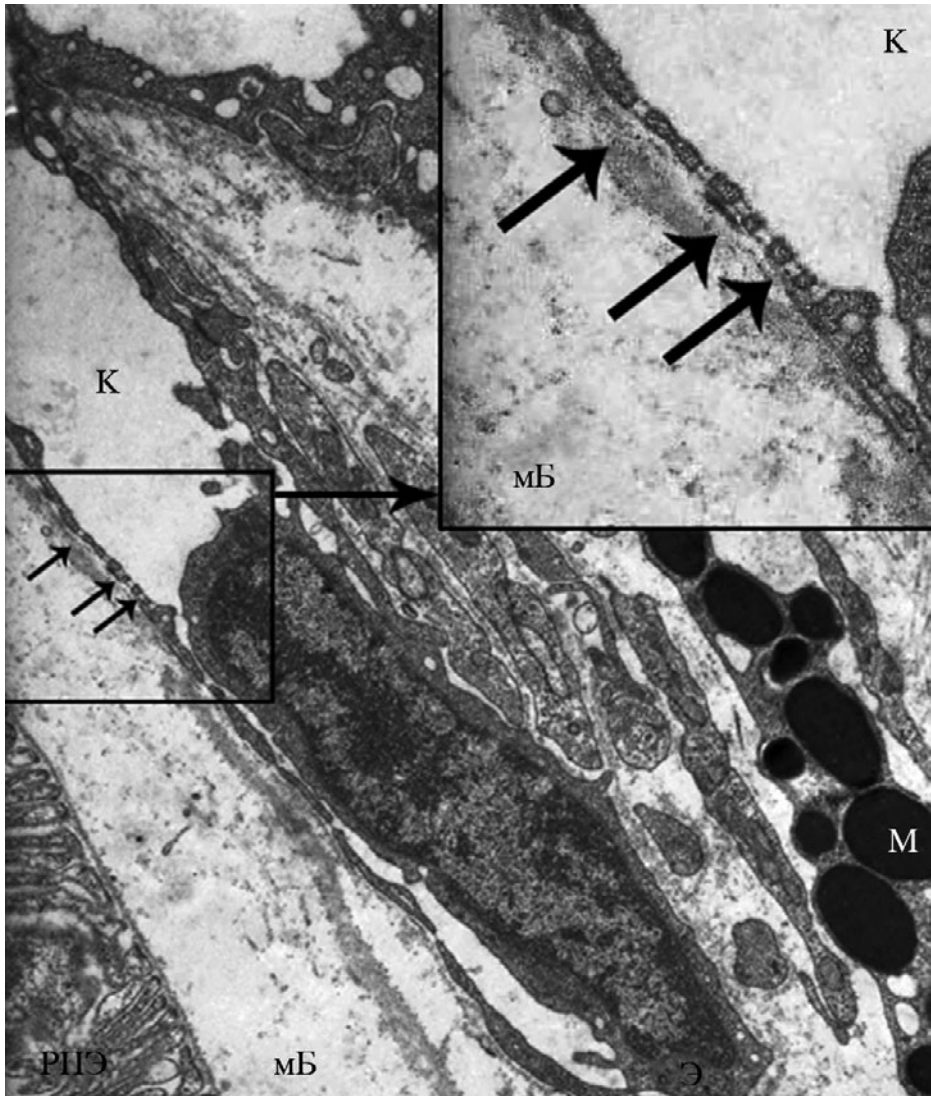


Рис. 1.132. Фенестрированный эндотелий хориокапилляров. Фенестры указаны стрелками. К – просвет капилляра, Э – эндотелиоцит, мБ – мембрана Бруха, РПЭ – пигментный эпителий сетчатки, М – меланосома. Трансмиссионная электронная микроскопия, увеличение $\times 25\,000$ [1.292]

Основные количественные результаты по морфометрическому анализу элементов ССО перепела японского приведены в таблице 1.7. Как следует из приведенных результатов, характер и степень выраженности изменений оказались различными у птиц, содержавшихся при ДВ- и КВ-освещении. Наибольшие изменения исследованных параметров хориоидеи отмечались в группах старых (возрастом 55 нед.) птиц, в меньшей степени – у молодых (15 нед.) и почти отсутствовали у средневозрастных (35 нед.). Так, общая толщина хориоидеи у 52-недельных птиц, содержавшихся при КВ-освеще-

нии, оказалась на 30% выше, чем у птиц, содержавшихся при ДВ-освещении, в то время как у молодых и средневозрастных птиц не наблюдалось значимых различий. Степень пигментации сосудов хориоидеи в целом повышалась с возрастом, причем у молодых и средневозрастных птиц содержание при КВ-освещении сопровождалось заметным повышением пигментации по сравнению с птицами, содержавшимися при ДВ-освещении. У старых птиц различия в пигментации оказывались менее выраженными.

Площадь просветов малых кровеносных сосудов средневозрастных и старых птиц в условиях КВ-освещения возрастала почти в 1,5 раза, в то время как у молодых птиц она несколько снижалась. Общая численность сосудов при этом достоверно не изменялась, как и их форма (коэффициент округлости). При КВ-освещении размеры поперечного сечения сосудов средневозрастных и старых птиц в среднем были значительно крупнее – почти в 2 раза, по сравнению с такими же птицами, содержащимися при ДВ-освещении. При этом у старых птиц, содержащихся при КВ-освещении, *сосудов становилось вдвое меньше*, по сравнению с птицами, содержащимися при ДВ-освещении. Однако при этом сами сосуды становились значительно более крупными, и их суммарная площадь просветов повышалась почти 1,5 раза по сравнению с птицами, находившимися при ДВ-освещении. Суммарная площадь просветов сосудов у средневозрастных птиц, содержащихся при КВ-освещении, также была повышена, однако эти различия были менее достоверными.

На уровне хориокапилляров наиболее значимые светоиндуцированные различия наблюдались у старых птиц. Так, при КВ-освещении у старых птиц численность фенестр оказалось в 1,5 раза выше, чем при ДВ-освещении, а число капилляров в 1,5 раза меньше. В условиях ДВ – освещения капиллярно-сосудистое соотношение практически не зависело от возраста. Однако у молодых птиц содержание при КВ-освещении приводило к полуторакратному повышению капиллярно-сосудистого соотношения за счет увеличения числа капилляров, а у старых птиц также к полуторо-кратному повышению, но на фоне резкого падения общей численности сосудов и капилляров.

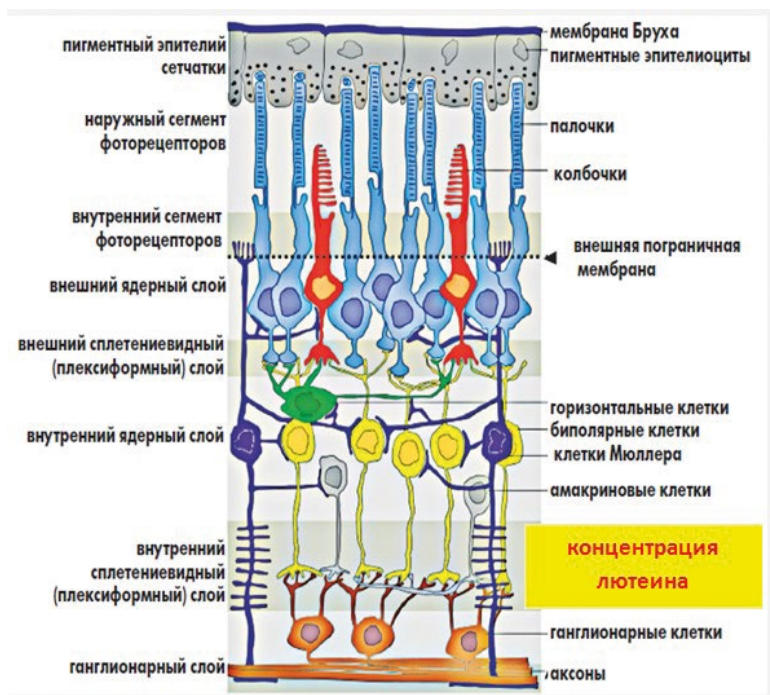
В целом полученные результаты свидетельствовали о выраженном специфическом действии синего КВ-освещения на состояние ССО. Как было показано, в молодом возрасте постоянное ежесуточное пребывание при синем свете активизирует ангиогенез ССО, но к старости это приводит к заметному ухудшению состояния ССО по сравнению с птицами, находившимися при освещении длинноволновым светом лампы накаливания. По мнению авторов, это может свидетельствовать о том, что освещение синего диапазона ускоряет темп жизнедеятельности и приводит к более раннему состариванию ССО глаза. Ранее было показано (П. П. Зак и др., 2015), что у молодых перепелов *C. japonica* ежедневное пребывание при синем освещении приводит к полуторакратному повышению обменных процессов в РПЭ, а также к 15%-му повышению репродуктивных функций (яйценоскость). Достаточно хорошо известно, что на уровне целого организма синее освещение (450–470 нм) препятствует выработке мелатонина и активизирует общую жизнедеятельность в ущерб поддержанию

нормальной суточной ритмики обменных процессов. Данные настоящей работы по возрастному ангиогенезу *C. japonica* коррелируют с рядом научно-литературных данных по состоянию ССО глаза человека. Так, известно, что с возрастом ССО человека становится тоньше (Ramrattan et al., 1994) [1.292]. Показано также, что у человека по мере старения (от 22 до 90 лет) снижается удельная доля просветов кровеносных сосудов в общей площади хориоидеи на поперечном сечении (Sonoda et al., 2015) [1.292]. Как показано в данной работе, степень фенестрированности эндотелия хориокапилляров японского перепела снижается с возрастом. У человека также на ранних стадиях возрастной ретинопатии обнаруживаются аналогичные изменения капилляров ССО [1.292]. Общий характер возрастных изменений хориоидеи японского перепела свидетельствует об ухудшении кровоснабжения сетчатки. Это коррелирует с данными о том, что у пожилых людей наблюдается снижение объема крови, способного проходить через хориоидею [1.292]. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности использования японского перепела *C. japonica* в качестве экспериментального объекта по моделированию возрастных изменений ССО глаза в укороченной временной шкале, а также в том, что фотобиологическая чувствительность сосудистой оболочки является самостоятельным и весомым звеном регуляции гомеостаза сетчатки и РПЭ [1.292].

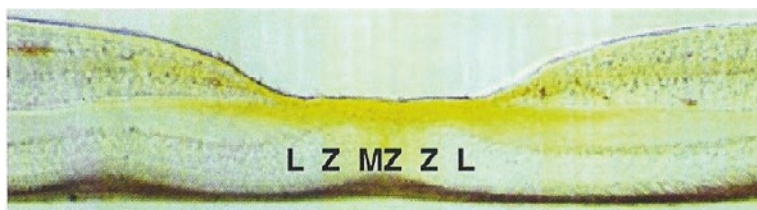
1.8.9. «Желтое пятно» как элемент защиты от синего света

Первый обзор литературы по макулярному желтому пятну был опубликован еще в 1798 году. Специалисты давно обнаружили и изучают это пятно, но оно содержит много тайн, обусловленных трудностями его изучения, которое требует все более совершенного оборудования. Желтое пятно находится на центральной части сетчатки, где, собственно, и формируется детальное цветное зрение. Желтое пятно – действительно желтое, за счет особых желтых пигментов, каротиноидов. Исследования показали, что эти пигменты в человеческом организме не синтезируются. Их «доставка» в организм возможна только с пищей. Если этих пигментов недостаточно, плотность желтого пятна у взрослого человека уменьшается, и уменьшаются его свойства как защитного экрана от агрессии прямых световых лучей. В организме младенца желтое пятно находится в стадии формирования, и для успешного процесса каротиноиды совершенно необходимы. Из сотен видов каротиноидов в отлично защищенную ткань глаза способен проникнуть только лютеин. Лютеин и его изомер зеаксантин выполняют две важнейшие функции: увеличивают остроту зрения и защищают сетчатку от агрессивной сине-фиолетовой части видимого спектра – разрушительного действия свободных радикалов, которые образуются под прямыми солнечными лучами.

В сетчатке глаза человека лютеин концентрируется преимущественно в макуле (центральной зоне сетчатки), поэтому называется макулярным пигментом. Химический анализ макулярного пигмента выявил два стереоизомера с одинаковыми свойствами – лютеин и зеаксантин. Соотношение этих изомеров отличается в разных тканях (например, в сетчатке и плазме крови), поэтому предполагается, что они могут локально трансформироваться друг в друга. Исследование F. Khachik et al. (1997) показало, что эти



а)



б)

Рис. 1.135. Область наибольшей концентрации лютеина

Свойства пигмента макулы (желтого пятна):

- уникально расположен на макуле;
- натуральная солнцезащита. Защищает от повреждений blue light;
- убирает свободные радикалы, действуя в качестве мощного антиоксиданта;
- состоит из каротиноидов: лютеина, зеаксантина и мезо-зеаксантина;
- мезо-зеаксантин (MZ) сосредоточен в центре желтого пятна в пигментной ямке;
- L-Z сосредоточены в периферической макуле.

В настоящее время предполагается, что макулярный пигмент с его максимумом поглощения при 460 нм (синяя область) выполняет несколько функций. Среди них – снижение влияния хроматической аберрации глаза за счет снижения интенсивности синего аберрационного «ареола» при аккомодации глаза в области максимальной средней чувствительности (550 нм) и по-

вышение, тем самым, остроты зрения, а также антиоксидантная – сочетание высокого парциального давления кислорода в сетчатке (до 70 мм рт. ст.) и наличия чувствительных к фотоокислению полиненасыщенных жирных кислот мембран создает предпосылки к развитию окислительного стресса, и высокая концентрация липофильных ксантофиллов, обладающих антиоксидантными свойствами, предотвращает окислительное повреждение клеток [1.294].

Поскольку лютеин является желтым пигментом, полагают, что он действует как фильтр синего света, относящегося к высокоэнергетической части видимого спектра. Свет с длиной волны 290–320 нм (УФ спектр В) и 320–400 нм (УФ спектр А) поглощается, соответственно, роговицей и хрусталиком. Спектр света, длина волны которого выше 400–700 нм, достигает сетчатки. В 1945 году G. Wald доказал, что желтый пигмент центральной области сетчатки поглощает свет с длиной волны **430–490 нм** (максимум поглощения – 460–465 нм). Им также были определены специфические каротиноиды сетчатки и доказана их локализация в макулярной области. Дальнейшие исследования были направлены на изучение химической структуры лютеина и зеаксантина, а также их значение для зрения [1.294].

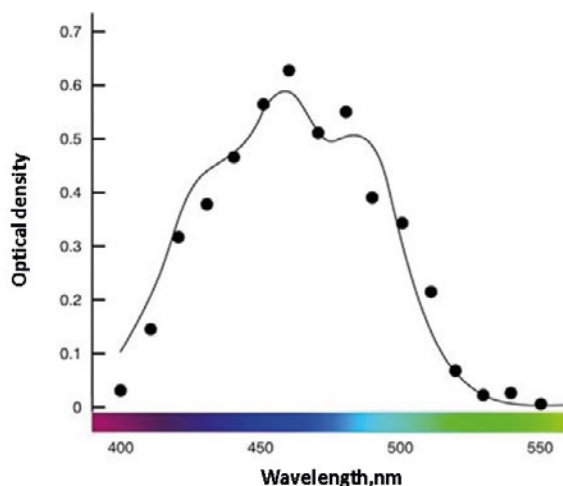


Рис. 1.136. Спектр поглощения МП достигает максимума при 460 нм. Среднее количество МР (0,40 единиц оптической плотности) отфильтровывает ~ 40% синего света, падающего на макулу [1.295]

Желтое пятно имеет свою историю формирования. Сразу после рождения у ребенка довольно слабое зрение. Сетчатка находится в стадии формирования, а желтое пятно будет формироваться до полного созревания еще несколько лет. Не нужно доказывать, какое огромное значение имеет зрение в жизни человека, по данным некоторых исследований, до 90% всей поступающей в мозг информации составляет именно информация визуальная. *Поэтому правильное развитие органов зрения (желтого пятна) – это еще и гарантия адекватного психического, интеллектуального и эмоционального развития младенца.* Лютеин содержится в желто-красных фруктах

и овощах – моркови, хурме, кукурузе, тыкве. Много его в шпинате и капусте брокколи, а также в желтке куриных и перепелиных яиц. Если кормящая мама включает в свой рацион достаточное количество лютеинсодержащих продуктов, то через молоко лютеин попадает в организм младенца, и проблем с правильным формированием органов зрения, как правило, не возникает. Но что делать, если ребенок находится на вынужденном искусственном вскармливании? Прикорм, когда в питание ребенка допускается добавить тот же желток или брокколи, возможен только через несколько месяцев после рождения. *До недавнего времени производители детских молочных смесей не включали в состав своих продуктов лютеин.* Но оказалось, что даже если детское питание сбалансировано с точки зрения жиров, белков, углеводов, микроэлементов и витаминов, но не содержит лютеин, оно не может гарантировать правильное формирование органов зрения, а также нормальное интеллектуальное развитие. Задержка в формировании органов зрения ведет и к задержке формирования процессов восприятия информации. *Кроме того, исследования показали, что лютеин присутствует в тех отделах головного мозга, которые отвечают за память и способность к обучению.* С возрастом свойства желтого пятна меняются: уменьшается эффективность его защиты, происходит деградация защитных функций глаза (рис. 1.137).

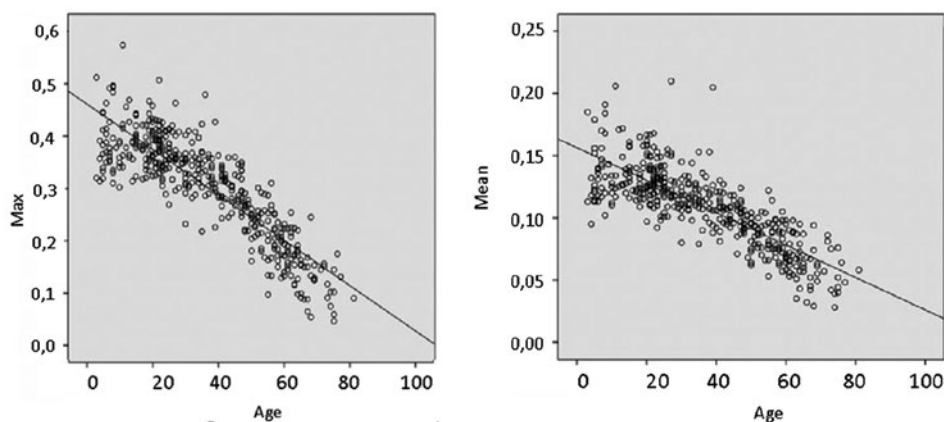


Рис. 1.137. Отношения между возрастом и оптической плотностью макулярного пигмента MPOD. Слева: обратная зависимость между возрастом и максимальным OD. Справа: обратная связь между возрастом и средним показателем [1.296]

Плотность макулярного пигмента снижается не только с возрастом, но и у пациентов с ожирением [1.297].

Для обеспечения эффективности защиты желтого пятна зрачок глаза должен обеспечить, чтобы изображение наблюдаемого объекта в условиях заданного спектра освещения попало в центральную часть желтого пятна. Сетчатка глаза человека представляет собой довольно однородную поверхность, помимо двух аномальных областей. Вся оптическая система глаза (роговица, хрусталик) работает над тем, чтобы собрать световой поток в определенном месте сетчатки. Место соприкосновения этого собранного луча света с сетчаткой носит название центральная ямка, или фовеа, и пред-

ставляет собой некоторое углубление в сетчатке. Диаметр ее чуть больше 1 мм. Принято считать, что центральная ямка, или фовеа, содержит в себе только колбочки, причем их плотность значительно выше, чем в среднем по сетчатке глаза. Однако при условии, что сегодня всё популярнее становится теория нелинейного двухкомпонентного зрения, этот факт ставится под сомнение. Приверженцы этой теории считают, что колбочки неспособны распознавать цвета синего спектра (подобным распознаванием занимаются палочки), и если человек способен своим центральным зрением распознавать весь цветовой спектр, значит центральная ямка, или фовеа, должна включать в себя и палочки. Учитывая высокую плотность фоторецепторов и схожесть их строения, ни доказать, ни опровергнуть этого пока не удалось. В любом случае высокая плотность фоторецепторов-колбочек позволяет получать четкое цветное изображение. Вокруг центральной ямки, или фовеа, можно условно описать эллипс с радиусом 2,5–3 мм. Эта область называется макула, или желтое пятно. В отличие от остальной сетчатки, где преобладает лютеин, в желтом пятне больше зеаксантина, что выделяет макулу её желтизной среди остальной сетчатки. Вообще желтая пигментация служит для защиты сетчатки глаза от ультрафиолета. Учитывая тот факт, что на макулу приходится свыше 80% света, попадающего в глаз, она должна быть наиболее защищена. Плотность фоторецепторов в макуле, или желтом пятне, выше, чем в среднем в сетчатке, хотя и ниже, чем в центральной ямке (фовеа). Анатомическое строение макулы в плане представлено *двумя или более слоями ганглиозных клеток*. Исходя из месторасположения желтого пятна, видно, что оно не защищает от «синей опасности» ганглиозные клетки и клетки Мюллера. Именно они воспринимают свет сфокусированного и отфильтрованного от УФ света оптической системой глаза.

Механизмы макулярного отека [1.298]

Отек макулы состоит из внутри- или субретинального скопления жидкости в макулярной области. Это происходит во время многочисленных заболеваний сетчатки и может привести к серьезным нарушениям центрального зрения. Основными причинами отека желтого пятна являются диабет, окклюзия ветвей и центральной вены сетчатки, неоваскуляризация сосудистой оболочки, задний увеит, послеоперационное воспаление и центральная серозная хориоретинопатия.

Здоровая сетчатка поддерживается в относительно обезвоженном, прозрачном состоянии, совместимом с оптимальной передачей света несколькими активными и пассивными системами. Накопление жидкости происходит из-за дисбаланса между процессами, управляющими входом и выходом жидкости, и обусловлено *уравнением Старлинга*, когда нарушаются внутренние или внешние барьеры крови и сетчатки. В этом обзоре рассматриваются многочисленные и запутанные механизмы, участвующие в гидроионном гомеостазе сетчатки, их молекулярная и клеточная основа и то, как их дерегуляция приводит к отеку сетчатки.

Анализируя распределение соединительных белков и водных каналов в макуле человека, выдвигается несколько гипотез, объясняющих, почему отек образуется именно в макулярной области. «Чистые» клинические

фенотипы макулярного отека, возникающие, по-видимому, в результате одного причинного механизма, детализированы. Наконец, исследуется диабетический макулярный отек, как сложный многофакторный патогенный пример. Этот всесторонний обзор современного понимания отека желтого пятна и его механизмов открывает перспективы для выявления новых профилактических и терапевтических стратегий для этого угрожающего зрению состояния.

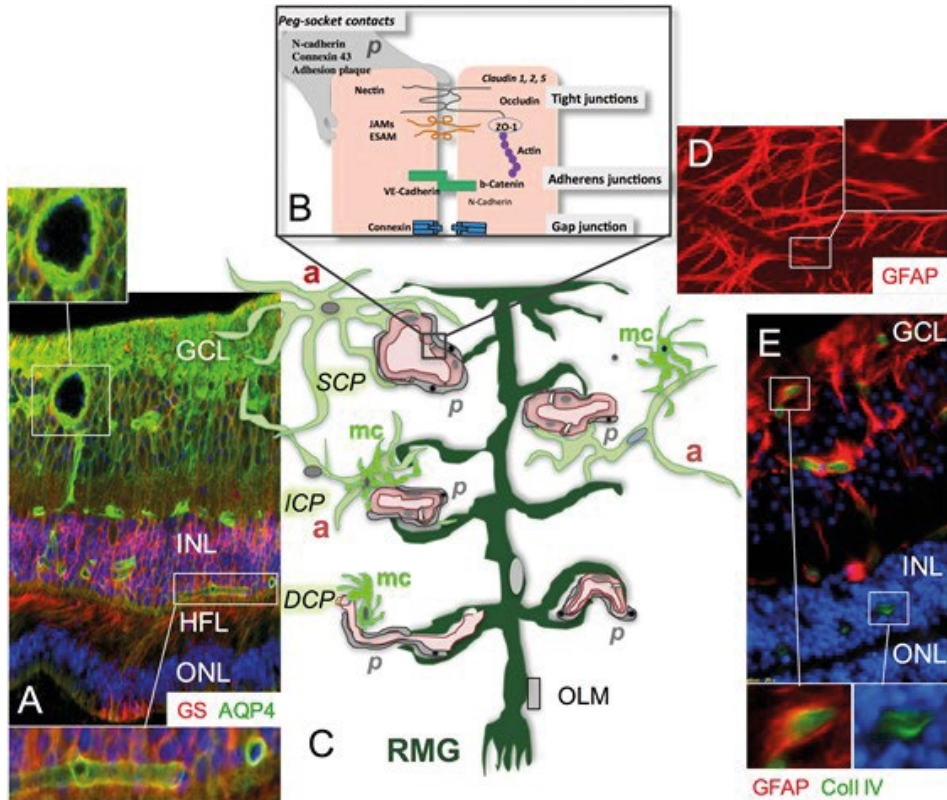


Рис. 1.138. Клеточные и молекулярные компоненты внутреннего гематоэнцефалического барьера

А. Срез сетчатки человека, помеченный для AQP4, который окружает зеленые сосуды, глутаминсинтазу (GS, глиальные клетки Мюллера сетчатки, красный) и Dapi (ядра, синие), показывающие, что глиальные клетки Мюллера сетчатки, экспрессирующие AQP4, охватывают капилляры сетчатки на уровне поверхностных и глубоких капиллярных сплетений (верхние и нижние вставки соответственно). В глубоком капиллярном сплетении (низкий вклад) AQP4 и GS совместно окрашивают стенку сосуда.

В. Соединительный комплекс между эндотелиальными клетками сосудистой сетчатки, образующий внутренний барьер сетчатки. Плотные соединения образованы окклюдинами, клаудинами 1,2 и 5, JAM-A и C и связаны с актиновым цитоскелетом с помощью ZO-1. Адгезивные соединения обра-

зованы VE-кадгеринном, β -катенином и N-кадгеринном. Разрывные соединения образованы полуканалами из 6 коннексинов. Соединение перицит-эндотелиальных клеток состоит в основном из N-кадгерина и коннексина-43.

С. Схематическое изображение нервно-глио-сосудистой единицы, образующей внутренней гемато-ретиальный барьер, состоящий из эндотелиальных клеток сосудов, перицитов (р), глиальных клеток Мюллера сетчатки (RMG), астроцитов (а), микроглии (mc). Глиальные ретиальные клеточные проекции Мюллера присутствуют на уровне всех сосудистых сплетений сетчатки (поверхностное, SCP; промежуточное, ICP и глубокое, DCP), тогда как астроциты присутствуют только на уровне поверхностного сплетения.

Д. Маркировка астроцитов с помощью GFAP, окружающей сосуда сетчатки на плоской поверхности сетчатки человека, показывает, что в поверхностных слоях сосудов астроциты являются основным глиальным компонентом глиоваскулярной единицы.

Е. Срез сетчатки человека, помеченный GFAP (астроциты и конечные клетки клеток RMG, красный) и коллаген IV (сосуды, зеленый), показывающий маркировку астроцитов на уровне поверхностного сосудистого сплетения (левая вставка) и отсутствие маркировки астроцитов на уровне глубокого сосудистого сплетения (правая вставка). В глубоком капиллярном сплетении основным глиальным компонентом нейрорглиоваскулярной единицы является клетка PMG. GCL = слой ганглиозных клеток; INL = внутренний ядерный слой; HFL = слой волокна Henle; ONL = внешний ядерный слой; OLM = внешняя ограничивающая мембрана; PMG = глиальная клетка Мюллера сетчатки; а = астроцит, mc = микроглия; SCP = поверхностное капиллярное сплетение; DCP = глубокое капиллярное сплетение; ICP = промежуточное капиллярное сплетение.

Почему образуется отек сетчатки?

Увеличение попадания жидкости в сетчатку. В дополнение к разрушению внутреннего и наружного гематоэнцефалического барьера, позволяющего проникать жидкости, постоянное накопление жидкости в сетчатке зависит от нескольких факторов, которые могут различаться в зависимости от клинической этиологии ME. Когда барьерные функции больше не действуют, уравнение Старлинга управляет движением жидкости между различными отсеками. Оно позволяет рассчитывать движение жидкости по капиллярным мембранам, объединяя эффекты гидростатических и онкотических сил (называемых «силами Старлинга»). Чистое движение жидкости через капилляры является результатом диффузии, фильтрации и пиноцитоза, но уравнение Старлинга относится только к параметрам фильтрации. Направление и степень пассивного обмена воды между ретиальным и хориоидальным экстраваскулярными отделениями и внутрисосудистыми отделениями (образованными капиллярами сетчатки, хориокапиллярами и крупными сосудистыми сосудами) в основном определяется их относительным гидростатическим и онкотическим давлениями. Гидростатическая сила внутри капилляров представляет собой положительное давление, создаваемое сердечными сокращениями, в то время как гидростатическое давление в определенных тканях может достигать отрицательных значений в результате

лимфодренажа и сокращения мышц (Aukland and Reed, 1993). В сетчатке отсутствие лимфатических сосудов может быть, по крайней мере, частично компенсировано активным транспортом трансэпителиальной жидкости через RPE в направлении choriocapillaris (Marmor et al., 1985, Nickla and Wallman, 2010). Точные значения гидростатического давления в различных слоях нейросенсорной сетчатки не известны, но ожидается, что они также будут отрицательными в физиологическом состоянии.

Уравнение Старлинга гласит:

$$J_v = K_f \times ([P_c - P_i] - \sigma \times [\pi_c - \pi_i])$$

где:

- J_v – чистое движение жидкости между отсеками,
- K_f – константа пропорциональности, называемая коэффициентом фильтрации,
- $([P_c - P_i] - \sigma \times [\pi_c - \pi_i])$ – это чистая движущая сила,
- P_c – капиллярное гидростатическое давление,
- P_i – межзельное гидростатическое давление,
- π_c – капиллярное онкотическое давление,
- π_i – интерстициальное онкотическое давление,
- σ – коэффициент отражения.

Из-за низкой концентрации белка в стекловидном теле, наличия ретикулярных барьеров, а также структуры и функции сосудистой оболочки сосудистой оболочки устанавливается градиент белка от стекловидного тела к сосудистой оболочке, что обеспечивает постоянный отток воды. Любое увеличение концентрации белка в сетчатке в интерстициальной ткани сетчатки вызывает накопление воды, вызванное осмотическими силами. Умеренное увеличение сосудов с увеличением транспорта пиноцитов, но без разрыва эндотелиальных плотных соединений (и, следовательно, без значительной утечки белка в нейросенсорной сетчатке), не может привести к образованию отека сетчатки. С другой стороны, интенсивная экстрavasация белков и липидов связана с очаговым отеком вокруг так называемых «экссудатов». OLM представляет собой фильтр для макромолекулярной диффузии из субретинального пространства во внешний ядерный слой (Marmor et al., 1985, Marmor, 1990). Если OLM сохраняется, белки могут накапливаться в сетчатке, но остаются внутренними по отношению к OLM. Накопление белков в слое фоторецепторов может вызвать нейрональную токсичность (Cachafeiro et al., 2013). Разрыв OLM позволяет протеинам диффундировать в субретинальное пространство, вызывая последующий гиперосмотический стресс RPE и потенциальные дополнительные повреждения (Willermain et al., 2014). Нарушение OLM при ОКТ связано с ухудшением зрительного прогноза в условиях, проявляющихся ME, как подробно было описано ранее. В зависимости от микроокружения белки, липиды и гликопротеины могут образовывать *малорастворимые агрегаты*. Эти экссудаты могут сохраняться или требовать месяцы для регресса, как это наблюдается клинически.

Таким образом, гомеостаз ткани обеспечивается правильной регуляцией ее энергетического метаболизма, ее гидроионного баланса и межклеточных связей. Как следствие острого или хронического стресса, отек может возни-

кать и самопроизвольно рассасываться через лимфодренаж, так как гомеостаз тканей восстанавливается. В сетчатке, как и в паренхиме головного мозга, лимфатических сосудов нет, и ограниченный дренаж белка и жидкости происходит в нормальных условиях, потому что барьеры активно поддерживают локальную микросреду от любого неконтролируемого проникновения. Сетчатка и, в частности, макула функционально чрезвычайно чувствительны к любым изменениям их состояния гидратации, чтобы обеспечить надлежащую передачу света на фоторецепторы. Кроме того, любое нарушение локальной микросреды впоследствии угрожает структуре и нервной функции макулярной области. Таким образом, регуляторные механизмы, специфичные для макулы, должны присутствовать. Мы выдвинули гипотезу о том, что «лимфатическая система», очень похожая на механизмы, наблюдаемые в мозге, является важным и недооцененным механизмом оттока жидкости и белка из макулы. Несмотря на то что были проведены обширные исследования для расшифровки механизмов разрушения барьера и выявления молекул, вызывающих или предотвращающих образование отеков, мало внимания уделялось точной молекулярной и клеточной специфичности макулы и фовеа. Тем не менее ни одна животная или клеточная модель не может сравниться со знаниями, полученными в результате анализа структуры макулы человека. С развитием новых технологий визуализации следует ожидать значительных улучшений структурного анализа макулы *in vivo*. Параллельно следует исследовать молекулярный и метаболический анализ клеток, составляющих макулу, в нормальных и патологических условиях с использованием более сложных технологий. Возвращение к базовым знаниям, к которым возвращаются междисциплинарные технологические инструменты, скорее всего, расширит наше видение отека желтого пятна и поможет нам нырнуть ниже его поверхности. С этими новыми знаниями появятся инновационные методы лечения.

1.8.9.1. Зависимость накопления липофусцина в клетках ретинального пигментного эпителия от уровня содержания ретинальных оксикаротиноидов [1.298]

По данным авторов статьи [1.298], которую мы далее цитируем, ретинальный пигментный эпителий (РПЭ) играет незаменимую роль в жизнедеятельности сетчатки и в первую очередь ее фоторецепторных клеток. Дисфункция или гибель клеток РПЭ приводит к последующей гибели фоторецепторных элементов с возникновением возрастных дистрофических ретинальных заболеваний. Как известно, к старости клетки РПЭ человека переполняются фототоксичными липофусциновыми гранулами (ЛГ), которые фототоксичны и повреждают клетки РПЭ по свободно-радикальным механизмам окисления. В РПЭ японского перепела *Coturnix japonica*, использующегося в качестве лабораторной модели *ускоренного старения сетчатки* (УСС), предельное накопление ЛГ происходит уже к 1–1,5 годам, по сравнению с человеком, у которого это происходит к 60–70 годам. В защите сетчатки от опасности повреждающего действия света важную роль играют оксикаротиноиды (ОК) – *лютеин*, *зеаксантин*, локализованные в фоторецепторных клетках как человека, так и японского перепела. Уровень содержания ретинальных ОК, как у человека, так и у *C. japonica*, легко и обратимо меняется.

Установлено, что в РПЭ человека ретинальные ОК препятствуют накоплению фототоксичных соединений в ЛГ (так называемые А2Е и его производные). В связи с этим можно предположить, что ретинальные оксикаротиноиды ОК способны ограничивать возрастное накопление липофусцина.

На модельной системе – глаза птиц *C. japonica*, авторы попробовали оценить зависимость возрастного накопления ЛГ в клетках РПЭ от уровня содержания оксикаротиноидов в сетчатке и самом РПЭ.

Исследования были проведены на разновозрастных птицах *C. japonica*, с 2-месячного до годовичного возраста. Использовались свежевыделенные кусочки ткани *сетчатки* (УСС) и РПЭ 15-минутного приготовления, начиная с момента декапитации птиц. Птиц предварительно темноадаптировали в течение 40 минут, что позволяло достаточно чисто разделять ткани РПЭ и сетчатки УСС.

Заданные уровни ретинальных ОК поддерживались контролируемым содержанием лютеина и зеаксантина в птичьей корме. Содержание ОК в сетчатке и РПЭ измеряли по оптической плотности спектров поглощения хлороформ-метанольных экстрактов на спектрофотометре UV-1700 PharmaSpec, Shimadzu. Образцы таких спектров приведены на рис. 1.139.

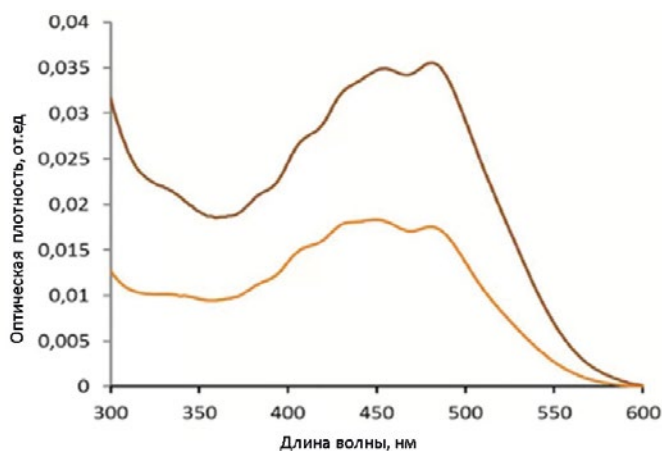


Рис. 1.139. Образцы спектров поглощения метанол-хлороформных экстрактов из сетчаток 2-летней особи *C. japonica* 53-недельного возраста, отличающихся в два раза по содержанию ретинальных каротиноидов

ЛГ идентифицировали люминесцентной микроскопией (микроскоп Axioscope 40, Zeiss, длина волны возбуждения 450 нм) по характерному золотистому свечению в клетках РПЭ. Далее по сделанным микрофотографиям производили морфометрический подсчет объема ЛГ по отношению к цитоплазматическому объему безъядерной зоны клеток РПЭ. Образцы микрофотографий РПЭ в поле зрения люминесцентного микроскопа приведены на рис. 1.140.

На фотографиях просматриваются гексагональная упаковка клеток РПЭ с центральным расположением клеточных ядер и золотистые липофусциновые гранулы внеядерной зоны цитоплазмы. Левая микрофотография – пере-

пел группы А с высоким содержанием ретиальных каротиноидов, правая – перепел группы Б с низким содержанием каротиноидов. Было проведено две серии измерений количества липофусцина в клетках РПЭ УСС. japonica.

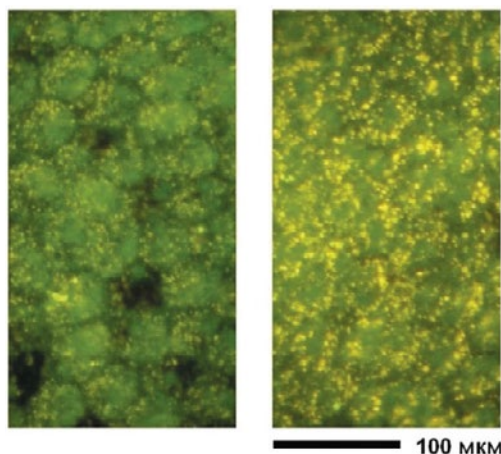


Рис. 1.140. Картина флюоресценции липофусциновых гранул РПЭ (длина волны возбуждения 450 нм) у двух особей *C. japonica*, отличающихся в два раза по содержанию ретиальных каротиноидов

В первой серии экспериментов было подсчитано объемное содержание липофусцина в клетках РПЭ старых и молодых птиц, содержавшихся в течение года на фиксированной оксикаротиноидной диете. Было найдено, что за время старения от 13-недельного до 43-недельного возраста происходит 17-кратное увеличение объемного содержания липофусцина в клетках РПЭ (рис. 1.141).

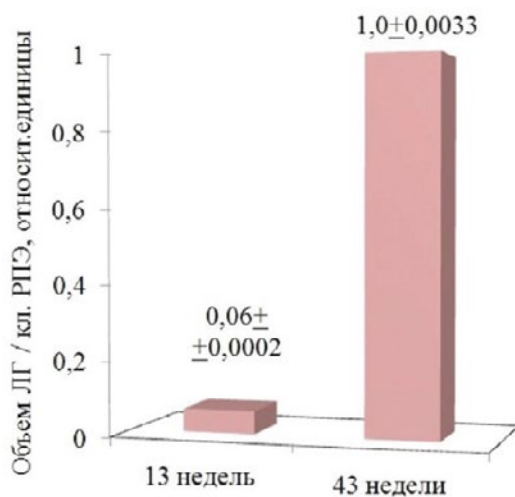


Рис. 1.141. Возрастное накопление липофусцина в клетках РПЭ *C. japonica* от 13-недельного до 43-недельного возраста при содержании птиц на фиксированной оксикаротиноидной диете

По вертикальной оси отложены относительные величины объема липофусцина в клетках РПЭ, нормированные к объему липофусцина в РПЭ старых 43-недельных птиц. Эти результаты соответствовали ранее опубликованным данным Fiteetal о пятикратном повышении численности ЛГ в РПЭ старых перепелов по отношению к молодым особям.

Во второй серии измерений авторы сравнивали количество липофусцина в клетках РПЭ у 2 групп старых 56-недельных птиц, имевших двукратные различия в содержании ретинальных ОК.

У птиц группы А (пять птиц) содержание ретинальных каротиноидов составляло 3,1 мкг/г. сыр. веса $\pm 0,27$ (σ), и у птиц группы Б (семь птиц) – 1,49 мкг/г. сыр. веса $\pm 0,09$ (σ).

На рис. 1.134 приведены микрофотографии клеток РПЭ, где можно видеть, что у птиц группы Б численность ЛГ заметно выше, сами гранулы крупнее и интенсивность их флюоресценции ярче, чем у птиц группы А, имевших повышенное содержание ретинальных каротиноидов. Морфометрическая обработка таких фотографий показала, что у птиц с высоким содержанием ретинальных каротиноидов – группа А – объем липофусцина в клетках РПЭ оказывается в полтора раза ниже, чем у птиц группы Б (рис. 1.142).

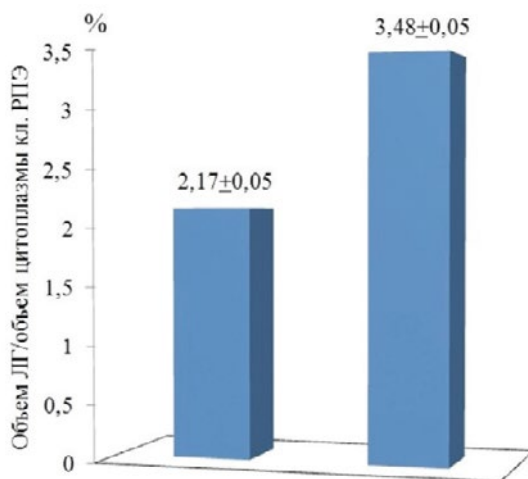


Рис. 1.142. Объемы липофусцина в цитоплазме клеток РПЭ 2 групп перепелов *S. japonica*, отличающихся в два раза по содержанию ретинальных каротиноидов. Левый столбец – птицы группы А с высоким содержанием ретинальных ОК; правый столбец – группа Б с низким содержанием ОК

При интерпретации приведенных данных необходимо иметь в виду, что ретинальные ОК локализованы в фоторецепторных клетках, но не в клетках самого РПЭ. Поэтому их действие на накопление ЛГ в клетках РПЭ перепела, вероятно, является опосредованным и реализуется через межклеточные взаимодействия фоторецепторов и РПЭ. В самом РПЭ, по измерениям авторов, также присутствуют собственные каротиноиды, но в заметно меньших количествах: примерно в 200 раз меньше по сравнению с сетчаткой.

Данные, полученные на модельной системе – глаза птиц *C. japonica*, свидетельствовали о зависимости возрастного накопления ЛГ в клетках РПЭ от уровня содержания *оксикаротиноидов* в сетчатке и ее пигментном эпителии.

1.8.10. Клетки Мюллера как элемент защиты от синей части спектра

Впервые клетки Мюллера были описаны немецким анатомом Генрихом Мюллером (1820–1864). Особенностью мюллеровских клеток является то, что они простираются от внутренней (граничит со стекловидным телом) до внешней пограничной мембраны. Тела клеток находятся во внутреннем зернистом слое. Потеря архитектоники клеток Мюллера имеет значение при отслоении сетчатки. На рис. 1.143 приведены формы клеток Мюллера в зависимости от места их расположения в сетчатке.

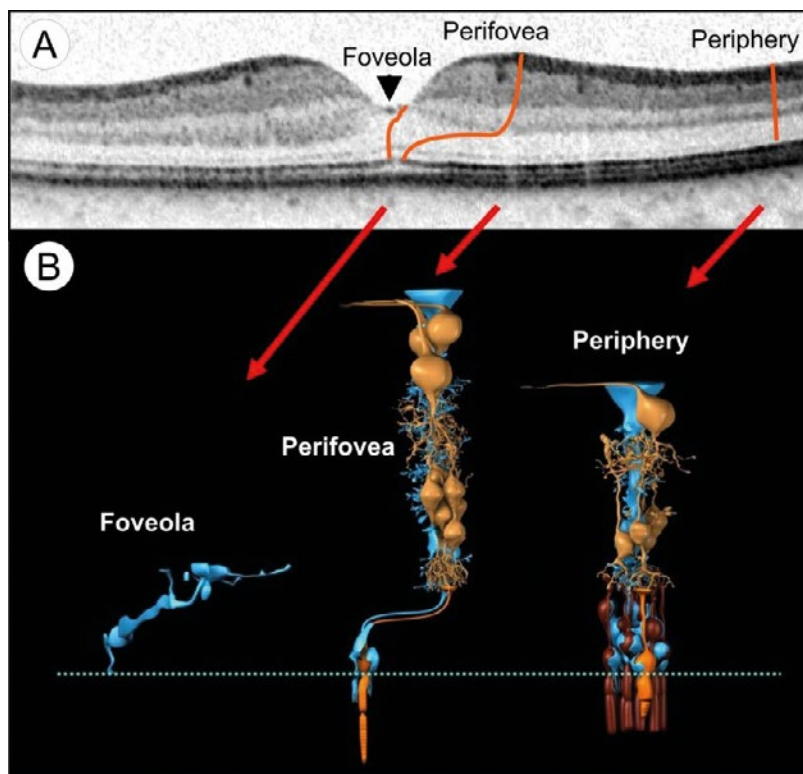


Рис. 1.143. Три различных (морфологических) подтипа клеток Мюллера встречаются в сетчатке приматов [1.299]

Результаты исследования, проведенного в университете Лейпцига в 2007 году, показали, что клетки Мюллера обладают светопроводными функциями. Они собирают свет с передней поверхности сетчатки и проводят его к фоторецепторам, размещенным на ее задней поверхности, подобно оптоволоконному кабелю. Без мюллеровских клеток свет будет попадать

на фоторецепторы в рассеянном виде, что приведет к снижению остроты зрения. Исследователи из университетов Лейпцига и Гёттингена, в Германии, так и из *Universidade Central De Caribe Bayamon*, Пуэрто-Рико, и Кембриджского университета в Великобритании обнаружили, что свет направляется на клетки Мюллера (рис. 1.144). Тем самым они скорректировали общепринятую оптическую систему зрительного анализатора. Мюллеровские клетки функционируют в качестве оптических волокон, направляют и концентрируют желто-зеленый спектр света, к которому многие колбочки имеют максимальную чувствительность. Синий свет просачивается из клеток Мюллера, чтобы активировать палочки.

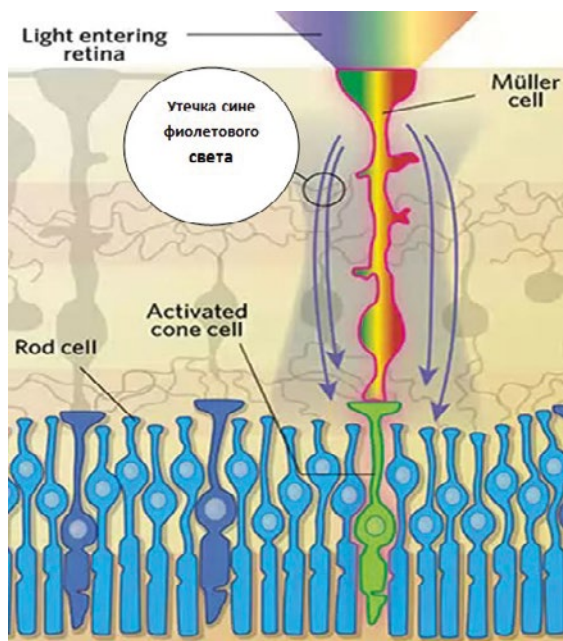


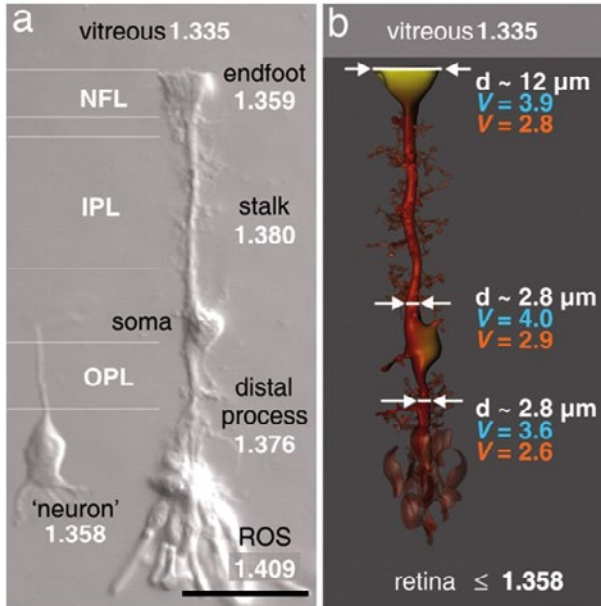
Рис. 1.144. Светопроводящая клетка Мюллера и утечка фиолетового и синего света [1.300]

Клетки Мюллера содержат фоконы для сбора и приема рассеянного света от точки пространства, изменяя по длине коэффициент преломления света (рис. 1.145).

Amichai Labin из Техниона-Израильского технологического института в Хайфе и его коллеги установили, что клетки Мюллера работают, как оптическое волокно. Они обнаружили, что клетки Мюллера, освещенные белым светом, пропускают длины волн в зелено-красной области для двух типов колбочек, а сине-фиолетовый свет просачивается через сетчатку, чтобы активировать палочки. В клетке Мюллера максимальная концентрация света происходила в желто-зеленой части светового спектра при длине волны 560 нм [1.302].

Сотрудники университета под руководством Amichai Labin рассмотрели увеличенную сетчатку морской свинки при конфокальной микроскопии и обнаружили, что каждая Мюллеровская клетка сочетается с индивидуаль-

ной колбочкой, и почти 90 процентов всех колбочек были связаны с этими клетками. Эффект оптического волокна может увеличить количество фотонов, достигающих одной колбочки почти в 11 раз. На рис. 1.146 приведены обобщенные результаты моделирования спектральных характеристик клеток Мюллера.



Kristian Franze et al. PNAS 2007;104:8287-8292

Рис. 1.145. Общий вид клетки Мюллера и распределение значений коэффициента преломления по ее длине (1.301)

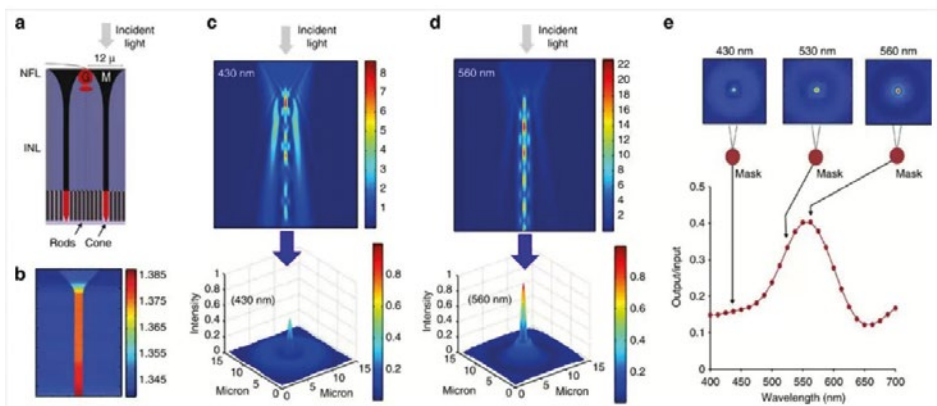


Рис. 1.146. Обобщенные результаты моделирования спектральных характеристик клеток Мюллера

(а) Схематическое изображение организации клеток Мюллера (M) и фоторецепторов в парафовеальной сетчатке человека. Проксимальная чаше-

видная воронка ячеек Мюллера (черного цвета) диаметром ~ 12 мкм в дополнение к центральному конусу покрывает ~ 15 палочек. Слой нервных волокон (NFL) и внутренний ядерный слой (INL) выделены. (b) Куб данных с сеткой $1.000 \times 256 \times 256$, содержащий ячейку Мюллера (длиной 130 мкм) и окружающую ткань, был реконструирован на основе измеренных показателей профиля рефракции (шкала справа). (c, d) Ячейка Мюллера (вверху) и соответствующее распределение в дистальной части ячейки (внизу) для падающего света 430 нм (синий) и 560 нм (зелено-желтый). Концентрация света в центре (восприимчивое поле конуса) выше для зеленого, чем для синего. (д) площадь ячейки Мюллера, усредненная по последнему циклу продольной интенсивности. Пик пропускания составляет 560 нм, что соответствует зелено-желтой части видимого спектра [1.303]

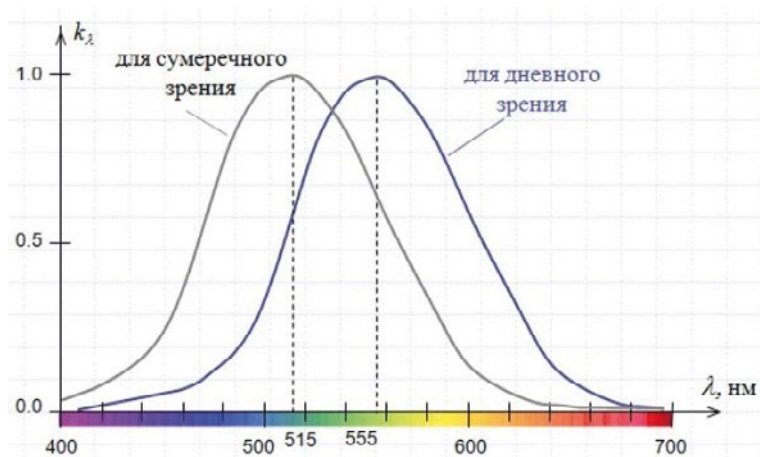
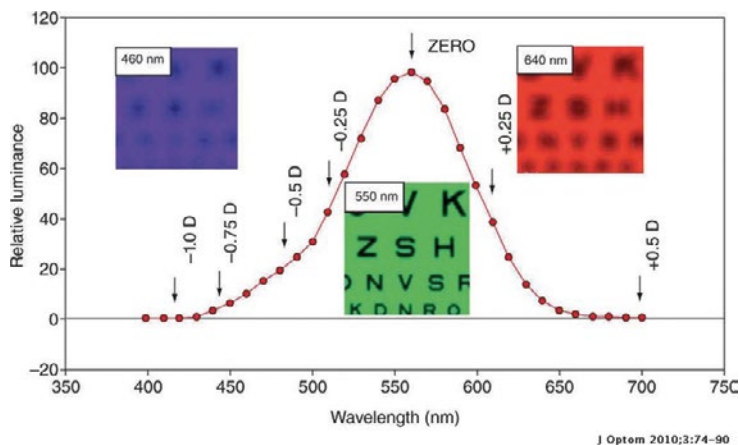


Рис. 1.147. Кривая видности для дневного и сумеречного зрения

Исследования в этом направлении активно проводятся [1.304]. Спектральные характеристики клеток Мюллера хорошо коррелируют с кривой видности глаза рис. 1.147. Дневное зрение обусловлено колбочками, которые состоят из трех отдельных фотопигментов, позволяющих воспринимать цвета; ночное зрение возможно за счет палочек, которые более чувствительны к свету и меньше к цвету. При нормальных условиях освещения кривая достигает максимума в 555 нанометров, поэтому глаз наиболее чувствителен к желто-зеленому цвету (человеческий глаз развился, чтобы соответствовать свету Солнца). При низких уровнях освещенности, в темноте, глаз воспринимает пики при длинах волн 507 нм, ближе к сине-фиолетовой части спектра. <http://www.handprint.com/HP/WCL/color1.html>.

Такая корреляция говорит о том, что клетки Мюллера определяют спектральную чувствительность глаза (рис. 1.148).

Клетки Мюллера как волоконно-оптический фильтр защищают фоточувствительные клетки от избыточной дозы синего и красного света, а также улучшают оптические свойства зрительного анализатора.



J Optem 2010;3:74-90

Рис. 1.148. Зависимость чувствительности глаза от спектра света [1.305]

1.8.11. Волоконно-оптический подход к функционированию колбочек

*Все, что можно узнать, можно узнать лучше.
Старая китайская поговорка*

*Логика доказывает, а интуиция творит.
Пуанкаре*

О колбочках и палочках написано много работ, но в них не рассматривалась оптическая схема попадания света на фоточувствительные опсины и проникновения в тело клеток пигментного эпителия. Новая гипотеза попадания света на опсины основана на новых принципах работы колбочек и палочек, внешних частей их мембраны, которые могут быть рассмотрены как физические аналоги волновода конической и цилиндрической формы в среде прозрачного тела глаза (жидкая среда) (гипотеза доктора физика Медейроса [1.307] и гипотеза Доктора Джеральда К. Хата [1.308]) и возможности пересмотра традиционных взглядов на зрительный процесс. По Медейросу, внешняя доля мембраны колбочки может работать как конический волновод. Широкое сечение конуса встречает входящие лучи, которые воспринимаются мембраной как конусным волноводом в жидкой среде прозрачного тела глаза (жидкая среда глаза). В этой среде порядок фокусировки лучей противоположен порядку фокусировки лучей в оптической системе в воздухе (согласно хроматической аберрации они фокусируются в зависимости от длины волны). Их фокусировка до входа в мембрану и вход в нее противоположны, что регулируется спецификой работы мембраны – как конического волновода в составе колбочки, где стенки обладают различной отражательной способностью и разными показателями преломления, что определяет порядок входа лучей: красных→зелёных→синих (для системы трихроматизма цветного зрения), например, у приматов и человека [1.307]. На рис. 1.149 приведен фрагмент волоконно-оптической линии сетчатки.

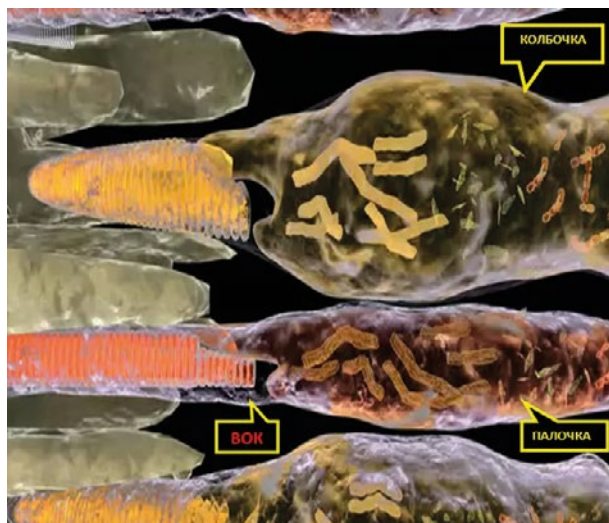


Рис. 1.149. Строение палочек и колбочек с указанием волоконно-оптического клина (ВОК)

На рис. 1.150 приведены результаты моделирования распределения спектра света по длине оптического конуса и по его оптически прозрачным стенкам колбочки.

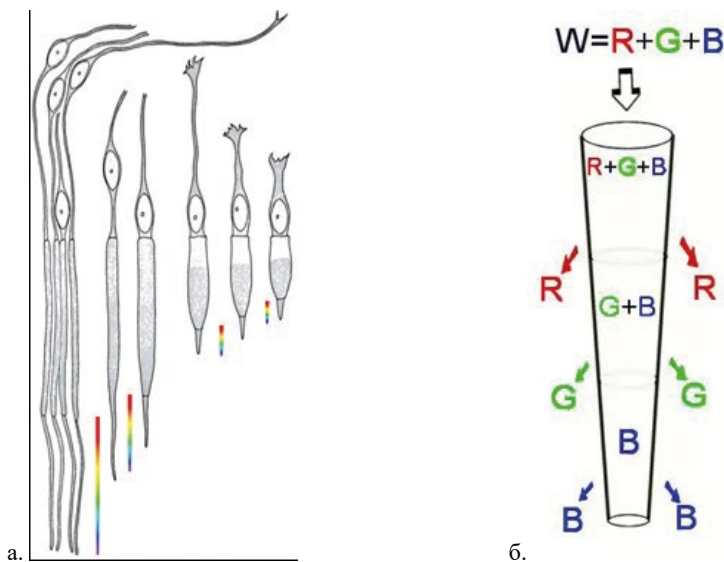


Рис. 1.150. Конус формируется на сетчатке с указанием спектрального рассеяния света, исключенного из внешних сегментов.

а. Формы прохождения спектра света через сетчатку [1.307, 1.311].

б. Снимок работы клиновидного волокна как волновода лучей спектра света [1.307]

Данный подход наглядно показывает, как свет попадает на наружные сегменты палочек и колбочек и в тело клеток пигментного эпителия. А также

эта модель позволяет оценить восприятие цветов различных сигналов и, в частности, по времени задержки распознавания.

Это важно для ряда профессий водителей авто- и мототранспорта и машинистов поездов РЖД. Например, в «Инструкции по сигнализации на железных дорогах Российской Федерации» оговариваются следующие сигналы:

– один зеленый огонь – «Разрешается движение с установленной скоростью»;

– один желтый мигающий огонь – «Разрешается движение с установленной скоростью; следующий светофор открыт и требует проследования его с уменьшенной скоростью»;

– один желтый огонь – «Разрешается движение с готовностью остановиться; следующий светофор закрыт»;

– два желтых огня, из них верхний мигающий, – «Разрешается проследование светофора с уменьшенной скоростью; поезд следует с отклонением по стрелочному переводу; следующий светофор открыт»;

– два желтых огня – «Разрешается проследование светофора с уменьшенной скоростью и готовностью остановиться у следующего светофора; поезд следует с отклонением по стрелочному переводу»;

– один красный огонь – «Стой! Запрещается проезжать сигнал».

– один лунно-белый мигающий огонь разрешает поезду проследовать светофор с красным огнем (или погасшим) и продолжать движение до следующего светофора (или до предельного столбика при приеме на путь без выходящего светофора) со скоростью не более 20 км/ч с особой бдительностью и готовностью немедленно остановиться, если встретится препятствие для дальнейшего движения.

Очень важно понимать, как формируется временная задержка в распознавании цветных сигналов, так как это влияет на аварийность и безопасность транспортных систем [1.312].

1.8.12. Влияние на временную задержку восприятия цвета

Оценка времени задержки восприятия света очень важна для водителей автотранспорта и машинистов поездов. В работе [1.307] приведены экспериментальные результаты для задержки времени (в миллисекундах), которые могут быть выражены для любой длины волны, λ (в нанометрах) относительно перцепционной задержки 650 нм красного света, что приблизительно может быть:

$$T_{\text{задержка}} \text{ (мс)} = 97.5 - 0.15 \lambda \text{ (нм)}.$$

Это дает нулевую задержку (мс) для красного света 650 нм и должно составлять задержку 30 мс для самой короткой длины волны света.

Ученые лаборатории Medeiros проверили задержку луча света части спектра 450 нм – в синем цвете (палочек, которые работают в сумеречном свете, то есть до 498 нм).

Эти данные показывают, что существует временная дисперсия (задержка) между синим и красным светом. Например, голубой (450 нм) свет воспринимается с задержкой около 30 мс от красного (650 нм) света.

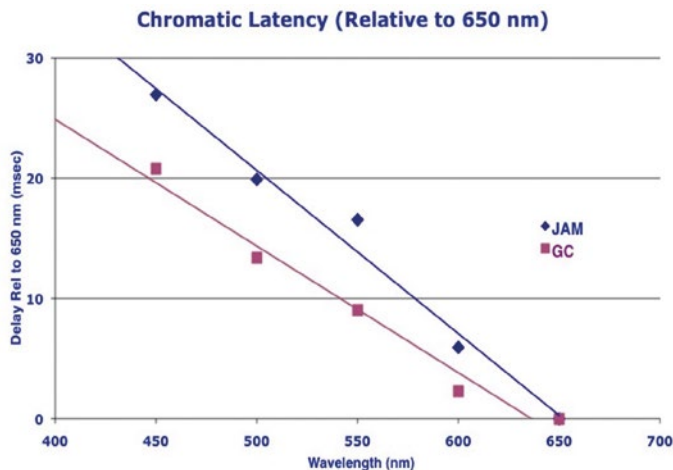


Рис. 1.151. Задержки восприятия цвета относительно красного света 650 нм [1.313]

Утилизация веществ фотохимической реакции как механизм защиты клеток сетчатки

Зрительный цикл обеспечивает эффективное удаление трансретиналя из фоторецепторной мембраны с тем, чтобы затем снова вернуть его в эту мембрану, но уже в 11-цис-изомерной форме (рис. 1.152). Только этот изомер обладает способностью «войти», как ключ в замок, в хромофорный центр (хромофорный карман) белковой части молекулы (опсина) и вновь образовать ковалентную химическую связь с 296-м лизиновым аминокислотным остатком в его седьмой α -спирали [1.314].

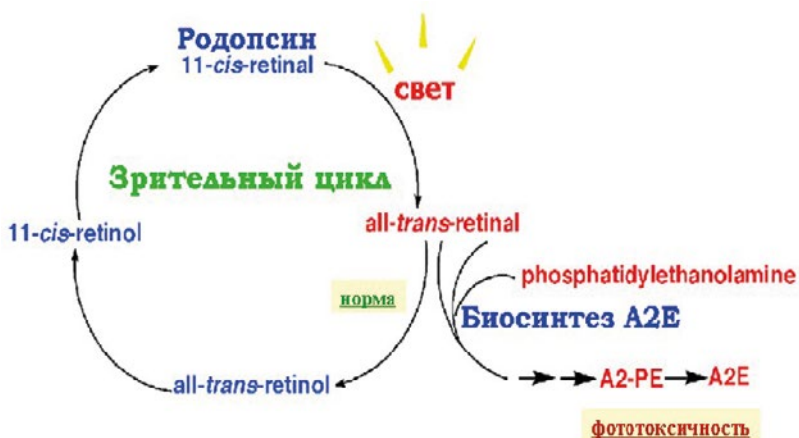


Рис. 1.152. Зрительный цикл и опасность фотоповреждения [1.314]

Таков, схематично, путь регенерации родопсина, то есть возвращения его в исходное темновое состояние с максимумом оптического поглощения при 500 нм. Регенерация родопсина – одно из ключевых событий в процессе темновой адаптации сетчатки.

Системы защиты структур глаза от фотоповреждения

Итак, сочетание света, кислорода, пигментов-фотосенсибилизаторов и легко окисляющихся субстратов (липидов и белков) создает реальную угрозу для возникновения и развития в сетчатке и пигментном эпителии фотодеструктивных процессов. Этот парадокс зрения, когда свет выступает и носителем информации, и потенциально опасным повреждающим фактором, был решен в ходе эволюции созданием достаточно надежной многоуровневой системы защиты от фотоповреждения. Эта система включает:

- обновление фоторецепторных мембран,
- комплекс эндогенных антиоксидантов,
- механизм максимально быстрого удаления свободного ретиналя из зрительной клетки,
- систему оптических фильтров глаза, в которой ключевую роль играет хрусталик, желтеющий у приматов и человека с возрастом.

Естественно, нарушения в этой системе приводят к возрастанию риска светового повреждения сетчатки и пигментного эпителия [1.314].

Обновление фоторецепторных мембран

Итак, первый и наиболее радикальный способ защиты – это постоянное обновление фоторецепторных мембран и всего наружного сегмента зрительной клетки (палочек и колбочек). Обновление позволяет избежать накопления в наружном сегменте молекулярных дефектов, благодаря чему «молекулярная машинерия» фоторецепторного механизма остается эффективной на протяжении всей жизни организма. Процесс постоянного обновления наружного сегмента заключается в том, что в его базальной части постоянно образуются новые фоторецепторные мембраны (фоторецепторные диски), а в апикальной части пачки – «старых» дисков (верхушка наружного сегмента) обламываются (Young, 1974; Островский, Донцов, 1984; Островский, Говардовский, 1992). Эти «обломки» затем эффективно фагоцитируются клетками пигментного эпителия. Процесс этот исключительно интенсивный: в течение суток около 100 дисков заново образуется и обламывается в каждой палочке. Поскольку многочисленные отростки клетки пигментного эпителия окружают более десятка палочек, то за сутки каждая клетка «переваривает» около тридцати тысяч (!) отработанных дисков. Клетка пигментного эпителия является одной из самых активных фагоцитирующих клеток в организме. Процессу радикального обновления наружного сегмента фоторецепторной клетки, однако, свойственны издержки, связанные с возрастом. Речь, в частности, идет об избыточном накоплении в пигментном эпителии «пигмента старости» – липофусциновых гранул, являющихся, по существу, недопереваренными обломками наружных сегментов – фагосомы и обладающих фототоксичностью. Липофусциновые гранулы могут занимать до 20% объема клетки [1.314].

Антиоксиданты

Следующая линия защиты от фотоповреждения – антиоксидантная. Речь идет о торможении процессов свободно-радикального фотосенсибилизированного окисления. В эту систему входят витамины Е (α -токоферол), С (аскорбиновая кислота), таурин и набор антиоксидантных ферментов (супероксид-

дисмутаза, пероксидаза, каталаза). В дополнение к этому антиоксидантная система защиты усиливает экранирующие пигменты глаза – меланосомы (у позвоночных и человека) и оммохромы (у беспозвоночных) (Островский, Донцов, Сакина, 1980; Донцов, Островский, Сакина, 1980; Островский, Донцов, 1985; Островский, Федорович, Донцов, 1987; Ostrovsky, Sakina, Dontsov, 1987). Этим в значительной мере объясняется, почему альбиносы столь чувствительны к фотоповреждению. Интересно, что недостаток меланина у альбиносов частично компенсируется повышенным содержанием в их сетчатках α -токоферола (Ostrovsky, Sakina, Dontsov, 1987) [1.314].

1.8.13. Мелатониновая защита клеток глаза от окислительного стресса

Антиоксидантная защита клеток от окислительного стресса является одной из основных систем защиты глаза от негативного влияния энергетического спектра света. Одной из основных составных частей этой защиты являются мелатониновая защита клеток глаза. В этой системе мелатонин вырабатывается из серотонина при участии дофаминовой системы глаза [1.315]. Дофамин высвобождается уникальным набором амакринных клеток и D1 и D2 рецепторов дофамина, которые активируются по всей сетчатке. Снижение в сетчатке дофамина, как это происходит у пациентов с болезнью Паркинсона, приводит к снижению визуального контраста изображения [1.315].

1.8.14. Антиоксидантный эффект

Особая антиоксидантная роль в работах Райтера отводится **мелатонину**, основному гормону эпифиза (шишковидного тела) головного мозга. Мелатонин нейтрализует разрушительные последствия окислительных процессов, обладая антиоксидантной активностью [1.316].

Мелатонин, наряду с другими его функциями, способен связывать свободные радикалы, в том числе образующиеся при перекисном окислении липидов гидроксильных радикалов, и экзогенные канцерогены. Механизмы воздействия мелатонина хорошо изучены и освещены в литературе [1.316., 1.317, 1.318].

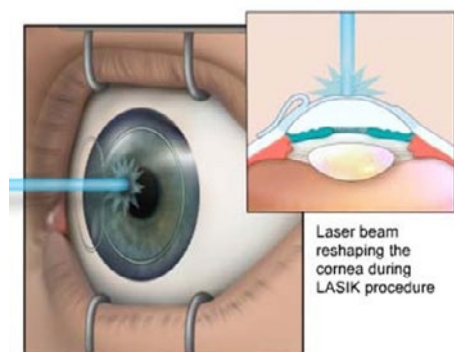
Механизм **антиоксидантного действия мелатонина обусловлен** прежде всего его способностью связывать образующиеся при перекисном окислении липидов наиболее токсичные гидроксильные радикалы, а также пероксинитрит, оксид азота, синглетный кислород и пероксидальный радикал. Являясь активным донором электронов и эффективным перехватчиком активных форм кислорода, особенно гидроксильного радикала OH, он также уничтожает радикал оксида азота (NO). Наряду с прямым антиоксидантным эффектом гормон действует как вторичный антиоксидант. Он стимулирует активность глутатион-пероксидазы, которая переводит перекись водорода в воду, активизирует супероксиддисмутазу, глюкозо-6-фосфатдегидрогеназу, а также угнетает активность прооксидантного фермента NO-синтазы. Кроме этого, гормон обладает способностью непосредственно связывать ионы металлов с переменной валентностью (Fe_2^+ , Cu_2^+ , Mn_2^+), которые проявляют в организме прооксидантное действие. Антиоксидантные эффекты

мелатонина не связаны с его воздействием на рецепторы клеточных мембран, а обусловлены проникновением гормона в клетки и его взаимодействием практически со всеми субклеточными структурами, включая ядро. Поэтому мелатонин может воздействовать на свободнорадикальные процессы в любой клетке человеческого организма, а не только в клетках, которые имеют рецепторы к мелатонину. Антиоксидантный эффект мелатонина обеспечивает защиту ДНК, липидов и белков от свободнорадикального повреждения. Таким образом, мелатонин может быть главной молекулой в системе защиты организма от окислительного стресса благодаря нейтрализации перекиси водорода и уничтожению гидроксильных радикалов.

1.8.15. Амакринные клетки и оптическая ось глаза

Близорукость – это изменение геометрии глаза в сравнении с нормой (например, глазное яблоко увеличено в длину), изображение попадает не на сетчатку, а немного впереди нее. Врачи для ее коррекции прибегают к лазерной процедуре.

В ходе LASIK (на русский эта мудреная аббревиатура переводится не менее мудреным «лазерный кератомилез») хирург надрезает автоматическим ножом верхний слой роговицы, отгибает в сторону получившийся лоскут и лазером снимает внутренние слои, исправляя геометрию яблока.



Такая методология коррекции широко распространена, так как на определенном этапе формирования склеры глаза не был обеспечен необходимым уровнем освещенности и спектра света. Это наглядный пример методо-ориентированного подхода, а не проблемно-ориентированное решение, которое вскрывает механизм заболевания.

Свет через амакринные клетки управляет изменением склеры глаза. Понимание этого процесса очень важно для школьных гигиенистов. Чем ниже освещенность световой среды, тем больше изменена склера глаза и оптическая ось, что увеличивает риски возникновения у ребенка близорукости.

Многие исследования [1.319] показали, что различные сигнальные молекулы, обнаруживаемые в амакринных клетках, могут влиять на возникновение и ингибирование миопии [1.320], такие как дофамин [1.321], оксид

азота [1.322] и нейропептиды (VIP, глюкагон, соматостатин и нейротензин) [1.321].

Разрушение субпопуляций амакриновых клеток токсинами оказывает существенное влияние на нормальный рост глаз и индукцию миопии с формальной депривацией [1.323, 1.324].

Функции большинства идентифицированных амакриновых клеток еще предстоит выяснить, но вклад специфических сигнальных молекул, происходящих из амакриновых клеток, в эмметропизацию и ингибирование миопии будет обсуждаться более подробно ниже. Скорее всего, сигнальные молекулы, происходящие из сетчатки, не контролируют рост глаз напрямую; вместо этого предполагается, что они действуют через сигнальный каскад, который передает регулирующие рост глаза сигналы через RPE и сосудистую оболочку, которые могут затем высвобождать различные сигнальные молекулы, которые непосредственно влияют на рост склеры [1.325].

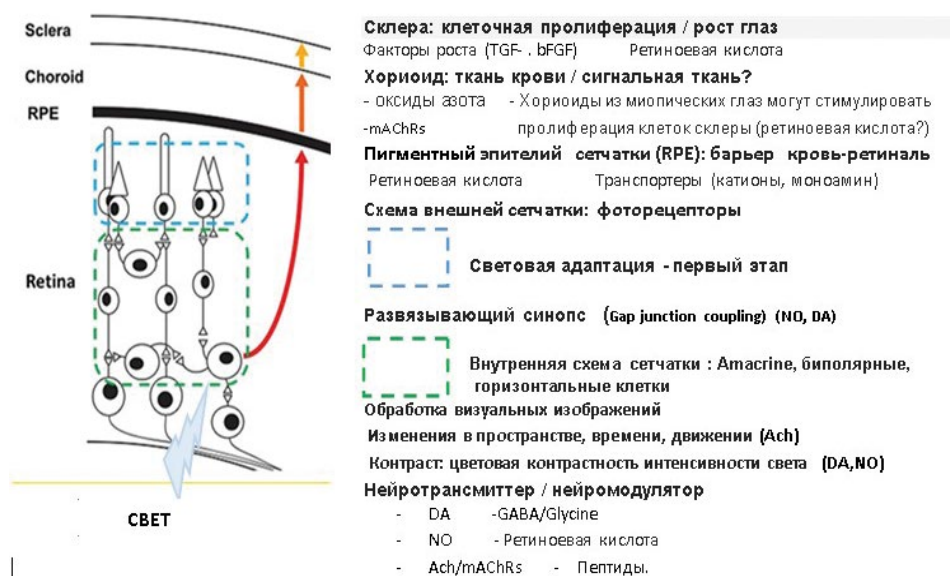


Рис. 1.153. Вероятно, сигналы от сетчатки напрямую контролируют склеральный рост [1.319]

Вместо этого, химические мессенджеры, полученные из сетчатки, вероятно, активируют сигнальные каскады, которые создают цепную реакцию сигнализации, которая проходит через RPE, сосудистую и склеру (стрелки). Например, сигнализация дофамина и/или оксида азота в сетчатке может вызывать изменения в адаптации света, что может привести к высвобождению ретиноевой кислоты из сосудистой оболочки. Выделение хориоидальной ретиноевой кислоты может затем приводить к ингибированию пролиферации склерола и ингибированию миопии. Было показано, что все молекулы, перечисленные на диаграмме, влияют на рост глаз, места, где они могут действовать, по-прежнему являются теоретическими и до сих пор не доказаны окончательно. Сокращения: TGF-β, трансформирующий фактор роста

бета; bFGF, основной фактор роста фибробластов; mAChR, мускариновые ацетилхолиновые рецепторы; NO, оксид азота; DA, допамин; EGR-1, ранний белок реакции роста 1 (также известный как ZENK); ACh, ацетилхолин; GABA, GABA – аминокислота [1.319].

На основании экспериментальных исследований последних нескольких лет ведущими специалистами кафедры офтальмологии педиатрического факультета ГБОУ ВПО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России разработана модель роли миофибробластов в развитии и прогрессировании близорукости, в которой учтены результаты исследований, изложенные в работах [1.326, 1.327, 1.328].

Схема этой модели приведена на рис. 1.154.



Рис. Модель роли миофибробластов в развитии и прогрессировании близорукости (по: Weierman R.W., et al. [37])

Рис. 1.154. Модель роли миофибробластов в развитии и прогрессировании близорукости [1.328]

Ретиносклеральный механизм активизирует потерю ткани склеры, что является причиной ее истончения. Потерю ткани частично вызывает уменьшение синтеза компонентов экстрацеллюлярного матрикса и отчасти ускоренная деградация. Истончение склеры вызывает экспрессию генов склеральных миофибробластов, что приводит к изменению коллагенового матрикса и впоследствии проявляется уменьшением диаметра коллагеновых фибрилл. Как истончение склеры, так и ее структурные изменения уменьшают сопротивление действию нормального внутриглазного давления и увеличивают возможность растяжения склеры. Этот процесс также увеличивает механическое напряжение в межклеточном матриксе, содержащем волокнистые структуры, стимулируя тем самым развитие у фибробластов актиновых сократительных микрофиламентов. Главным фактором, способствующим дифференцировке фибробластов в премиофибробласты, является механическое напряжение.

Состояние стекловидного тела и гематофтальмического барьера также выделяются среди причин, влияющих на прогрессирование близорукости [1.329, 1.330]. Экспериментальные данные свидетельствуют, что начальную стадию развития близорукости характеризует истончение, примерно на 20%, склеры заднего полюса. Причиной истончения склеры является не ее пассивное растяжение, а потеря ткани. Истончение склеры при развитии близорукости является прежде всего результатом сниженного синтеза коллагена и увеличенной его деградации [1.331, 1.332].

Позднюю стадию развития близорукости характеризуют весьма значительные изменения диаметра коллагеновых волокон в экваториальной и области заднего полюса глаза. Уменьшение среднего диаметра коллагеновых волокон наиболее выражено в наружных слоях склеры. Данный факт объясняется тем, что наружные слои склеры созревают последними [1.333].

Уменьшение диаметра коллагеновых волокон связано со сниженной продукцией коллагена I типа [1.334, 1.335] и увеличением на 20% коллагена V типа [1.336].

При изучении культуры клеток фибробластов склеры человека обнаружено 6 типов рецепторов к ретиноевой кислоте (RAR alpha, RAR beta, RAR gamma, RXR alpha, RXR beta, and RXR gamma) [1.337, 1.338].

Витамин А и его производные, ретиноиды, необходимы для нормального роста и развития всех позвоночных организмов [1.339, 1.340].

Ретинол – исходный метаболический предшественник ретиноевых кислот в животных клетках – не синтезируется, а попадает с пищей. Витамин А всасывается в кишечнике, накапливается в печени и с помощью ретиноид-связывающих белков окисляется до конечной формы all-trans ретиноевой кислоты в различных клетках мишенях [1.341, 1.342].

Ретиноевая кислота определяет дифференцировку различных клеточных линий, в том числе и структур глаза, и неравномерно распределена в растущих и развивающихся тканях [1.343].

Уровень all-trans ретиноевой кислоты в сыворотке здорового человека варьирует от 2,7 до 4,2 нг/мл [1.344].

Таким образом, способы экспериментального моделирования осевой близорукости должны быть максимально приближены к условиям клинического проявления, а воспроизведение данной патологии должно осуществляться с помощью предполагаемых естественных механизмов, потенцирующих рост глазного яблока, что позволит с большой долей вероятности понять причинно-следственную взаимосвязь появления и прогрессирования близорукости.

Влияние света и физических полей на риск дисгармонизации синтеза мелатонина в шишковидной железе [1.345]

В современных условиях резко возрастает актуальность проблемы безопасности и оценки риска нанесения вреда здоровью населения при воздействии факторов окружающей среды. Это обусловлено массовым внедрением энергосберегающих светильников (их спектр света имеет большую дозу синего света), продуктов питания и личной гигиены (которые содержат фтор, бром), директивным сдвигом часов и календарей, а также массовым

внедрением современных устройств отображения информации (со светодиодной подсветкой), а также ростом мощности искусственных электромагнитных полей (мобильные телефоны и Wi-Fi).

При этом отсутствует методология прогнозирования рисков негативного воздействия указанных факторов на здоровье человека и социальных групп людей. В большом многообразии частных методик прогнозируются параметры, которые характеризуют либо физические, либо психические показатели здоровья человека. Рассматривая физическое и психическое здоровье в совокупности, мы попытались определить необходимые и достаточные условия для сохранения здоровья человека и социальных групп. В основу методологии был положен факт, что биологические процессы, протекающие в органах человека и его психике, в значительной степени зависят от его гормонального спектра, который формирует шишковидная железа (эпифиз). Гормоны эпифиза влияют на биоэлектрическую активность мозга и нервно-психическую деятельность, оказывая снотворный, анальгезирующий, седативный, а также галлюциногенный эффекты. Уровень гормонов определяет предрасположенность человека к тем или иным заболеваниям и особенно влияет на болезни сердечно-сосудистой и пищеварительной систем. Оценку рисков заболеваемости человека и социальных групп можно осуществлять по состоянию гормональной системы (серотонин – мелатонин), которая подвергается циклическому воздействию управляемых и неуправляемых внешних факторов (рис. 1.155).

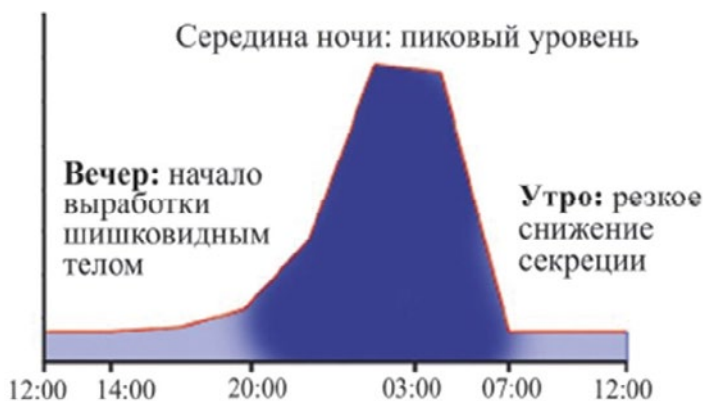


Рис. 1.155. Зависимость количества мелатонина от времени суток

Дисгармонизация этих процессов является основой для развития болезней и повышения рисков заболеваемости человека или социальной группы людей. В настоящее время активно исследуются биоритмы, связанные с воздействием света и светового загрязнения в ночное время на работу шишковидной железы и, в частности, подавление и выбросы мелатонина в кровеносную систему человека при смене дня и ночи [1.346].

В ряде исследований показано, что на процесс синтеза мелатонина в шишковидной железе существенно влияет спектр искусственных источников света [1.347].

При этом отмечается, что для процесса синтеза мелатонина из серотонина необходим триптофан, который не синтезируется в организме человека и поступает только с продуктами питания. Учитывая этот факт, исследователями сформулирован закон внешнего дополнения для системы синтеза мелатонина, согласно которому количество синтезированного мелатонина всегда меньше количества потребленного триптофана. Основная доля мелатонина синтезируется в шишковидной железе, но небольшое количество продуцируется и в других центрах, таких как желудок, яичники, сетчатка глаза.

То есть в организме человека существуют градиент концентрации мелатонина в разных центрах его синтеза, работа которых скоординирована между собой. Кривая выработки мелатонина отражает персональный характер и вычисляется по формуле

$$K_m = D_d / D_n,$$

при этом очень важно соотношение между дневной (D_d) и ночной (D_n) дозами, чем больше значение K_m , тем меньше градиент концентрации мелатонина. Амплитуда ночной дозы синтезированного мелатонина зависит от возраста человека и времени года. С возрастом разница между дневной и ночной дозой становится малоразличимой, то есть коэффициент K_m возрастает, увеличивая риск заболеваемости человека. Это обусловлено тем, что градиент концентрации является основным механизмом в транспорте веществ, белков, гормонов в биологических системах и в их энергоинформационном взаимодействии.

Для прогнозирования риска заболеваемости на длительный период времени предлагается применять мелатониновый паттерн, параметры которого должны уточняться с учетом длительности интервала прогноза и указанных выше закономерностей. Мелатониновый паттерн у каждого человека на удивление стабилен от ночи к ночи, в то время как паттерны разных людей одного пола и возраста в деталях настолько различны, что есть основание говорить об индивидуальном паттерне, характеризующем данную личность. В основе методики прогнозирования лежит методология фазового портрета колебательного процесса, которая применялась специалистами Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова в ходе выполнения проекта «Биотропное воздействие космической погоды: новые направления исследований». Целью проекта являлось изучение общепланетарных агентов влияния факторов внешней среды на организм функционально здоровых людей и создание динамической модели режимов адаптации и синхронизации работы сердца.

В отличие от этого метода мы использовали фазовое пространство с линией переключения фазовой траектории процесса синтеза мелатонина, положение которой определяется часом и датой рождения человека, а также принимали во внимание тот факт, что работа сердца и других органов в значительной степени зависит от процесса синтеза мелатонина. В такой модели линии переключений фазовой траектории могут дополняться в соответствии с моментом времени появления нового фактора, воздействие которого влияет (отрицательно или положительно) на процесс синтеза мелатонина. На рис. 1.156 представлен фазовый портрет (в полярных координатах) для

суточного мелатонинового паттерна, который может объединяться в годовые и десятилетние мелатониновые паттерны.

На фазовом портрете суточного мелатонинового паттерна нанесены области значений дозы мелатонина для времен суток. Фазовый портрет для процесса синтеза мелатонина от момента рождения до часа смерти человека будет представлять собой совокупность множеств фазовых портретов годовых меланопсиновых паттернов с точками перехода в день рождения человека. Этот день является точкой переключения (точка бифуркации – смена установившегося режима работы системы) процесса синтеза мелатонина в шишковидной железе. Фазовая траектория процесса синтеза мелатонина показывает, как меняется градиент концентрации мелатонина в каждый момент времени.

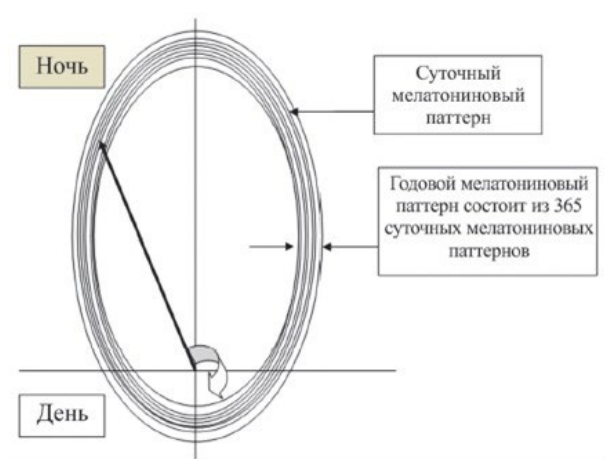


Рис. 1.156. Фазовый портрет суточного и годового мелатонинового паттерна, который состоит из 365 суточных паттернов

Учитывая, что жизнь человека имеет этапы (до рождения, момент рождения, от года и до 10 лет и далее), на рис. 1.157 для наглядности приведены две фазовых траектории процесса синтеза мелатонина от дня рождения и до десяти лет и от десяти лет и далее. В такой модели возраст человека измеряется количеством оборотов на фазовом портрете, а точность повышается за счет того, что один оборот равен суткам (24 часа). Возраст человека в часах равен произведению количества оборотов на 24 часа и к полученному произведению прибавляются часы соответствующей точки прогноза на суточном фазовом портрете мелатонинового паттерна. В утробе матери ребенок имеет общий с матерью суточный мелановый паттерн. В момент рождения и при дальнейшем кормлении (один-два года) параметры суточного материнского паттерна в общем сохраняются, потом у ребенка формируется свой начальный суточный мелатониновый паттерн, и процесс синтеза его мелатонина представляет собой раскручивающуюся спираль до момента достижения к 10-летнему возрасту максимальной ночной дозы мелатонина. После этого возраста мелатониновая спираль начинает скручиваться по ранее выявленным законам (текущая ночная доза мелатонина

всегда больше или равна последующей ночной дозе). Формы спиралей могут иметь математическую интерпретацию (модель), которая может учитывать особенности синтеза мелатонина шишковидной железой в условиях воздействия управляемых и неуправляемых дестабилизирующих факторов. При этом необходимо учитывать пол человека и интенсивность физической нагрузки, влияющих на дозу синтезируемого мелатонина.

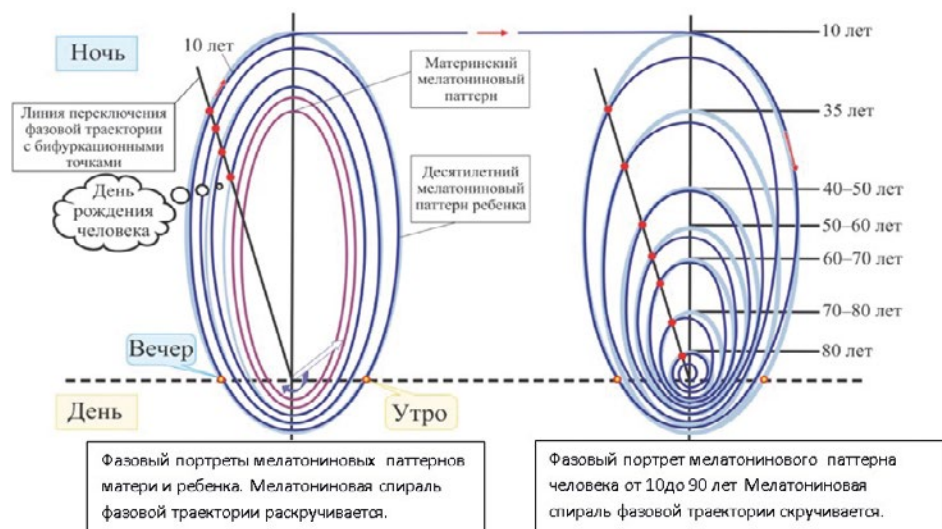


Рис. 1.157. Фазовые портреты мелатонинового паттерна

Циклический процесс синтеза мелатонина под воздействием искусственного освещения может вступать в диссонанс с астрономическим циклом работы шишковидной железы, что нарушает гармонию в работе антиоксидантной системы человека и циклического изменения концентрации кальция в пинеалоцитах и отрицательно сказывается на его здоровье, увеличивая риск заболевания в отдаленной перспективе. Для оценки степени воздействия на шишковидную железу полей космического пространства, в частности, градиента гравитационного поля, был проведен анализ литературных данных по лунно-сенсорной функции и морфологическому строению шишковидной железы. Обобщение результатов управления через матрицу ганглиозных клеток сетчатки глаза и морфологического анализа строения шишковидной железы привело к формированию новой парадигмы ее функционирования в условиях воздействия градиента гравитационного поля, что следует учитывать при построении фазовой траектории процесса синтеза мелатонина.

Шишковидная железа состоит из пинеалоцитов, глиальных клеток и сети нейронов, связывающих матрицу пинеалоцитов с матрицей ганглиозных клеток сетчатки глаза, кристаллов и общей органической каркасной сеткой, состоящей из соединительнотканной септы с каналцами, по которым циркулирует жидкость. Синтез мелатонина в шишковидной железе происходит в пинеалоцитах, функционально взаимодействующих со зритель-

ным нервом, транслирующим сигнал от ганглиозных клеток сетчатки глаза (рис. 1.158). В них из триптофана синтезируется серотонин – мелатонин, который через каналцы соединительнотканной сетки поступает в кровеносную систему. Из схемы синтеза мелатонина видно, что существует однозначная нейронная связь между ганглиозной клеткой (имеет один сигнальный выход) и пинеалоцитом (имеет один сигнальный вход), строение которой представлено на рис. 1.159.

Пинеалоциты объединены в паттерн в виде цветка ромашки, центром которой являются капилляры кровеносной системы. Пинеалоцитный паттерн с множеством клеток классифицируется как дольки, которые заполняют все пространство шишковидной железы, а между дольками на соединительной септе находятся эпифизарные конкреции (кристаллы).

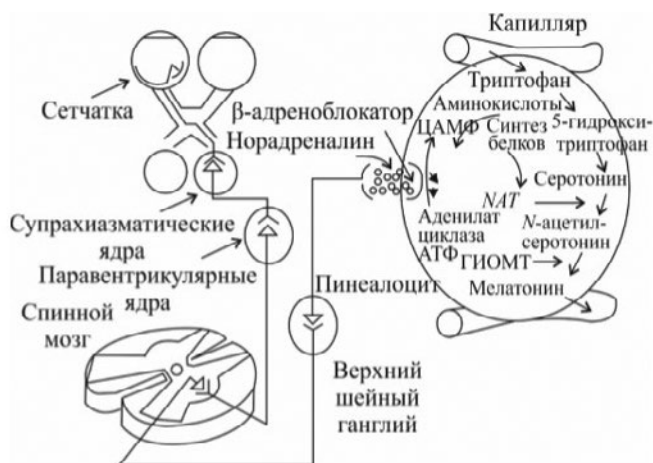


Рис. 1.158. Основные этапы биосинтеза мелатонина в эпифизе и нервные пути регуляции этого процесса (цит. по Э. Б. Арушанян, 1991)

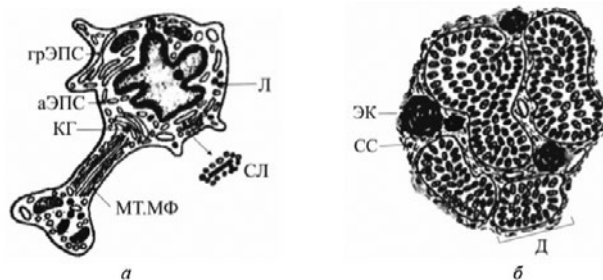


Рис. 1.159. Схема пинеалоцита (а) и эпифиза (б): а – КГ – комплекс Гольджи; Л – лизосомы; МТ, МФ – микротрубочки и микрофиламенты; СЛ – синаптические ленты (зрительный нерв, который связывает клетку с ганглиозными клетками сетчатки глаза); б – СС – соединительнотканная септа; Д – дольки; ЭК – эпифизарные конкреции (кристаллы)

В сетчатке содержится $2,4 \cdot 10^6$ ганглиозных клеток, а это значит, что количество управляемых пинеалоцитов не может быть меньше. С возрастом количество ганглиозных клеток под действием световой нагрузки (дозы си-

него света) уменьшается. Это приводит к нарушению управления пинеалocyтaми синтеза мелатонина, которое может повлечь за собой уменьшение синтезируемой дозы и ускорение процесса образования кристаллов в пинеалocyтaх из-за избытка кальция. Кристаллы – «мозговой песок» – занимают особое место в строении шишковидной железы. «Мозговой песок» содержит большое количество кальция, который играет исключительную роль в клетках растений и человека. Так, из-за разницы содержания кальция мужские и женские клетки (сперматозоид – яйцеклетка) передают сигналы друг другу (по градиенту концентрации). Кальций содержится в акросоме в виде кристалла неорганического фосфата – микроэлемент, содержащийся в организме в виде солей (фосфаты кальция, магния). Следует отметить, что в биологии, кроме градиента концентрации (веществ и молекул, которые являются источниками колебаний), существует фазочастотный градиент, согласно которому молекулы посылают электромагнитные волны специфической частоты, позволяющие им не только «видеть» и «слышать» друг друга, но и влиять друг на друга на расстоянии. Фазочастотный градиент очень важен для понимания процессов биосборки белков в сложные объeкты, такие как водородные моторы, для синтеза АТФ, которые работают за счет градиентной концентрации ионов водорода. Кристаллы (централизованное скопление мелатонина) создают значительные градиенты концентрации, а наличие фазочастотного градиента устанавливает между ними безамплитудную энегоинформационную связь и вызывает движущую силу сближения или отталкивания. Если применить теоретические исследования А. Ф. Черняева, то силу взаимодействия двух осцилляторов (V1 и V2) с концентрацией K1 и K2, и имеющих фазочастотный ($\psi_1 - \psi_2$); f – частота генерации осцилляторов) сдвиг, можно оценить через градиент концентрации (grad K12) по формуле:

$$F = \gamma \frac{K_1 K_2 V_1 V_2 (\text{grad} K_{12})^2}{(K_1 - K_2)} \cos(\psi_2 - \psi_1),$$

где

F – сила взаимодействия осцилляторов;

γ – гравитационный коэффициент;

$\cos(\psi_1 - \psi_2)$ – знак действия силы, в зависимости от длин волн и их фаз (ψ_1 и ψ_2), обусловлено либо притяжение, либо отталкивание тел

при:

– $\cos(\psi_1 - \psi_2) = 1$ – имеет место притяжение между телами;

– $\cos(\psi_1 - \psi_2) = 0$ – отсутствует и притяжение, и отталкивание, расстояние между телами не изменяется;

– $\cos(\psi_1 - \psi_2) = -1$ – имеет место отталкивание тел.

Вся современная биология построена на принципе градиентной концентрации. Представленная оценочная формула силы взаимодействия двух объемов с разной концентрацией осцилляторов хорошо согласуется с выводом, изложенным в работе, и теоретическими принципами ритмодинамики на основе безамплитудной энегоинформационной связи между объемами с разной концентрацией веществ (Ca^{2+} , H^+), белков, аминокислот и гормо-

нов. Для нас очень важен вопрос: как кальцинирование шишковидной железы влияет на выработку серотонина и мелатонина?

В [1.348] представлены результаты исследования по установлению отношений между секрецией мелатонина и размером некальцинированного объема шишковидной железы. Как считают авторы, увеличение кальцификации шишковидной железы вызывает уменьшение числа функционирующих пинеалцитов, что приводит к снижению секреции серотонина и мелатонина. Трехмерный томографический анализ позволил установить, что конкременты впервые появляются в одной локальной точке эпифиза, а затем распространяются на соседние его участки. Такой процесс характерен для людей без отклонений в психике. При шизофрении и болезни Альцгеймера рентгеновская микрофотография и трехмерный анализ выявили несколько зон конкрементообразования, что свидетельствует о возможности растворения как композитного гидроксиапатита, так и флюоритов и динамического изменения структурной организации конкрементов («мозгового песка»). В результате исследований [1.348, 1.349, 1.350], установлено, что при шизофрении в эпифизах находилось уменьшенное по сравнению с нормой количество «мозгового песка». Параллельно имело место утолщение трабекул, сопряженное с дополнительной васкуляризацией. В цитоплазме пинеалцитов появились конкременты нового типа – неправильные полые сферы размером 0,1–1,5 мкм. Возможно, они содержали флюорит и свидетельствовали о специфическом метаболизме пинеалцитов. Обнаружено, что кальциевый состав конкрементов эпифиза, как в норме, так и при шизофрении, был непостоянен. При сохранении органической стромы композитный гидроксиапатит может растворяться начиная от центра конкремента. Наблюдавшееся снижение количества «мозгового песка» при шизофрении могло быть связано с быстрой резорбцией гидроксиапатита в зонах первичной минерализации эпифиза либо с появлением специфических цитоплазматических круглых флюоритных образований, которые в норме не встречались [1.351, 1.352, 1.353].

Описаны также симптомы аутизма при сбоях в работе шишковидной железы [1.354], корреляция между особенностями ее функционирования и заболеваниями нервной системы человека, а также приведены данные о влиянии этой железы на работу сердца. В работах [1.353, 1.355] предложено использовать расположение кристаллов в матрице и динамику их перераспределения как диагностический признак для оценки рисков отклонения в психике. Там же говорится, что в шишковидной железе могут присутствовать флюориты CaF_2 . До 1990 г. не проводились исследования по влиянию фтора на шишковидную железу. Одним из инициаторов этих исследований была врач Дженнифер Люк из Университета Surrey в Англии. Она доказала, что шишковидная железа первая попадает под удар фтора. Эти кристаллы образуются при повышенном поступлении фтора и их количество прямо пропорционально его концентрации [1.356, 1.357].

Фтор может поступать в организм с продуктами питания, водой и препаратами личной гигиены (зубной пастой). Исследования показали, что содержание фтора в шишковидной железе превышает его концентрацию в костях и зубах человека. Разновидности форм кристаллов, которые лежат на сетке в шишковидной железе человека, представлены на рис. 1.160.

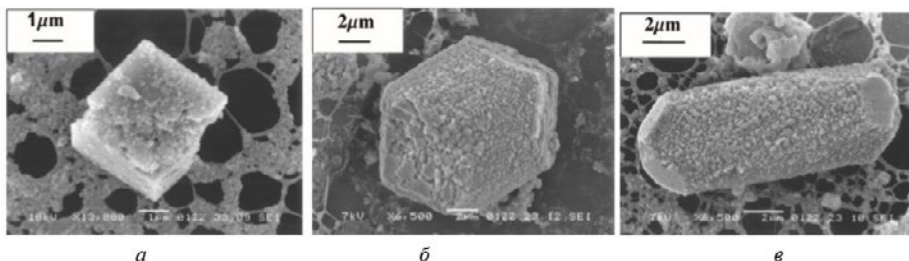


Рис. 1.160. Формы (а – в) одиночных кристаллов в шишковидной железе человека

Обобщение литературных источников о значимости для здоровья человека гармоничного функционирования шишковидной железы в условиях внешних дестабилизирующих факторов позволило нам разработать модель, позволяющую оценить степень взаимосвязи между управляемыми (длительность искусственного освещения и спектр света) и неуправляемыми (циклическое изменение внешних полей различной природы) дестабилизирующими факторами с гармонизацией процесса синтеза мелатонина и с влиянием кристаллов на работу нейронов через массив глиальных клеток. При этом была высказана гипотеза, что трендовая кристаллическая матрица формируется на дефектах, вызванных воздействием гравитационных полей. При смене среды обитания (в момент рождения) межклеточная сетка шишковидной железы, которая имеет пинеальные каналцы, подвергается воздействию градиента гравитационного поля, определенным образом формирующим матрицу дефектов в мембранах этой сетки. Эта матрица дефектов закрепляется межклеточными протеинами, которые впоследствии становятся центрами кристаллизации кальция, образуя кристаллическую матрицу. На протяжении всей жизни человека эта матрица разрастается и видоизменяется, а также дополняется флюоритами CaF_2 . Количество кристаллов в шишковидной железе достигает примерно 18000, исходя из плотности (в 1 мм^3 – 100–300 шт.) и ее среднего объема – 60 мм^3 . Общая модель для одного кристалла приведена на рис. 1.161.



Рис. 1.161. Общая схема взаимодействия кристаллов CaCO_3

Внутри шишковидной железы множество кристаллов CaCO_3 образует объемную матрицу, лежащую на мембранной сетке с канальцами, по которой циркулирует жидкость – мелатонин (антиоксидант). Под действием внешних факторов канальцы могут менять свой диаметр, эти изменения передаются кристаллу, обладающему прямым и обратным пьезоэлектрическим эффектом. Генерируемый кристаллом электрический потенциал передается глиальным клеткам, активно потребляющим кальций Ca^{2+} . При этом создается градиент концентрации. Клетки с повышенной концентрацией Ca^{2+} оказывают воздействие на работу нейронов и далее на работу мозга. Генерация электронов может послужить причиной чувствительности шишковидной железы к изменению магнитной составляющей. Предложенная нами модель шишковидной железы имеет аналоги в технических системах [1.358], которые работают по принципам измерений градиента гравитации Земли, линейных и угловых ускорений (в настоящее время на принципе гравиградиентной технологии разрабатываются медицинские сканеры, которые безвредны для человека и с высокой степенью разрешения могут сканировать органы его тела). Было показано, что в микрокристаллах CaCO_3 шишковидной ткани наблюдаются генерации второй гармоники (ГВГ), и они могут также генерировать пьезоэлектричество, предлагая уникальный электромеханический механизм биологического датчика. Пьезоэлектричество – заряд, который накапливается в определенных твердых материалах в ответ на приложенное механическое напряжение. Термин «пьезоэлектричество» означает электроэнергию в результате давления. Исходя из новой парадигмы знаний о работе шишковидной железы, можно сказать, что в центральной части мозга человека находится область, которая аккумулирует в себе результаты воздействия: а) управляемых дестабилизирующих факторов, таких как: освещенность среды обитания, искусственные поля различной природы, элементный состав продуктов питания, сдвиги часовых поясов и календарные сдвиги; б) неуправляемых дестабилизирующих факторов: циклы естественных полей различной природы. При этом результаты ее реакции (синтезируемый спектр гормонов, излучаемые вибрации) определяющим образом влияют на работоспособность, здоровье, а также продолжительность активной жизни человека. Исходя из этого, важной гигиенической задачей является обеспечение эффективной работы шишковидной железы через оптимизацию управляемых дестабилизирующих факторов. При этом обеспечение оптимального уровня серотонина и мелатонина – это необходимые, но не достаточные условия физического здоровья человека, к которым относится формирование в шишковидной железе матрицы кристаллов, обеспечивающих его психическое здоровье. Это значительно уменьшит риски заболеваемости человека, а применение методологии прогнозирования концентрации мелатонина на основании фазовых портретов мелатонинового паттерна позволит с высокой точностью оценивать отдаленные риски возможного негативного влияния на здоровье человека управляемых дестабилизирующих факторов.

1.8.16. Влияние естественного освещения на здоровье, работоспособность и производительность труда человека [1.359]

Свет – это сущность человека, и известно, что он оказывает физическое, физиологическое и психологическое влияние [1.360].

В начале 20-го века естественный свет был основным источником освещения зданий. За короткий промежуток времени в пару десятилетий электрическое освещение стало основным источником освещения, главным образом из-за удобства. В последние годы проблемы энергосбережения и охраны окружающей среды изменили эту практику и вновь привлекли дневное освещение к передовым областям дискуссии об устойчивом развитии [1.361].

В течение десятилетий соответствующий дизайн освещения основывался на идее, что он должен отвечать потребностям жильцов здания, особенно с точки зрения выполнения визуальных задач. Однако недавние связи между здоровьем, благополучием и освещением сделали освещение интерьеров зданий одним из наиболее значимых факторов окружающей среды в архитектурном дизайне [1.360]. Недавние исследования доказали, что существует связь между освещением, работоспособностью и здоровьем человека. Свет не только обеспечивает визуальную информацию, но также является мощным модулятором нашего циркадного ритма и многих невидимых функций, включая состояние бдительности, умственной сосредоточенности и когнитивных функций [1.362].

Свет также является важным компонентом в образовательной среде, так как он оказывает сильное влияние на познание и обучение. За последние несколько десятилетий исследованиям по электрическому освещению в классных комнатах уделялось определенное внимание, но исследования воздействия естественного света на учащихся были несколько скудными [1.363].

Ограниченное число исследований в этой области, кажется, показывает, что окна и дневной свет могут улучшить физическое и психологическое здоровье учащихся, повлиять на их настроение, поведение и учебу [1.364, 1.365].

Исследование [1.359] представляет собой всесторонний обзор последних работ, в которых изучалась связь между дневным светом, состоянием здоровья и успеваемостью студентов и работников. В связи с этим обсуждается влияние утреннего солнечного света на циркадную систему, активность мозга и бдительность студентов.

Спектральные характеристики дневного и искусственного освещения

По данным Инженерного общества освещения, «дневное освещение относится к искусству и практике приема лучей солнечного света, рассеянного светового потока и отраженного света снаружи в здание, чтобы внести свой вклад в требования к освещению и энергосбережению за счет использования элементов управления электрическим освещением» [1.366].

По сравнению с естественным светом искусственный свет обеспечивает постоянное количество света, которое можно просто включить или выключить. Спектральное качество – это сложный термин, который используется, чтобы показать, насколько теплым или холодным является свет, и он измеряется двумя понятиями, а именно: коррелированная цветовая температура света (CCT) и индекс цветопередачи (CRI). Как правило, высокий CRI источника света соответствует цвету объекта, который кажется близким к естественному цвету, наблюдаемому при дневном освещении, или к источникам неиссякаемого света той же цветовой температуры [1.367].

Солнце генерирует широкий спектр света, чтобы обеспечить достаточную длину волны, чтобы все люди могли распознавать большинство цветов. Поэтому считается, что свет от солнца имеет CRI 100, что является максимальным значением, которого может достичь свет [1.368].

Различные исследования продемонстрировали множество преимуществ, которые дневной свет имеет с точки зрения его спектральных качеств, таких как выработка витамина D через нашу кожу. Фактически, именно природа светового спектра в солнечном свете делает его уникальным в улучшении здоровья человека, и его нельзя найти при электрическом освещении [1.367].

Дневное освещение и производительность

Многие исследователи пытались соотнести дневное освещение с улучшением производительности труда на рабочем месте. Бойс и соавт. определили производительность труда отдельного человека или организации как увеличение количества и/или качества продукта или услуги, которые должны быть предоставлены [1.368].

Согласно этим авторам, существует три пути, по которым условия освещения могут влиять на работу людей:

- зрительная система;
- циркадная система;
- система восприятия.

Условия освещения определяют возможности зрительной и циркадной системы [1.368]. На рис. 1.162 представлена концептуальная основа для рассмотрения этой взаимосвязи.

Jusé и Tenner представляют еще одну концептуальную модель влияния света и изменения состояния освещения на производительность труда в промышленной среде [1.369]. Эта модель показана на рис. 1.163.

Перспектива этой модели отличается от перспективы, изложенной Воусе et al. [1.368]. Согласно этому исследованию, установка нового освещения в рабочей среде влияет на производительность работников с помощью нескольких механизмов. Существует как минимум 10 механизмов, которые способствуют повышению продуктивности людей, включая визуальную производительность, визуальный комфорт, визуальное окружение, межличностные отношения, биологические часы, стимуляцию, удовлетворенность работой, решение проблем, эффект ореола, а также изменчивость и изменения в окружающей среде [1.369].

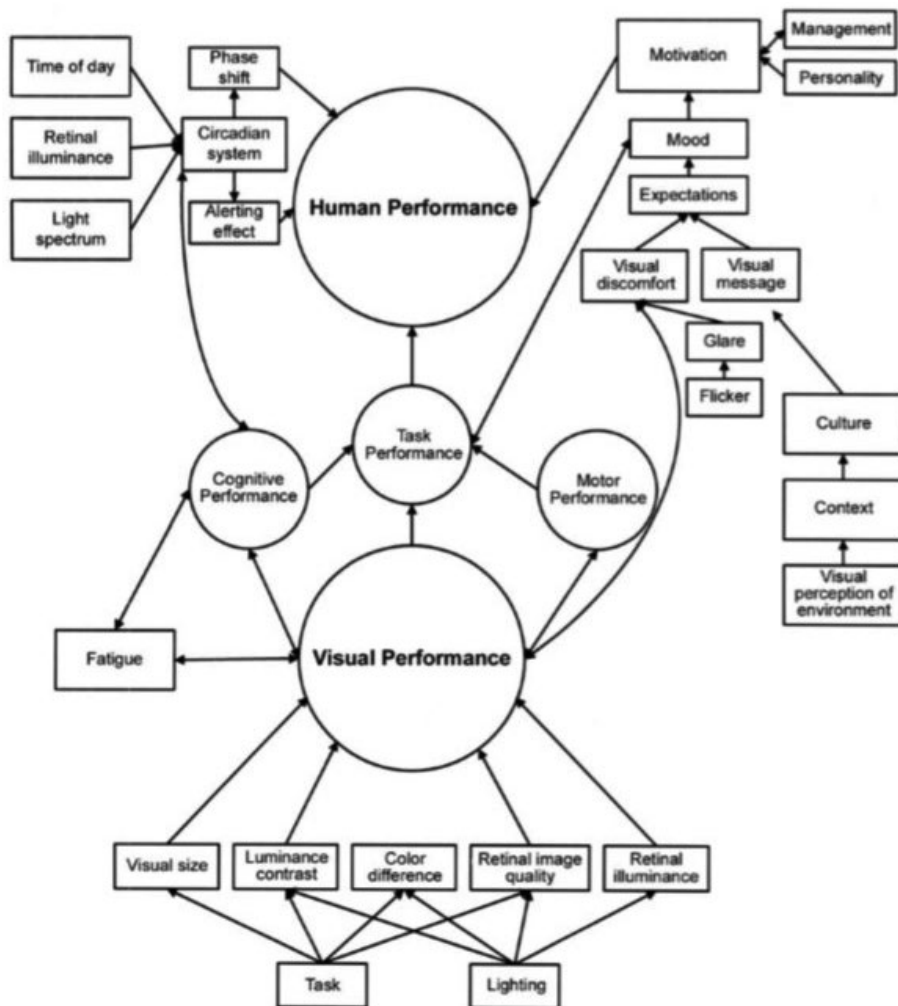


Рис. 1.162. Концептуальная основа взаимосвязи между условиями освещения и работоспособностью человека [1.368]

Другие исследования оценивали влияние естественного света на производительность труда работников с других точек зрения, таких как здоровье, благополучие, физическая активность, мотивация, достижения. Исследования воздействия света на продуктивность человека датируются 1920-ми годами. В одном из этих ранних исследований изучалось влияние качества освещения на ткачей шелка. В этом исследовании Tennesen и Cimprick [1.361] обнаружили, что люди, работающие в помещениях с видом на естественную растительность, уделяют больше внимания работе. Вид из окон – не единственная важная часть техники дневного освещения. Естественный свет повышает внимание и бдительность во время послеобеденного купания, и было показано, что он помогает повысить бдительность для повседневных и повторяющихся задач [1.370].

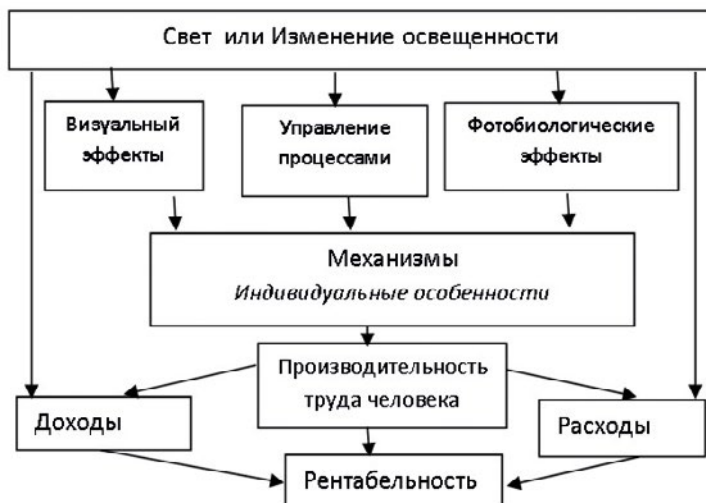


Рис. 1.163. Модель влияния света и изменения освещения на рентабельность в производственной среде [1.369]

Другое исследование, проведенное в начале 1990-х годов, показало, что сотрудники компании West Bend Mutual Insurance, которые переехали в новое здание и которым был предоставлен личный контроль над такими атрибутами окружающей среды, как температура, рабочее освещение, в целом имели более высокую производительность по сравнению с предыдущим местом работы. Переехав в новое здание, количество сотрудников, имеющих рабочее место с видом из окна, увеличилось с 30 до 96%. Уэст-Бенд установил, что по сравнению со старым зданием, в новом здании работники увеличили производительность обработки претензий на 16% [1.371, 1.372].

Vorisuit и его коллеги оценили влияние дневного света на производительность офисных работников с точки зрения визуального комфорта, бдительности и настроения. Их исследование проводилось на двадцати пяти молодых людях, которые провели два дня либо при электрическом освещении, либо в условиях дневного освещения только с застекленной крышей и без вида на улицу. Они обнаружили значительно более высокие визуальные показатели приемлемости при дневном освещении, чем при электрическом освещении, несмотря на отсутствие прямых внешних наблюдений. Хотя субъективная настороженность и физическое самочувствие снизились для обоих условий освещения в течение дня, субъекты чувствовали сонливость раньше при электрическом освещении, чем при дневном освещении. Физическое самочувствие ухудшалось в течение дня только при электрическом освещении. Более высокий визуальный комфорт, бдительность и хорошее самочувствие могут быть одним из показателей удовлетворенности работой офисных работников, и все эти факторы в результате повышают производительность [1.373].

В другом исследовании Voubekgi и его коллеги изучили влияние дневного света на производительность офисных работников, учитывая субъективное

здоровье, благополучие, физическую активность и качество сна, все факторы, которые оказывают существенное влияние на производительность людей. Результаты этого исследования показали, что офисные работники в офисах без окон сообщали о худших показателях в отношении жизнеспособности, физической активности и качества сна по сравнению с группой с окнами [1.374].

Это же исследование показало, что офисные работники с большим количеством дневного света в течение дня спят в среднем на 46 минут дольше, чем их коллеги без дневного света и окон. Другие исследования были сосредоточены на прогулах в качестве меры для измерения производительности [1.375].

Тот факт, что дневной свет, по-видимому, влияет на производительность труда в офисе, может быть экстраполирован на среду в классе, и можно предположить, что дневное освещение влияет на успеваемость учащихся.

Естественный свет и академические характеристики студентов

Основная цель архитектурного проектирования зданий учебных заведений – способствовать обучению, а также оптимизировать физическое и эмоциональное здоровье. Следует отметить, что университеты (школы) являются одними из самых многолюдных зданий и принимают молодежь. Применение адекватных методов дневного освещения в архитектуре школы способствует физическому и эмоциональному здоровью учащихся [1.376].

Студенты и преподаватели могут извлечь выгоду из правильной интеграции и управления дневным светом. Экономия энергии, высокая посещаемость учащихся, хорошее здоровье и хорошие академические показатели, а также меньший стресс для студентов – это лишь некоторые преимущества адекватного дневного освещения в образовательной среде [1.371].

Исследования показывают, что учителя более счастливы, когда они имеют возможность контролировать свою среду. Здоровые и счастливые учителя экономят школьные деньги и ученики у них лучше учатся [1.377].

Напротив, школа с неадекватным дизайном освещения может снизить способность учащихся к обучению. Низкое спектральное качество света в классе может создать нагрузку для глаз учащихся, привести к снижению обработки информации и способности к обучению и может вызвать более высокий уровень стресса у учащихся [1.378].

Куллер и Линдстен изучали здоровье и поведение детей в классных комнатах с окнами и без них в течение всего учебного года. Они пришли к выводу, что работа в классных комнатах без окон влияет на основную структуру гормона кортизола, который связан со стрессом и, следовательно, может негативно сказаться на здоровье и концентрации детей. Тем не менее не было обнаружено прямой связи между уровнем кортизола, успеваемостью и здоровьем учащихся [1.364, 1.376, 1.379].

Другое исследование в Швеции показало, что наблюдаемое поведение и уровень циркадных гормонов у учащихся начальной школы в классах с естественным освещением оставались ближе к ожидаемым нормам по сравнению со студентами в классах только с флуоресцентным освещением [1.380].

Махоуни изучил влияние естественного света и студентов и обнаружил, что добавление естественного света улучшает результаты тестов учащихся до 20% [1.380]. Тейлор заявляет, что учащиеся в классах с наибольшим количеством дневного света в течение одного года успевают быстрее сдавать экзамены по математике и чтению на 20 и 26% по сравнению со своими коллегами в классах с небольшим дневным светом или вообще без него [1.381].

Другое исследование, проведенное Kim et al. На дневном качестве учебных заведений в Южной Корее видно, что дневной свет повлиял на качество образовательной среды и успеваемость учащихся [1.382].

Aggio et al. [1.383] оценили влияние воздействия света на производительность труда 229 студентов с точки зрения физической активности и времени, проведенном за столом в Камдене, Великобритания. Чтобы исследовать это, ежедневное время, умеренная и энергичная физическая активность (MVPA) и освещенность измерялись ежедневно с использованием трехосевого акселерометра с датчиком внешней освещенности в течение лета. Их результаты указывают на наличие значительных ассоциаций между среднесуточным освещением и временем проводимым сидя, а также в MVPA. Исследователи пришли к выводу, что среднее воздействие света положительно связано со временем в MVPA и отрицательно связано с временем сидя. Таким образом, можно сделать вывод, что увеличение дневного освещения может быть полезной стратегией вмешательства для стимулирования физической активности и, следовательно, жизненных сил и работоспособности среди молодых студентов [1.383].

Как и отсутствие на рабочем месте, посещаемость является еще одним фактором, который можно считать показателем успеваемости учащихся. В школах с интегрированным флуоресцентным освещением полного спектра или естественным освещением посещаемость учащихся и преподавателей возрастает по сравнению с традиционно освещаемыми школами с люминесцентными светильниками низкого качества. Исследование флуоресцентных канадских школ с полным спектром показало, что у учеников посещаемость увеличивается на 3,2–3,8 дня в год больше, чем у учеников в традиционных школах флуоресцентного освещения [1.371]. Средняя школа Дюрант-роуд в школьной системе округа Уэйк в Северной Каролине была специально разработана для включения дневного освещения в классах, что привело к лучшему здоровью и посещаемости во всей школьной системе выше, чем 98%. Школа также показала самое низкое число отсутствий учеников, обусловленных заболеваниями [1.371].

Влияние утреннего яркого света на работоспособность

Следует учитывать, что разные спектры солнечного света оказывают различное воздействие на организм человека и особенно на глаза. Фактически, визуальные и невизуальные эффекты света на функции и реакции мозга зависят **от конкретной длины волны света**, получаемого через глаз. В результате утренний солнечный свет с коротковолновым спектром воздействует на организм человека по-разному по сравнению с длинноволновым солнечным светом. Было отмечено, что 6,5 часа воздействия синего света (монохроматический свет 460 нм) во время биологической ночи сни-

жает субъективную сонливость и повышает слуховую производительность и бдительность по сравнению с воздействием равной плотности фотонов зеленого света (монохромный свет 555 нм) [1.384].

Эти результаты показывают, что предупреждающие воздействия света на глаза зависят от длины волны, и в видимом спектре наблюдается более высокая чувствительность к коротким длинам волн. Было также отмечено, что даже несколько десятков секунд воздействия света вызывают немедленные и значительные изменения в мозге, зависящие от длины волны [1.385].

По словам Вандевалле, 50-секундное воздействие синего света увеличивает активность в левом гиппокампе, левом таламусе и правой миндалине по сравнению с зеленым светом [1.386].

Утренний свет играет важную роль в синхронизации метаболических ритмов с 24-часовым циклом вращения Земли. Без регулярного дневного освещения человеческие циркадные часы будут работать в среднем по циклу 24 часа и 15–30 минут, что в конечном итоге приведет к смене циркадного кардиостимулятора и десинхронизации наших биологических часов.

Влияние раннего утреннего солнечного света на циркадную систему студентов было исследовано Фигейро и Реа [1.387, 1.385] в условиях внешней лаборатории. Это исследование показало, что отсутствие коротковолнового света утром приводит к задержке циркадной фазы примерно на 30 минут для учеников 8-го класса. Другие исследования показали аналогичные результаты в контролируемых лабораторных условиях. Результаты контролируемых лабораторных условий подтверждают результаты, полученные в реальных условиях школьной среды. Циркадный ритм в значительной степени ответственен за многочисленные когнитивные процессы, такие как внимание, бдительность, качество сна, настроение, а также память. Это ключевые компоненты в процессе обучения.

Воздействие естественного света в классах, по-видимому, имеет важное значение для улучшения обучения учащихся, что было изучено Keis et al. [1.388].

Результаты этого исследования доказывают, что обогащенный голубым светом белый свет оказывает влияние на базовую обработку информации среди учащихся старших классов. Синий свет улучшает скорость обработки и концентрацию учащихся по сравнению со стандартным освещением. Кроме того, недавнее исследование показало, что один час воздействия утреннего яркого белого света улучшает параметры сна и пробуждения и влияет на когнитивные способности и бдительность [1.389].

Эти исследования показывают, что достаточно легкое вмешательство может значительно повысить бдительность и, следовательно, производительность на работе. Другие недавние исследования показали влияние яркого света на здоровых людей в течение обычного рабочего дня.

Полевое исследование Смолдерса, Де Корта и Ван ден Берга [1.390] представило дополнительные доказательства прямой связи между воздействием более интенсивного света и ощущением жизненной силы в дневное время и в повседневных ситуациях. Их результаты показали, что почасовая освещенность была важным показателем жизнеспособности. Люди, которые были подвержены большому количеству света, испытывали более

высокие чувства жизненной силы, сверх дисперсии, объясняемой личностными характеристиками, временем суток и моделями деятельности. Другое лабораторное исследование показало, что даже в отсутствие недостатка сна и света воздействие повышенной освещенности на уровне глаз может вызывать субъективную настороженность и жизненную силу, повышать физиологическое возбуждение и улучшать показатели при выполнении задачи постоянного внимания [1.391].

Такие же результаты были найдены Leichfried et al. которые пришли к выводу, что раннее утреннее освещение улучшает субъективную настороженность и настроение, но не оказало влияния на уровень мелатонина и умственную работоспособность людей [1.392].

Было обнаружено, что кратковременное воздействие света улучшает таламическую, лобную и теменную деятельность и, таким образом, влияет на утомляемость [1.387, 1.391].

Более того, поскольку коротковолновый свет эффективен для сдвига фаз циркадного кардиостимулятора, подавления мелатонина и активации вегетативной нервной системы, длительное воздействие яркого света является потенциальным средством против утомления, особенно во время биологической ночи. Обычные задачи, такие как управление автомобилем, которые требуют постоянного внимания, улучшаются при воздействии яркого света [1.387]. Он также может положительно влиять на когнитивные и физические показатели у здоровых людей [1.393, 1.394].

Все эти исследования демонстрируют прямую связь между интенсивным ранним утренним дневным светом и бдительностью, жизненной силой и когнитивными показателями. Все это ключевые факторы, влияющие на работу и успеваемость людей. Хотя эти исследования не оценивали влияние утреннего дневного света на настороженность и продуктивность учащихся, они могут быть распространены на студентов. Принимая во внимание результаты этих исследований, представляется необходимым подвергать студентов короткому яркому свету в начале дня, чтобы сохранить стремление к занятиям. Эти результаты, кажется, имеют существенные и практические последствия для дизайна школ в целом и классных комнат в частности. Воздействие синего света в школах можно рассматривать как простой, полезный, не фармакологический способ, который улучшает здоровье учеников, бдительность, активность мозга, а также жизнеспособность и, возможно, академическую успеваемость. Солнечный свет, по-видимому, является наиболее подходящим источником освещения в школах, поскольку он может обеспечить достаточное количество и адекватный спектр, а также надлежащие сроки и продолжительность воздействия света [1.387, 1.385]. Эти выводы должны иметь прямое влияние на планировку школ, а также на ориентацию фасадов и дизайн фенестрации в школах.

Школа и солнечный свет в окне [1.395]

Классная комната не может быть адекватно освещена естественным светом в течение всего года. Его следует сочетать с искусственным освещением для использования в ночное время и в качестве дополнительного источника света в дни, когда естественного дневного света недостаточно. Поэтому ис-

кусственное и естественное освещение следует рассматривать совместно, а не отдельно. Рисунки 1.164 и 1.165 объясняют механизмы энергосберегающих стратегий с использованием естественного дневного света.

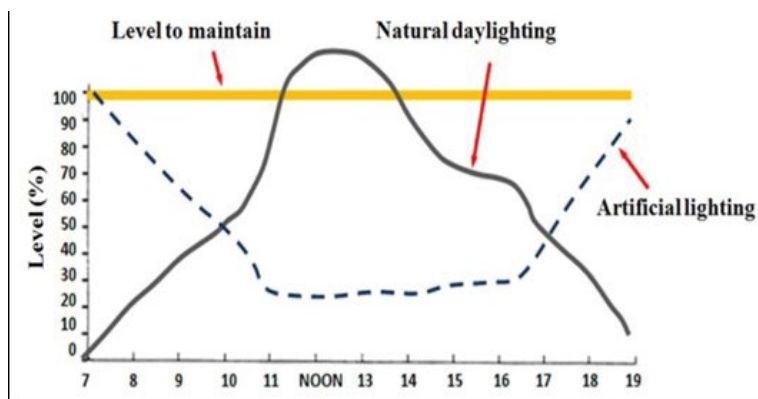


Рис. 1.164. Принципы комбинированной стратегии освещения: повысить уровень освещения за счет использования искусственного освещения в местах, где естественного дневного света недостаточно

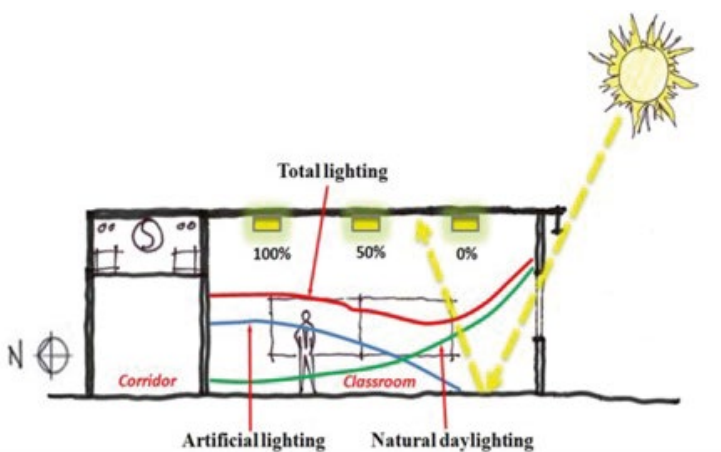


Рис. 1.165. Комбинированная стратегия освещения (источник: [1.395])

Это также иллюстрирует изменения естественного и искусственного освещения для классной комнаты, размеры которой 6 м в длину и 3 м в высоту. Такое сочетание искусственного и естественного освещения приводит к значительной экономии электрической энергии, обеспечивая при этом хороший уровень визуального комфорта в помещениях. Для этого необходимо знать, сколько искусственного дневного света требуется. Это автоматически вернет нас к доступности естественного дневного света, его дневным и сезонным изменениям и проникновению во внутренние помещения.

Из этих моделей можно отметить, что в изучаемой классной комнате возникают проблемы с точки зрения светового комфорта и перегрева, что требует реконструкции учебных помещений при одновременном улучшении

управления световыми качествами этих помещений. Эти первоначальные результаты дают надежду исследовать другие решения, которые появятся в результате изучения архитектурных устройств, реализованных в традиционном стиле здания, и исследовать, как их можно использовать в современном контексте с применением новых методов и материалов строительства. Это исследование предоставит подходящие дневные стратегии для достижения качества света, необходимого для улучшения успеваемости учащихся, а также для экономии средств.

В заключение следует отметить, что это исследование представляет собой серьезную попытку применить стратегии устойчивого архитектурного дизайна для использования естественного дневного света. В условиях постоянно растущего спроса на энергию быстро развивающиеся страны нуждаются в стратегиях экологического строительства, которые улучшат освещение в классной среде. Концепция устойчивости должна выходить за рамки исключительной оптимизации диапазона факторов энергетической эффективности, которые приводят к снижению потребления и воздействия на окружающую среду. Она также должна признать физические, физиологические и психологические потребности человека. Устойчивое развитие требует долгосрочных изменений посредством взаимодействия нескольких взаимосвязанных систем, применяя комплексный подход к архитектуре, где решение в одной области может влиять на другую. В этом контексте дневной свет является важным аспектом дизайна, в котором экологические, энергетические, эстетические, социальные, культурные, финансовые и человеческие аспекты одновременно работают вместе. Таким образом, это исследование позволяет разработать различные методы оценки, которые просты в реализации и обеспечивают легко выполнимые результаты для естественного освещения классных комнат с количественной и качественной точек зрения [1.395].

1.8.17. Влияние естественного освещения на здоровье, работоспособность и производительность труда школьника [1.396]

Большинство школ, как правило, не обеспечивают достаточное освещение, в то время как достаточный дневной свет в школьных зданиях будет улучшать циркадное стимулирование [1.397].

В правильно спроектированных внутренних пространствах дневной свет повышает остроту зрения, качество жизни и психическое здоровье, т.е. те дорогостоящие преимущества, которые трудно воспроизвести с помощью искусственного освещения [1.398].

Бейкер и Steemers (2002) утверждают, что использование искусственного света вызывает напряжение, усталость и циркадные дисфункции у человека [1.399].

Естественное освещение позитивно влияет на производительность и психологию школьников [1.400] (рис. 1.166).

Дневное освещение и здоровье

Исследователи из Университета Калифорнии предположили, что источники света с полным спектром обеспечивают более эффективное освещение для зрения. *Чем полнее спектр, тем ниже нагрузка на глаза* [1.401].



Рис. 1.166. Влияние естественного освещения на успеваемость учащихся [1.400]

Дневное освещение обеспечивает легкое распознавание окружающего мира, снижает зрительное напряжение [1.402].

Недостаточное дневное освещение влияет на суточный цикл (дисгармонизируя его), что требует повторной синхронизации. Мелатонин вырабатывается в неподходящее время дня [1.401], в результате чего возникает хроническая усталость, депрессии и, возможно, даже рак [1.403].

Дневное освещение и психология

Различные условия освещения влияют на чувства людей. Основным принципом для выбора типа освещения должно быть создание позитивного настроения, которого зачастую не хватает в нашей жизни. При этом предпочтительным является дневное освещение [1.402].

Хорошее дневное освещение способствует ментальному благополучию преподавателей и студентов. Согласно Knez (1990) и Vetich (1997), освещение влияет на настроение и межличностные отношения. Nathaway (1994) обнаружил хорошую корреляцию между освещением и посещаемостью школьников (студентов) [1.404].

Современные исследования показали, что естественное освещение повышает умственную производительность, снижает агрессивное поведение, уменьшает депрессию, улучшает сон. Результаты исследований показали, что ежедневно требуется по крайней мере 3 ч воздействия дневного света, чтобы уменьшить стресс и депрессию [1.405, 1.406, 1.407, 1.408].

Стресс характеризуется гормональными и физиологическими изменениями, которые возникают в ответ на угрозы и неприятные события, к которым относится и неблагоприятное состояние окружающей среды [1.402, 1.409].

Кроме того, исследователи установили, что внутреннее дневное освещение вызывает у студентов чувство безопасности [1.410].

Переход с естественного на искусственное освещение влияет на функцию восприятия пространства, биологических и внутренних часов человека. Положительные эффекты естественного света на человека являются одним из наиболее важных аспектов, рассматриваемых в архитектурном проектировании [1.411].

Влияние естественного света на обучаемость школьников

Хорошее естественное освещение наряду с улучшением условий обучения способствует уменьшению прогулов уроков [1.412].

В Соединенных Штатах Америки были проведены исследования влияния естественного освещения на успеваемость учащихся. Результаты показали сильную корреляцию между производительностью студентов и уровнем естественного освещения, зависящего от размера окна, уровня ожидаемого дневного света [1.413]. Например, Nathaway и Ланг установили, что учителя предпочитают естественное освещение с возможностью контроля его уровней [1.414].

Естественное освещение является важным источником мотивации к обучению [1.415, 1.416].

Heschong и др. (2002) исследовали в течение более 4 лет естественное освещение и производительность учеников. Они провели анализ успеваемости около 8 000 учеников в 450 классах. Окна, пропускающие приятный рассеянный солнечный свет, положительно влияли на учеников, в то время как прямой солнечный свет, блики и неэффективное использование окон и затенения влияли отрицательно [1.417].

Таким образом, исследователи пришли к выводу, что дневной свет непосредственно влияет на производительность труда учеников [1.401].

Предыдущие исследования Heschong и др. (1999) обнаружили, что производительность учеников с естественным освещением в классах улучшалась на 20% в день по сравнению с учениками, занимавшимися в классах без дневного освещения [1.418].

Студенты в классных комнатах с высокими уровнями дневного освещения показывали от 20 до 26% более высокую скорость обучения, чем в классах с низким уровнем дневного солнечного освещения. Heschong и др. (1999) проанализировали тесты по математике более 21000 учеников начальных классов из Центральной Азии, Сиятла и Форт-Коллинза за один год [1.419].

Ученики школы штата Калифорния показали, что примерно на от 20 до 26% увеличивается академическая производительность, в то время как студенты в Форт-Коллинзе и Сиятле показали от 7 до 18% (Heschong и др., 1999). В классных комнатах с максимумом дневного света улучшилось решение задач по математике (20%) и чтению текстов (26%) по сравнению с классами с минимальным дневным светом [1.405].

Nicklas и Бейли (1995) сравнивали результаты исследования студентов школ с дневным и искусственным освещением в Северной Каролине. Было показано уменьшение депрессий, снижение агрессивного поведения, усталости и стресса. У учащихся дневных школ была лучшая посещаемость, хорошее настроение и сон, отсутствовали сезонные аффективные расстройства и стресс. Учащиеся в школах с дневным освещением имели более высокие оценки, чем их коллеги в школах с искусственным освещением. Их оценки были выше от 5 до 14% в чтении и математике [1.420, 1.421].

Рассмотренные результаты исследований о влиянии дневного и искусственного света на физическое и психологическое здоровье учащихся показали, что искусственное освещение вызывает деформации, усталость и циркадные дисфункции. Эти исследования дают ценную информацию

для разработки рекомендаций по сохранению здоровья, повышению эффективности обучения, рационально используя естественный свет в школах. Кроме того, этими рекомендациями могут воспользоваться дизайнеры и архитекторы при разработке проектов освещения в школах, которые, как правило, недостаточно обеспечиваются естественным освещением.

Улучшение освещения солнечным светом в одноэтажных школах Дании

Школа Endrup расположена к северу от Копенгагена в Дании и была недавно отремонтирована. Целью обновления было улучшение качества воздуха в помещении (с учетом воспринимаемой свежести и уровня CO_2), уровней и распределения дневного света. Для достижения целей реконструкции были установлены дополнительные окна и применена контролируемая естественная вентиляция (на основе CO_2) [1.422, 1.423].



Рис. 1.167. Сельская школа в Дании до модернизации освещения от естественных источников света

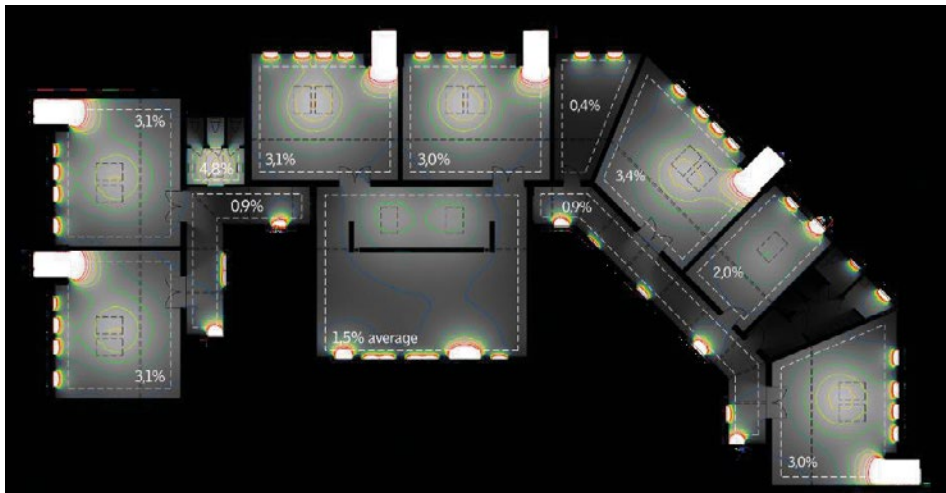


Рис. 1.168. Уровни освещенности сельской школы до установки дополнительных окон [1.423]



Рис. 1.169. Внешний вид сельской школы после ее модернизации (установка на крыше дополнительных окон) [1.423]

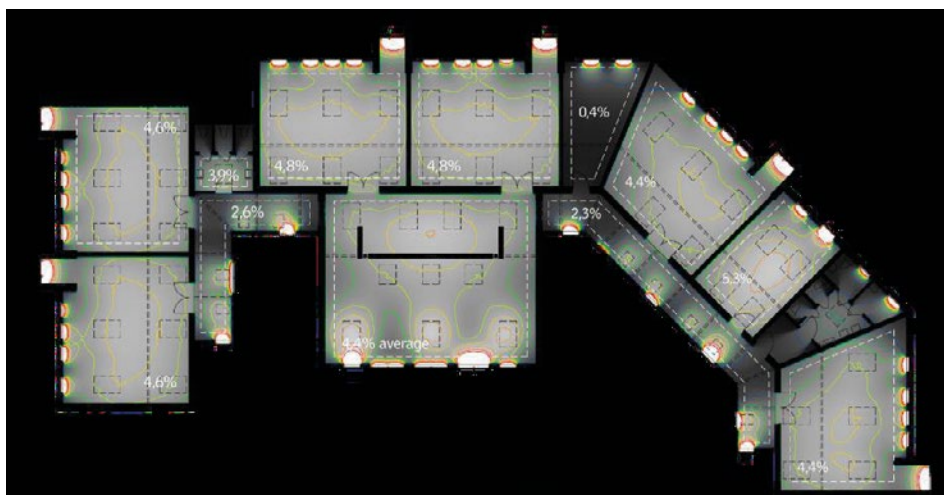


Рис. 1.170. Уровни освещенности сельской школы после установки дополнительных окон [1.423]

Увеличение естественного освещения привело к улучшению результатов по математике на 20% и по чтению на 26%. Но успехи в обучении зависят не только от качества освещения, но и от работы системы вентиляции помещения:

► Успеваемость учеников повышается на 15% при увеличении объема свежего воздуха на человека с 1 до 8 литров.

► При увеличении вентиляции количество тестов без ошибок увеличивалось по чтению и математике от 2 до 15%.

Отдельные гигиенические показатели школьной среды обучения через интегральные показатели повышения обучаемости и производительности труда учителей могут быть экстраполированы на экономические показатели.

Формирование экологичной среды обучения в школе



естественный свет и свежий воздух



здоровый микроклимат школы



Повышение успеваемости, производительности
и сохранение здоровья



Увеличение доходов и налоговых поступлений

Оценка влияния качества воздуха, температуры и повышения уровня обучения в школах на макроэкономические показатели Дании проводилась по методикам DREAM (DREAM= Danish Rational Economic Agents Model).

Таблица 1.8

Макроэкономические последствия от улучшения микроклимата в школах Дании

	Среднегодовая эффект	Тенденция эффекта
Для государственного бюджета: всего	€37 million	повышение
• повышение производительности	€16 million	повышение
• увеличение числа учеников десятых классов	€15 million	повышение
• снижение числа больных	€6 million	постоянная
Для общего объема ВВП	€170 million	повышение
• повышение производительности	€104million.	повышение
• уменьшение числа второгодников	€67 million	повышение
• Снижение числа больных	N/A	N/A

В работах [1.424] приведены математические модели прогнозирования успешности человека через уровень его доходов в зависимости от качества образования.

В основе этой модели лежит сравнение данных из эксперимента STAR с налоговыми записями США [1.425].

Человек с высокими доходами через налоги пополняет бюджет страны. Зависимость ожидаемого уровня заработной платы студента к 25–27 годам от уровня его успеваемости представлена на рис. 1.171.

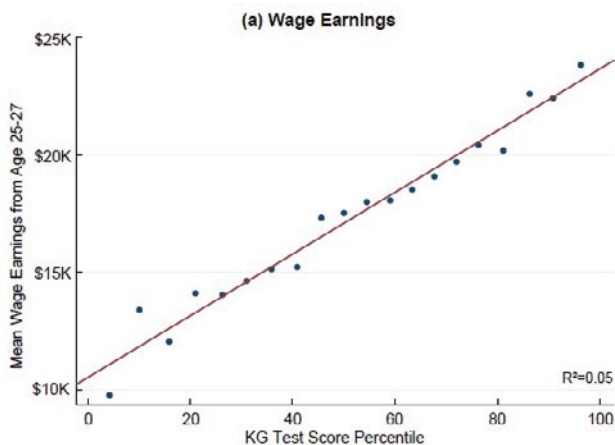


Рис. 1.171. График зависимости величины заработной платы в 25–27 лет от успеваемости (по результатам исследований в США) [1.425]

Но положительные эффекты на макроэкономическом уровне могут быть сведены на нет, если в ходе обучения в условиях искусственных источников света человек (ребенок, школьник, студент) приобретет болезни, в частности миопию.

«Гоните близорукость прочь! Выйти на улицу и играть!» – это лозунг для детей XXI века.

«От солнышка убежать – света не видать» (народная пословица)

Близорукость является огромным бременем общественного здравоохранения в глобальном масштабе, особенно в странах Восточной Азии. Прогрессирующая высокая близорукость приводит к угрожающим зрению глазным патологиям, которые могут потребовать лазерного лечения или операции, а также огромных экономических затрат на очки, контактные линзы, терапевтические и хирургические вмешательства. Следовательно, отсрочка начала миопии имеет первостепенное значение. Недавние исследования показали, что увеличение времени пребывания на улице в солнечную погоду является важным фактором профилактики миопии. Потенциальная роль солнечного света как защитного фактора в развитии близорукости обсуждается в этих работах [1.426, 1.427].

Хотя генетика играет важную роль в близорукости, резкое увеличение указывает на экологические факторы. Несколько исследований показали связь между работой и близорукостью у детей. Чтобы понять близорукость, в 1999 году финансируемые NEI исследователи инициировали совместную оценку этнической принадлежности и рефракционной ошибки (CLEERE) ⁸, чтобы следить за развитием глаз более чем 1 200 детей в возрасте 6–14 лет [1.428].

Исследователи обнаружили, что если дети проводят больше времени на открытом воздухе, тем меньше шансов стать близорукими [1.429].

Исследователи не уверены, почему время на открытом воздухе помогает предотвратить наступление близорукости. «Одна идея, что это просто количество света, которому подвергаются дети», – сказал Джеффри J. Walline, ОД, к. э. н., заместитель декана в государственном Колледже оптометрии университета Огайо. «В теории, большее количество света вызывает больший выброс допамина в сетчатке, который замедляет рост глаза». Любопытно, что после того как близорукость начала развиваться, проведение времени на открытом воздухе, по-видимому, не замедлит ее развитие. Лучшей профилактикой близорукости у детей является проведение большего времени на открытом воздухе. Тайвань считает время, проведенное на открытом воздухе, частью школьной программы, по инициативе Пэй-Чанг Ву, М. Д., к. т. н., директора Департамента по офтальмологии в Гаосюн Чжан Гун Мемориальном госпитале. Поскольку они увеличили время на открытом воздухе на пару часов в 2010 году, зрение детей улучшилось [1.450, 1.451].

Задержка наступления близорукости может уменьшить её тяжесть и привести к пропорциональному сокращению высокой близорукости.

Солнечный свет и повышенная активность на открытом воздухе снижают вероятность миопии. Следовательно, увеличение времени, проведенного на открытом воздухе, будет чрезвычайно выгодным, особенно в городских азиатских регионах с образом жизни, более ориентированным на внутреннюю жизнь. Дети должны поощряться к занятиям на свежем воздухе в течение как минимум 1–2 часов в день, поскольку значительная защита может быть достигнута в течение примерно 40–80 минут на открытом воздухе в рандомизированных экспериментах. Поскольку повторяющиеся циклы воздействия яркого света обеспечивают более высокую защиту от наступления близорукости [1.452], рекомендуется проводить регулярные мероприятия на свежем воздухе, а также применять соответствующие меры защиты от солнца, такие как ношение широкополой шляпы, солнцезащитных очков и адекватного увлажнения.

Раздел 1.9. Гигиенические особенности влияния света искусственных источников и адекватность естественных механизмов защиты глаз

В настоящее время в рамках светотехнической науки отдельным разделом сформировалась история искусственных источников света, которая изложена в Справочной книге по светотехнике под редакцией Ю. Б. Айзенберга и в других публикациях [1.453, 1.454].

История искусственных источников света берет свое начало от костра, свечи, лучины и лампы (рис. 1.172) через газовые фонари до электрических источников света (ламп накаливания, люминесцентных ламп, светодиодных ламп и до органических светильников).

История электрического освещения полна интриг о приоритетах тех или иных ученых. Например, в канун нового, 1880 года в маленький городок Менло-Парк съехалось население всего штата Нью-Джерси, а может быть,

и нескольких соседних штатов. Пенсильванская железная дорога не справлялась с потоком желающих, и пришлось пустить дополнительные поезда. Люди приезжали с единственной целью – посмотреть на то, как сто электрических солнц, ламп накаливания, освещают станцию, улицы и лабораторию Эдисона. Так началась эра массового электрического освещения для светотехников, но историки древности считают, что она начиналась еще раньше [1.455].



Рис. 1.172. Общие этапы эволюции искусственного освещения и источников света

Оказывается, в Древнем Египте, а также в еще более древней Шумерской цивилизации существовало электричество. В XVI–XVII веках археологи обнаружили в усыпальницах Египта (и других стран) светильники, которые освещали помещение свыше 1600 лет тому назад слабым *светом постельных тонов*. В своих работах Святой Августин (354–430 гг.) сообщал о необычной лампе, которую он видел в храме богини Изиды (Египет). Августин сам убедился, что лампу не может погасить ни ветер, ни вода. Верхний купол пирамид и усыпальницы фараонов всегда были освещены. Здесь устанавливались своего рода потолочные светильники – объекты слабого, но постоянного свечения, энергии которых хватало на освещение объекта в течение более чем полутора тысяч лет. Не только раскопки и исследования пирамид говорят о существовании электричества и светильных приборов в Египте. Сами письма и древние источники доносят до нас информацию о том, что сложные подземные работы по созданию пирамид велись при помощи осветительных приборов, представляющих собой длинный светящийся шнур. Что же было источником энергии для подобных приборов? Они действительно были очень сложны. В то время как древние египетские источники света представляли собой небольшие пирамиды, шары, призмы, устроенные наподобие современных гальванических батареек. Их совокупность и образовывала источник не яркого, но постоянного света. Проблема экономичного потребления электроэнергии в Древ-

нем Египте была решена тысячи лет назад! Множественные, расположенные в разных частях здания люстры освещали пастельным светом святыне для египтян места. Даже Александрийский маяк – еще одно доказательство существования источников энергии и осветительных приборов на Востоке в те далекие времена. В 1938 году, во время раскопок под Багдадом, немецкий археолог Вильгельм Кениг обнаружил глиняные вазы, внутри которых находились цилиндры из меди, закрепленные на дне с помощью смолы. Кениг не придавал этому значения, но после войны раскопки в Ираке возобновились, и возле древнего шумерского города Селевкия археологи вновь обнаружили подобные сосуды, назначение которых сначала было непонятно. Но потом кто-то догадался налить в один из таких сосудов лимонный сок и опустить в него железный стержень. И что же? Между этим стержнем и медным цилиндром возникла разность потенциалов, около 0,5 В. Таинственные вазы были древними гальваническими элементами! Потом изображение подобных «электрических ваз» обнаружили в Египте. Так, в начале 80-х гг. археолог Ренхард Хабек исследовал древнеегипетский храм Хатор, находящийся в Дендере. Барельефы на стенах этого храма изображали несколько грушевидных сосудов с волнистыми линиями внутри, стилизованными под змей. От них шли какие-то шнуры, укрепленные на стойках, названных «колоннами Джеф». Можно было предположить, что грушевидные объекты с волнистыми линиями внутри – нечто вроде электрических ламп накаливания, а «колонны Джеф» – столбы с изоляторами, поддерживающие электрические провода. Изображения подобных колонн стали находить затем во всех храмах Центрального Египта. Наконец, были найдены и сами «колонны Джеф», на которых висели тонкие изолированные медные провода. Такие провода обнаружили и в захоронениях разных фараонов, в том числе и в гробнице Тутанхамона в Долине царей. Действительно, на стенах и потолках египетских храмов нет следов копоти от факелов. Это можно объяснить только тем, что они освещались электричеством.

Если банка заполняется электролитом (лимонным соком), то между железным и медным выводом возникает электрический ток. Это явление известно как электрохимическая реакция, и не сильно отличается от того, как работают современные батареи. В ходе экспериментов по реконструкции Багдадской батареи было получено напряжение между выводами 1,5–2 В. Это еще раз показывает, что люди, жившие 2000 лет назад, обладали гораздо более передовой технологией и, соответственно, уровнем жизни, чем считалось ранее. Любой гигиенист может наглядно убедиться, что наличие лимонной кислоты, железа и меди порождает перемещение электронов (ток) во внешней цепи (рис. 1.174), и при этом вспомнить электронный перенос в клетке (наличие цинка, меди и соответствующей среды).

Из этих исторических фактов следует, что источники света Древнего Египта были не очень яркие (не слепили при низких потолках гробниц), имели хороший энергетический спектр света. Это позволяло создавать роскошные по палитре цветов внутренние убранства пирамиды, при этом излучаемый энергетический спектр света не разрушал краски, а восхищал игрой цвета во время обрядов.



а)



б)

Рис. 1.173. Изображения светильника (а) и шумерский гальванический элемент (б)

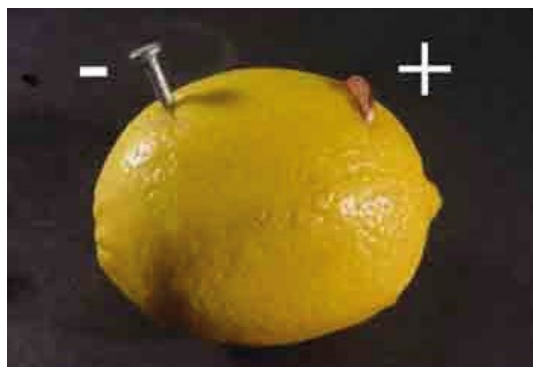


Рис. 1.174. Эта полностью натуральная лимонная батарея может питать маленькие часы или светодиод [1.456]



Рис. 1.175. Внешняя неказистость захоронения с лихвой компенсировалась великолепием внутреннего убранства: стены были отделаны золотом, картины поражали яркостью красок, которые практически не тускнели

Из качества применяемых красителей, внешнего вида светильников, описания качества света и применения низковольтных батарей, а также опираясь на современные знания, можно сделать предположения, что это были органические светодиодные светильники. Органический светодиод (англ. organic light-emitting diode, сокр. OLED) – полупроводниковый прибор, изготовленный из органических соединений, эффективно излучающих свет при пропускании через них электрического тока. К органическим полупроводникам относятся органические красители (например, метиленовый голубой, фталоцианины), ароматические соединения (нафталин, антрацен, виолантрен), полимеры с сопряжёнными связями, некоторые природные пигменты (хлорофилл, бета-каротин), молекулярные комплексы с переносом заряда, а также ион-радикальные соли. Органические полупроводники существуют в виде монокристаллов, поликристаллических или аморфных порошков и пленок. В Древнем Египте были знания о красителях и о низковольтных источниках электрической энергии. Это подтверждают результаты работы историков на местах раскопок древних цивилизаций. Мы знаем, что история развивается по спирали и каждый раз новое – это старое, но только на новом технологическом уровне.

В настоящее время Концерн BASF и компания Osram Opto Semiconductors разработали новый высокоэффективный органический светодиод (OLED) белого цвета. Он демонстрирует высокие показатели светоотдачи – более 60 лм/Вт, и соответствует международному стандарту Energy Star SSL в отношении цвета. Благодаря использованию новых материалов светодиоды сохраняют белый цвет при различной интенсивности светового потока.

На рис. 1.176 представлена эволюция искусственных источников света, а венцом ее на настоящий момент времени, по мнению светотехников, являются органические светодиоды с напряжением питания от 3V и до 8V. Такое напряжение питания светильника можно организовать с применением шу-мерских батарей.

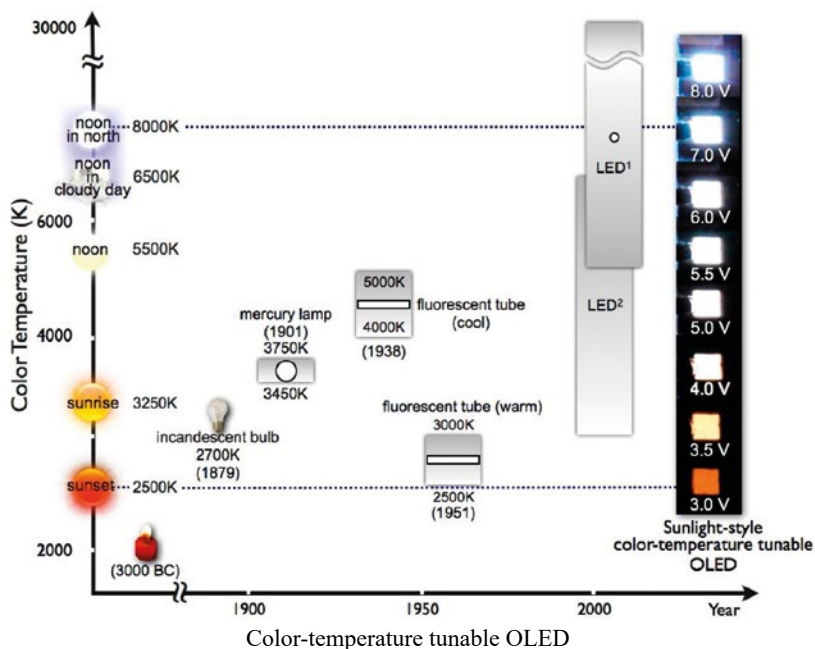


Рис. 1.176. Этапы эволюции электрических источников света от свечи до OLED [1.457]

Из рисунка видно, что на каждом этапе разработчики источников света стремились создать источник, эквивалентный по цветовой температуре солнечному свету, соответствующему определенному времени суток. Введение понятия «коррелированная цветовая температура» позволило сравнивать люминесцентные лампы с лампами накаливания и с солнечным спектром. Все источники имели разные спектры света, то есть разные механизмы воздействия на зрительный анализатор и на здоровье человека.

Главная забота гигиенистов – это детское здоровье, которое в настоящее время формируется в световой среде дошкольных и школьных учреждений.

1.9.1. История освещения дошкольных учреждений и школ

*Будь не солнечен наш глаз –
Кто бы солнцем любовался?*

Гете

*Не каждый врач должен быть гигиенистом, но каждому
врачу необходим профилактический образ мышления.*

Ф. Ф. Эрisman

Школьное образование уходит своими корнями в глубину веков [1.458]. Обучение в этих школах исходило из ранее имеющегося знания. Модели развития обучающих институтов мы встречаем в Египте, Китае, Греции, Риме, Иране. Все говорит о том, что у древних существуют примерно одни и те же источники знаний, модели, даже представления об окружающем

их мире. Люди той эпохи стремились черпать мудрость отовсюду, подобно великому философу Сократу. «Я просматриваю сокровища древних мудрых мужей, которые оставили нам последние в своих сочинениях; и если мы встретим что-либо хорошее, заимствуем и считаем великой для себя прибылью» – любил говорить он. Обучение проходило в условиях солнечного освещения и свежего воздуха в тени садов или помещений с проемами для проникновения солнечного света. На рис. 1.177 приведен образец такого помещения.

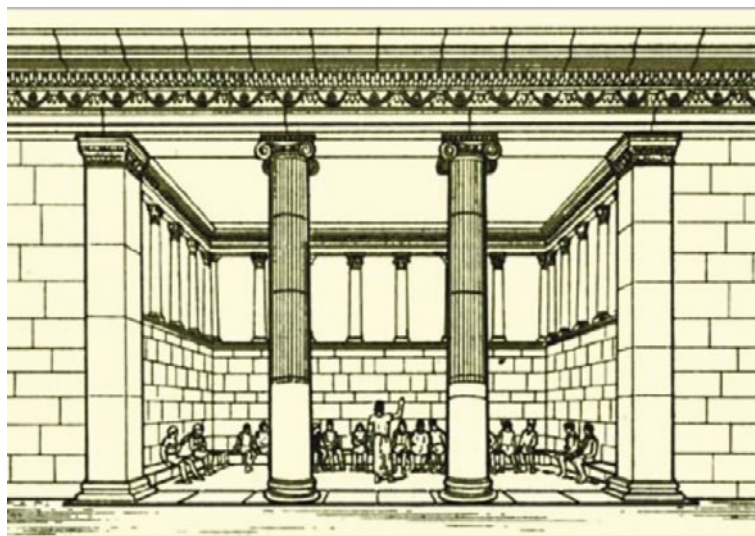


Рис. 1.177. Интерьер нижнего гимнасия в Приене. 130 г. до н. э. [1.459]

В таких помещениях школ древней Греции много рассеянного солнечного света, тени и воздуха.

Великий ученый Сергей Иванович Вавилов в своей книге «Глаз и Солнце» (впервые она была напечатана в 1927 г.) приводил высказывание философа и естествоиспытателя И. В. Гете – «Глаз обязан бытием своим свету. Из безучастных животных вспомогательных органов свет вызывает орган, который стал бы ему подобным; так образуется глаз на свету, для света, чтобы внутренний свет встречал внешний».

Он отмечал, что с биологической точки зрения «оптимальная освещенность» должна быть результатом эволюционного приспособления глаза к средней освещенности, создаваемой Солнцем. Глаз в отношении энергии приспособлен не к самому Солнцу, а к солнечному свету, *рассеянному* от окружающих тел. Свет – в физической оптике электромагнитное излучение (или фотонный поток), воспринимаемое человеческим глазом, вызывая визуальные и невизуальные отклики. Свет как излучение характеризуется спектром. Спектр света – распределение интенсивности электромагнитного излучения (фотонного потока) по частотам или длинам волн. На рис. 1.178 приведена качественная картина спектра света от естественных и искусственных источников.

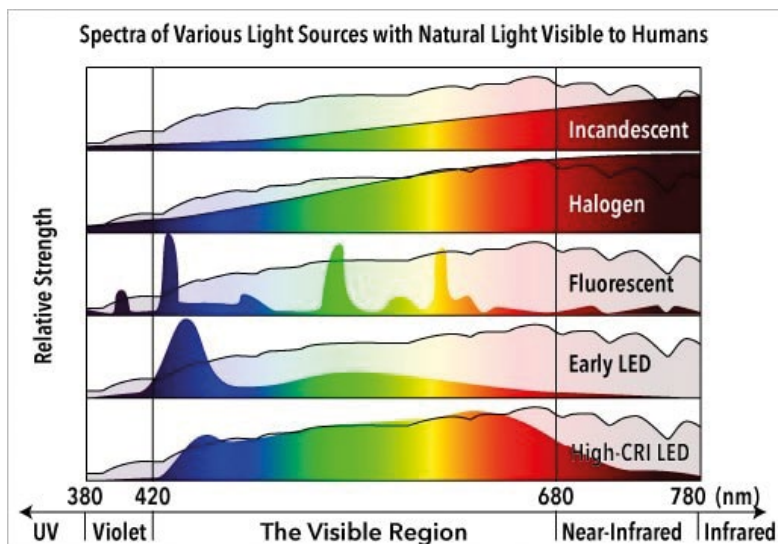


Рис. 1.178. Спектр света, излучаемый Солнцем, лампой накаливания, люминесцентными лампами и белым светодиодом

Все искусственные источники света в видимом диапазоне 380–740 нм характеризуются дисбалансом между красной и синей составляющими спектра относительно гигиенически безопасного солнечного спектра. Спектры света от люминесцентных и светодиодных источников имеют высокую неравномерность фотонного потока в видимом диапазоне света. При смешанном освещении фотонные потоки суммируются, порождая новый неравномерный спектр световой среды. Согласно закону оптимальности, принятому в гигиене, превышения норм воздействия (фотонного потока) или его частичное отсутствие негативно и деструктивно сказывается на функционировании биосистемы, клетки которой поглощают соответствующие кванты энергии света. Свет является средой, которая формирует глаз и, как следствие, некачественный свет нарушает зрение.

В световой среде школы эта взаимосвязь проявляется наиболее сильно. Учитывая это, можно констатировать – не каждый офтальмолог должен быть гигиенистом, но каждому офтальмологу необходимо знать основы гигиены света. Основатель гигиены Ф.Ф. Эрисман в своих исследованиях подчеркивал связь между световой средой и развитием миопии [1.460], которая в настоящее время приобретает форму мировой эпидемии.

В свое время Ф.Ф. Эрисман указывал следующее: «...я должен прибавить, что близорукость не есть неизбежное зло, которое необходимо сопряжено со школьным воспитанием; напротив, прогрессивная миопия есть зло, возникающее только от нецелесообразного устройства школ, и это зло было бы, конечно, устранено, если бы на устройство школ было бы обращено внимание общества» [1.461]. Это положение крайне актуально в настоящее время в эпоху внедрения «синюшного» светодиодного света.

Первые попытки ознакомить офтальмологов с основами гигиены света были предприняты на страницах журнала «Глаз» и «Российская детская оф-

тальмология» [3, 4, 5]. В этих статьях были рассмотрены такие понятия, как гигиенически безопасный спектр солнечного света, *эффект удержания диаметра зрачка при синем и красном свете*, краинный эффект «желтого пятна», биологически адекватный спектр излучения искусственных источников света для биологических объектов и человека.

Эволюция белых светодиодов в соответствии с требованиями гигиенистов привела к созданию фирмой Sogaа полупроводниковых источников света, спектр которых практически совпадает с гигиенически безопасным спектром солнечного света [1.465].

Это в свою очередь привело к необходимости пересмотра старой светотехнической парадигмы восприятия света зрительным анализатором и организмом человека в целом, а также норм по освещению. Научные достижения на стыке новых знаний о роли фоторецепторов, биомеханики зрения, работоспособности наноструктур клеток при кластерном состоянии воды и квантовой (фотонной) теории света приводят к необходимости разработки комплексного междисциплинарного подхода к формированию новой светотехнической парадигмы, которая позволит с единой платформы взглянуть на проблемы офтальмологии, гигиены света, психологии и светотехники при решении междисциплинарных проблем, а также проблему охраны здоровья и зрения детей в современной световой среде. Свет воздействует на зрительный анализатор, психическое состояние, а также является стимулятором гормональной системы человека. В 2017 году для решения глобальных проблем светотехники был создан Научно-технический совет светотехнической отрасли «НТС Светотехника», который объединил общественных и государственных деятелей, представителей органов власти, Государственной Думы РФ, Совета Федерации, ученых-светотехников, а также социально ответственных представителей крупного бизнеса и ведущих специалистов отрасли.

В одном из заседаний «НТС Светотехника» принял участие депутат Государственной Думы, первый заместитель председателя комитета ГД по образованию и науке, академик Г.Г. Онищенко (бывший Главный санитарный врач), который отметил: «Несмотря на *пугающую техничность этого заседания*, сегодня присутствуют такие доклады, как «Особенности воздействия светодиодных источников на орган зрения детей, подростков и взрослых (И. Э. Азнаурян)», это говорит о том, что НТС находится на правильном пути...»

Офтальмохирург, доктор медицинских наук, академик Российской академии медико-технических наук, член американской Ассоциации детских офтальмологов и страбизмологов Игорь Эрикович Азнаурян в своем докладе отмечал, «что родители все чаще задают нам, офтальмологам, вопрос, можно ли освещать детское рабочее место светодиодной лампой? Хотелось бы исследовать еще один аспект – влияние на аккомодацию. С которой напрямую связаны и рефрактогенез, и глазодвигательные функции глаз, и, возможно, астенопические жалобы. Однако в литературе это проблема остается не раскрытой». Светодиодный свет может на годы определить тренд в области здоровья глаз детей и подростков, которое определяет будущее качество трудового потенциала страны.

Не зная прошлого, невозможно осмыслить и понять настоящее, заглянуть в будущее.

Этот подраздел посвящается рассмотрению истории становления российской светотехники в области нормирования освещения [1.466] и света белых светодиодов нового поколения рис. 1.179, которые будут определять световую среду человека в будущем.

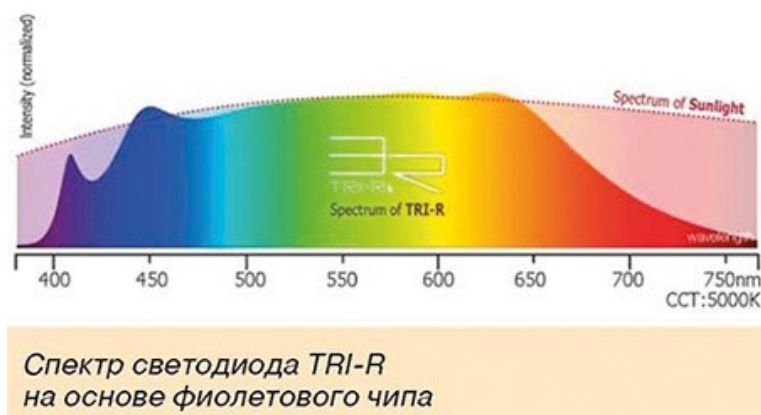


Рис. 1.179. Спектр света нового поколения белых светодиодов по технологии TRI-R и спектр солнечного света при цветовой температуре 5000 К

Становление и развитие отечественной светотехники всегда и во многом определялось российской светотехнической общественностью — активно и *свободно мыслящими представителями науки, техники и производства* [1.466].

Без инженеров, архитекторов, ученых, преподавателей вузов и *просто неравнодушных, заинтересованных людей* — ничего бы не случилось в теории и практике освещения среды обитания человека [1.466].

При этом важную роль в формировании норм для естественного и искусственного освещения для освещения домов и школ играли представители медицины. Уже в конце XIX века гигиенисты серьезно занимались естественным освещением и старались влиять на проектирование общественных зданий. Именно эти работы стоят у истоков современных знаний об инсоляции и естественном освещении [1.466]. Более того, во многих современных руководствах, не только по гигиене, но даже по светотехнике, мы зачастую находим менее обоснованные и более узкие трактовки вопросов естественного освещения среды обитания человека и его детей.

В связи с этим уместно вспомнить основателя Московского университета М. В. Ломоносова, который впервые стал придавать государственное значение вопросам охраны здоровья детей. В письме к графу И. И. Шувалову в 1761 г. на первое место М. В. Ломоносов выдвинул положение «О размножении и сохранении российского народа». Так, он писал: «... начало сего полагаю самым главным делом: сохранением и размножением российского народа, в чем состоит могущество и богатство государства...». История становления детской гигиены изложена в работе [1.467].

Гигиена света имеет глубокие исторические корни, но мы должны отметить вклад профессора Московского университета Федора Федоровича Эрисмана (он был уроженцем Швейцарии), однако как ученый и общественный деятель он сформировался в России. В 1882 г. на медицинском факультете Московского университета была создана кафедра гигиены, которую в 1884 г. он и возглавил. Ф. Ф. Эрисман много работал в области гигиены детей и подростков (до сих пор известна универсальная парта Эрисмана), социальной гигиены, заложил основы изучения влияния средовых факторов на здоровье подрастающего поколения, доказал, что *физическое развитие может выступать в качестве показателя санитарного благополучия детского населения*. Он проводил первые исследования по связи миопии с уровнем освещенности в школах [1.468].

Ф. Ф. Эрисман в 1870 г. проводит первое научное исследование, выходящее за рамки клинического обследования, а его результаты нашли свое отражение в труде «Влияние школ на происхождение близорукости» [1.468]. Обобщенные данные этих исследований приведены на рис. 1.180.



Рис. 1.180. Кривая развития миопии по годам. (Источник: Ф. Эрисман, 1870)

Будучи окулистом, он дает детальную оценку зрения 4368 петербургским школьникам и устанавливает среди них значительный процент *близоруких*. Анализ причин этого позволил ученому сделать вывод о существенном влиянии неблагоустроенности школы на зрение и здоровье детей.

В его курсе лекций 1887 года содержится ряд конкретных требований к постройке домов для достижения их хорошего естественного освещения. Эти требования таковы:

- сторона света, к которым обращено здание, должна доставлять достаточное количество света;
- доступу дневного света не должна мешать чрезмерная близость других построек;
- путь проникновения света в комнаты, т. е. окна должны быть устроены в достаточном количестве и иметь надлежащие размеры;
- внутреннее устройство помещений должно быть таково, чтобы проникающий туда свет распределялся целесообразно и не пропадал без пользы.

Впоследствии светотехнические вопросы занимали заметное место в исследованиях гигиенистов. Так, в вопросе установления норм освещен-

ности исключительным авторитетом среди гигиенистов того времени стал доктор медицины и философии, профессор Берлинского университета Герман Кон (известен своими работами по школьной гигиене глаза, а также по фотографированию внутренних структур глаза). Хочется отметить, что *знание внутреннего строения глаза* и функционального значения его клеток при воздействии на них света в значительной степени определяет основу гигиены света.

В то время как техники работали почти исключительно над усовершенствованием искусственных источников света и исследованием достижимых с ними эффектов освещения, гигиенисты, архитекторы и физики занялись изучением дневного освещения. Из ряда прежних работ можно указать:

– первые расчеты дневного освещения дал Lambert в своем сочинении о фотометрии 1760 г. После него занимались этим вопросом Wiener, Mehmke, Mohrmann, Pfeier, Gruber Küster;

– экспериментальные работы производили: L. Weber (профессор Л. Вебер, Кильский университет, Германия), Dorna, Korff, Petersen, Walsh и Sedwick в Англии, Kimball и Higbie в Америке.

Самая обширная работа была представлена Weber'ом, который в Киле в 1907 г. произвел массу измерений дневного освещения в городских школах. Weber впервые пытался эмпирически определить затеняющее влияние противолежащих домовых фронтонов на силу освещения окон и построил измерители пространственных углов, чтобы просто и быстро вычислить величину видимого из определенного места свободного (чистого) участка неба [1.469].

При этом Л. Вебер (L. Weber) предложил использовать отношение освещенности в интересующей точке внутри помещения $E_{\text{вн}}$ к освещенности в точке, находящейся под открытым небом на совершенно открытом месте, к которому имеют доступ лучи со всего небосвода $E_{\text{н}}$.

Впоследствии, в 1928 году, $E_{\text{н}}$ условились называть «идеальной освещенностью», а отношение $E_{\text{вн}}/E_{\text{н}}$ – коэффициентом дневного освещения (К.Д. О.). Однако ввиду постоянно меняющихся К.Д. О. и $E_{\text{н}}$ в нормировании к тому времени стала использоваться другая величина – *минимально допустимая освещенность* [1.470 11].

Ф. Ф. Эрисман в разделе «Школьная гигиена» включил следующие подразделы:

- к вопросу о наилучшем распределении света при искусственном освещении классных комнат (прямой и рассеянный свет);
- о дневном освещении классных комнат на основании собственных исследований.

В эпоху до периода ламп накаливания широко применялись следующие искусственные источники света – свечи, масляные лампы, керосиновые лампы и газовые светильники, которые сменили линейчатые дифференциальные дуговые лампы, которые, исходя из физики разряда, имеют в спектре белого света большую дозу синего света. Эта смена является поучительной историей о порядке внедрения нового освещения и его эволюционной смене новым поколением светильников – лампами накаливания.

Старейшая электротехническая фирма Siemens приносит свет во тьму: на Берлинской промышленной выставке 1879 года были установлены пер-

вые линейчатые дифференциальные дуговые лампы. После этого успешного испытания в 1882 году Siemens получил заказ на установку первого постоянного освещения в Берлине на Потсдамер-Платц и Лейпцигер-штрассе. За этим следовали железнодорожные станции, офисные здания, фабрики и портовые сооружения. Это стало началом широкомасштабного использования света от огня электрической дуги в Германии.

Несмотря на то что инвестиции в новое поколение источников света были в три раза больше, чем улучшение существующего газового освещения, многие муниципалитеты приняли решение о применении электрического освещения. *Однако конфликт между газом и электроэнергией продолжался еще несколько десятилетий.* Поскольку её свет был слишком ярким для домашнего использования, дифференциальная дуговая лампа постепенно заменялась лампой накаливания [1.471].

Качественное сравнение их спектров приведено на рис. 1.181.

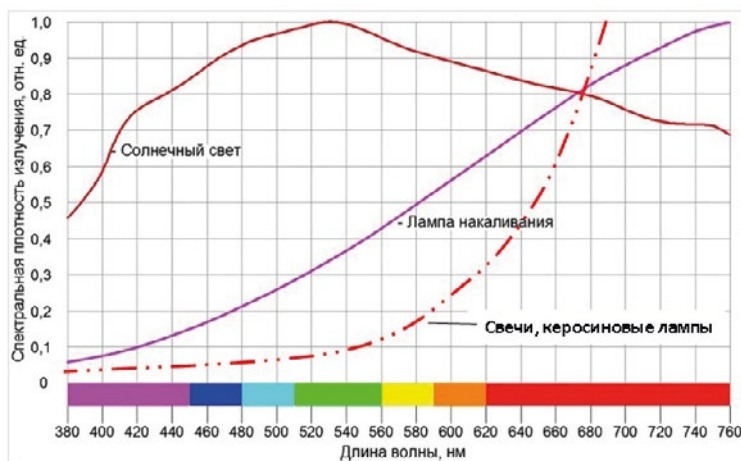


Рис. 1.181. Сравнение спектра солнечного света со спектрами лампы накаливания, свечи и керосиновой лампы

Эти источники света обеспечивали низкий уровень освещенности при очевидном дисбалансе синего и красного в спектре света, а появление лампы накаливания позволило существенно повысить уровень освещенности и повысить дозу синего света в спектре по сравнению со спектром света от свечи. В 1890-х годах А. Н. Лодыгин изобретает несколько типов ламп с нитями накала из тугоплавких металлов. В 1906 году он продает патент на вольфрамовую нить компании General Electric, которая на базе своего завода, по выплавке вольфрама, начинает массовый выпуск этих ламп.

В книге «Глаз и Солнце» С. И. Вавилова приводится зависимость скорости чтения от освещенности, создаваемой лампой накаливания.

На рис. 1.182 графически изображены результаты следующего опыта: испытуемого заставляли читать развернутую книгу на расстоянии 25 см; освещенность книги менялась; при этом просили указать, сколько слов про-

читывается в минуту при той или иной освещенности. На рисунке по горизонтальной оси отложена освещенность таким образом, что, например, цифра 40 соответствует лампе в 40 свечей, поставленной на расстояние одного метра от книги; по вертикальной оси отложено число прочитанных слов в минуту. Верхняя кривая *а* соответствует нормальному глазу, нижняя *б* – глазу, испорченному долгой работой при искусственном освещении. Мы видим, что сначала при возрастании освещенности продуктивность чтения быстро растет, но *при 100 люксах* (люкс – освещенность, получаемая от одной свечи на расстоянии в один метр) возрастание прекращается.

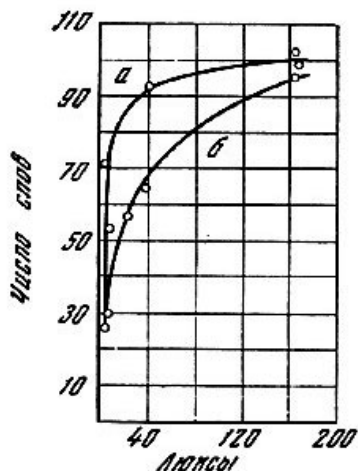


Рис. 1.182. Скорость чтения в зависимости от освещенности

Это очень важное обстоятельство, которое приходится принимать во внимание при освещении рабочих помещений и комнат. *При этом С. И. Вавилов отмечал, что зрение ухудшается при длительном воздействии искусственных источников света.*

Появление электрических источников света (ламп накаливания – яркого точечного источника света (вольфрамовая нить накаливания)) вызвало озабоченность гигиеной зрения у современников Ф. Ф. Эрисмана. Так, Михаил Иванович Рейх, неперменный член «Военно-медицинского ученого комитета», так же, как и Эрисман [1.466, 1.470], начинает устраивать и пропагандировать исключительно отраженное искусственное освещение, говоря, что *«все старания современной техники должны клониться и клонятся к тому, чтобы сделать искусственный свет по возможности таким же рассеянным, как и дневной»*, а офтальмолог, доктор медицинских наук, профессор Рафаил Анатольевич Кац в течение всей своей деятельности ратовал за здоровье глаз и «здоровое освещение», неоднократно выступая с докладами и публикациями (например, «Классное освещение» на Всероссийской гигиенической выставке 1893 г.; «О наименьшем освещении для занятий», в *Обществе охранения народного здравия*, 1896 г.).

Русское общество охранения народного здравия – первая в России научно-общественная гигиеническая организация. Основано в 1877 г. в С.-Пе-

тербурге в целях содействия «улучшению общественного здоровья и санитарных условий». В настоящее время существует Межрегиональная общественная организация «Ассоциация Заслуженных врачей Российской Федерации».

Переломной вехой в светотехнике становится прошедшая в Москве 23–27 декабря 1929 года «II Всесоюзная светотехническая конференция» [1.466]. Особое внимание на этой конференции уделялось вопросам физиологии и гигиены зрения, связанным с *качеством и количеством освещения*. Всеобщее распространение искусственного освещения, развитие промышленности и рост городов требовали выработки научных критериев рационального сочетания естественного и искусственного освещения *без ущерба для человека*. По этим вопросам со своими докладами выступали известные гигиенисты и физиологи:

- доктор наук В. В. Шафранов (Государственный НИИ охраны труда);
- Я. И. Трумпайц и Д. А. Зильбер (Ленинградский институт гигиены труда и техники безопасности);
- доцент С. В. Кравков (Государственный институт биофизики НКЗ).

Конференция приняла несколько нормативных документов, в том числе «*Правила освещения учебных заведений*». Этот документ был разработан на основе:

- «Проекта правил и норм по искусственному освещению школьных помещений»;
- «Правил естественного освещения учебных помещений» – разработка А. А. Гершуна вместе с подкомиссией по естественному освещению при комиссии по осветительной технике, в состав которой входили видные архитекторы, гигиенисты, инженеры, физики и *офтальмологи под руководством профессора Н. А. Шевелева*.

Любопытно, что после столь заметных шагов в области нормирования и проектирования естественного освещения, которыми стали принятые «*Правила освещения учебных заведений*», вступает в силу, мягко говоря, маловразумительный документ – *подготовленный Комитетом совета труда и обороны в проектировании и строительстве* 14 марта 1930 г. раздел VII документа «Единые строительные нормы СТО», который касался критериев оценки дневного света, и принятый в 1931 г. Общесоюзный стандарт – ОСТ 4513, ставший первым шагом (довольно неуклюжим) по регулированию государственных строительных норм в области естественного освещения [1.466].

С критикой этих документов выступила Л. А. Пашкова из Лаборатории освещения Государственного научного института охраны труда и инженер ЛенГипромаша А. Н. Холенков [1.466], отметивший также *крайнюю скудность «норм устройства естественного освещения»*.

В течение 1933–1935 гг. наряду с другими факторами, влияющими на зрение детей, специалистами было обследовано искусственное освещение одной опытной, четырех образцовых и четырех рядовых массовых школ Ленинграда.

Сопоставление минимальных требований, принятых в других странах, с рекомендованными II Всесоюзной светотехнической конференцией и с тем, что было обнаружено в ленинградских школах, представлено в таблице 1.9.

Таблица 1.9

Отечественные и зарубежные нормативы освещенности различных объектов.

Американские		Английские		Немецкие		СССР		Обследованные школы Ленинграда 1934–1936 гг.			
Объекты освещения	Освещенность		Объекты освещения	E_{min}	Объекты освещения	E_{min}	Рекомендованные II Всесоюзной светотехнической конференцией 1929 г.	Средняя освещенность в помещениях			
	E_n	E_{min}						Объекты освещения	E_{min}	E_{max}	$E_{cp.}$
Мастерские для художественных и тонких работ, швейные и чертежные	100 – 107	87	Столы чертежные для шитья	80 80	Столы чертежные для шитья	150 75	Чертежные: на столах	100	35	19	
Классы, деки парт, классные доски... Библиотека и читальные залы – парты и столы ... Мастерские, лаборатории, рабочие места ...	125–85	54	Столы для чтения и письма	50	Помещения для обучения... библиотека	75 75	Классы: а) детские парты б) доски в) карты, диаграммы на стенах Лаборатории: рабочие места... Библиотеки, читальные залы: столы ... книжные полки...	75 – 50 50 50 30	34 – – 50 80	13 8 7 24 25	1 2
Гимнастические и спортивные залы, бассейны...	128 – 86	54	—	—	—		Спортзалы...	30	13	6	
Аудитории, залы для собраний	51 – 22	22	Залы для собраний и отдыха	30	Аудитории и залы для собраний	40	Аудитории... Помещения для отдыха и собраний (на полу) ...	75–50 20	13 –	6 –	–
Гардеробы, коридоры, переходы, Уборные ...	43–22		Проходы и т. п.	10	Проходы и лестницы ...	10	Проходы, коридоры, лестницы (на полу) ... Раздевалки (на высоте 1,5 м) ... Уборные (на полу) ...	15 15 50	5	1	1

Если принять во внимание, что все зарубежные нормы должно рассматривать как минимально допустимые пределы и что оптимальные величины

освещенности для работы глаза лежат значительно выше, и если сравнивать все это с тем, что мы имели в ленинградских школах, то станет ясно, что положение с освещением в обследованных школах было в высшей степени неудовлетворительно.

К основным недостаткам школьного освещения, которые негативно влияли на фактические уровни освещенности, относилось:

- недостаточное количество ламп для замены перегоревших;
- неоптимальное размещение светильников по классу;
- применялись лампы (с меньшим световым потоком), не обеспечивающие заданные уровни освещенности.

Далее авторы статьи сообщали: «На отчетном совещании в ГорОНО совместно с представителями Горздрава в 1934 году был заострен вопрос о необходимости вмешательства Ленсовета и о возложении на администрацию школ ответственности за проведение директивных указаний (проект которых был тут же подготовлен). Однако до настоящего момента мы не могли добиться желаемых результатов. При дальнейших попытках сдвинуть это дело с мертвой точки мы столкнулись с неоспоримым фактом – *неясна персональная ответственность за правильное функционирование освещения школы*» [1.466].

Уже в 20-е годы прошлого столетия в недрах светотехники зрела люминесцентная революция. К началу 20-х годов было накоплено большое количество экспериментальных данных по люминесценции. В 1924 г. академик С. И. Вавилов экспериментально установил закономерности преобразования возбуждающего излучения в люминесценцию видимой области спектра.

В СССР работы по применению люминофоров для улучшения цветности и повышения световой отдачи ртутных ламп были начаты на МЭЛЗ в 1935 г. при участии Физического института Академии наук СССР и лично С. И. Вавилова. Затем основная часть работ была передана в МЭИ, и в 1936 г. была закончена разработка образца люминесцентной лампы низкого давления с аргоново-ртутным наполнением [1.472].

В США в 1934 году компания General Electric выкупила патент Гермера по люминесцентным лампам, и исследовательская группа под руководством Джорджа Инмана и Ричарда Тайера начала усердно доводить до совершенства изобретение Гермера. Эффективность люминесцентных ламп по сравнению с лампами накаливания поразит всех. В 1938 году лампы дневного света были доведены до коммерческого использования, трубки четырех разных размеров были представлены на рынок компанией «General Electric» под лозунгом внедрения люминесцентных ламп – **«Выгода и экономия электроэнергии!!!»**. Люминесцентные лампы компании «General Electric» были введены в хозяйственный оборот на Нью-Йоркской Всемирной выставке «Мир завтрашнего дня», которая открылась 30 апреля 1939 г., и они были быстро приняты для освещения самых разнообразных высотных зданий в США, где экономия электроэнергии и долговечность стояли в приоритете над неприятным восприятием их **резкого синего света**. В поддержку применения люминесцентных ламп выступила Американская академия педиатрии, рекомендовав яркие люминесцентные лампы

компании General Electric для интенсивного неонатального ухода за новорожденными. Данной информацией мы хотели подчеркнуть, что освещением занимается государство под лозунгом энергосбережения и монстры мировой экономики – производители ламп, и эта административно-финансовая мощь подавляет профессиональную волю врачей, направленную на сбережение здоровья человека. Разработанные специалистами General Electric люминесцентные лампы поставлялись в Россию, начиная с 40-х годов прошлого века [1.473].

Применение люминесцентных ламп привело к нарушению баланса синего и красного в световой среде в сторону синего при значительной неравномерности спектра света. Сравнение типового спектра света люминесцентной лампы и солнечного света приведено на рис. 1.183.

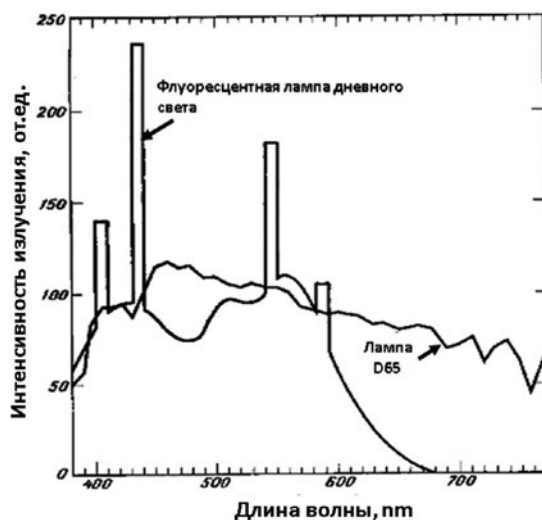


Рис. 1.183. Относительное спектральное распределение энергии стандартного излучения D_{65} МКО (представляющего средний естественный дневной свет) и типичной флуоресцентной лампы дневного света с приблизительно такой же цветностью и коррелированной цветовой температурой – 6500 К [1.474]

Как видно из рисунка, спектр люминесцентных ламп имеет выбросы и провалы в области синего света и провал в области красного света по отношению к спектру солнечного света.

В 1936 году специалисты Ленинградского института охраны труда публикуют работу «Работоспособность глаза и производительность труда при освещении газосветными трубками и лампами накаливания». Исследования проводились при равных уровнях освещения на рабочих местах лампами накаливания (цветовая температура 2700 К) и ртутными трубками «Игар», изготовленными на заводе МЭЛЗ, которые, исходя из физики их работы, в спектре света имеют более высокую дозу синего света, чем в спектре лампы накаливания.

Обобщенные результаты сравнительных исследований приведены в таблице 1.10.

Таблица 1.10

Зависимость производительности труда от вида освещения

Инициалы участника	Способ освещения	Освещенность в (лк)	Среднее число рассортированных карточек за 10 мин. работы	
			Абсолютная величина	%
А. П.	Лампа накаливания	75	811,5	100,00
	Ртутная лампа переменного тока постоянного тока С вращающимся диском в поле зрения	75	827,4	101,07
		75	833,2	102,82
		75	806,5	99,38
Л. В.	Лампа накаливания	75	815,5	100,00
	Ртутная лампа переменного тока Постоянного тока	75	833,2	101,68
		75	843,9	102,86
		75	843,9	102,86
Е. К.	Лампа накаливания	75	904,2	100,00
	Ртутная лампа переменного тока Постоянного тока	75	922,1	101,98
		75	918,4	101,57
		75	918,4	101,57

Из анализа таблицы 1.10, в которой представлены средние данные за все время наблюдения для трех испытуемых при освещенности в 75 лк (чтобы не загромождать раздел, не проводим наблюдений при 150 и 250 лк, так как они в смысле закономерности дают ту же картину), можно прежде всего сделать заключение, что при освещении ртутными трубками «Игар» производительность труда не только не снижается по сравнению с таковой при освещении лампами накаливания, но даже имеет тенденцию к повышению на 1–2%». Более высокий уровень энергоэффективности люминесцентных ламп, чем у ламп накаливания, позволяет повысить уровень освещения (в два раза) и, как следствие, производительность труда.

В 40-х годах прошлого столетия при внедрении люминесцентных ламп для интегральной оценки световой среды обитания человека было введено правило Kruthof (рис. 1.184).

Это правило было сформулировано в 1941 году в координатах уровня освещенности и цветовой температуры источника света и определяло область комфортного освещения, необходимого для выполнения человеком определенного объема зрительной работы. Заштрихованные области номограммы – область некомфортной световой среды обитания человека.

В этой области находятся координаты (75 лк, 2700 К) для ламп накаливания и (75 лк, более 2700 К) для ртутных трубок «Игар».

В 1956 году в журнале Светотехника, №3, в разделе «За рубежом» опубликованы результаты исследований производительности труда и утомления при различных условиях освещения. На рис. 1.185 приведены результирующие зависимости для каждого источника света: лампа накаливания, ртутные лампы и люминесцентные лампы.

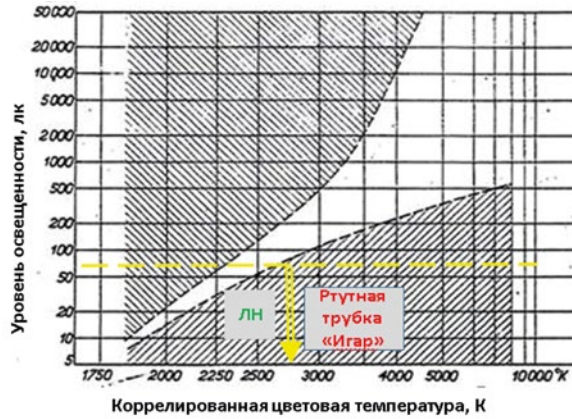


Рис. 1.184. Номограмма Kruithof [1.475]

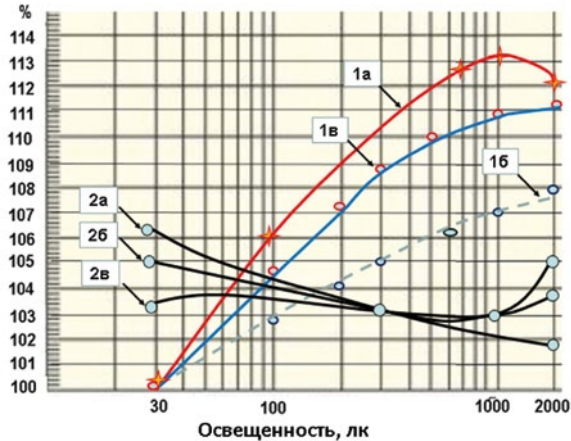


Рис. 1.185. Производительность труда и утомление (для трех источников света): а – лампа накаливания; б – ртутные лампы; в – люминесцентные лампы; 1 – производительность труда; 2 – относительное утомление

При равном уровне утомляемости и производительности труда 110% и уровне освещенности для ламп накаливания 300 лм уровень освещенности для люминесцентных должен соответствовать 500 лм [1.476, 17, 1.477, 18].

В 70-х годах специалисты Института гигиены детей и подростков Московского научно-исследовательского и проектного института типологии экспериментального проектирования (ОАО МНИИТЭП) и Главного архитектурно-планировочного управления Москомархитектуры (Глав АПУ) г. Москвы в своей статье [1.478] отметили следующее. Проблема создания оптимальных условий освещения учебных помещений школ является весьма актуальной в деле охраны зрения детей и подростков и предупреждения у них развития аномалии рефракции. Особую важность эта проблема приобретает именно в школьном возрасте. Многочисленные данные литературы, а также собственные наблюдения авторов статьи свидетельствуют о тесной зависимости уровня важнейшей зрительной функции от освещен-

ности. Существующие требования к освещенности в учебных помещениях школ (СНиПП-А-9-71) не отличаются от тех, что изложены 15 лет тому назад во «Временных указаниях по электрическому освещению школьных зданий» (1963г). Причем в проекте новых СНиП [1.478] предусматривается незначительное (до 400лк) *увеличение освещенности не имеет достаточного экспериментального обоснования, и оно ниже, чем в стандартах зарубежных стран.*

С целью обоснования оптимальных уровней освещенности в учебных помещениях школ с учетом характера зрительной работы (письма, чтения, просмотра телевизора и спортивных занятий) *в течение ряда лет проводилась работа* как непосредственно в учебных заведениях г. Москвы, так и в условиях лаборатории. Всего под наблюдением находился **456** детей и подростков. Первый этап работы заключался в фотометрической и субъективной оценке существующей световой обстановки в школах новой и старой построек. В последних, где использовались лампы накаливания, уровни освещенности (100–120 лк) были низкими, отсутствовали светильники для освещения доски. Отмечался низкий уровень вертикальной освещенности (менее 100 лк). В школах новой застройки уровни освещенности, создаваемые светильниками с люминесцентными лампами типа ЛБ 40, были выше (до 300 лк), чем в старых школах, и соответствовали существующим требованиям, однако распределение яркости в поле зрения было не всегда удовлетворительным. Авторами статьи была проведена серия наблюдений за динамикой физиологических функций (устойчивостью хроматического зрения, скоростью зрительного восприятия, латентным периодом зрительной моторной реакции) с целью выявить степень утомления учащихся в зависимости от характера выполняемой зрительной работы. Полученные данные свидетельствовали о том, что при освещении 300 лк от люминесцентных ламп типа ЛБ 40 и особенно 150 лк от ламп накаливания к концу дня функции глаза снижались на 20–30%, что указывает на развитие значительного зрительного утомления. В большей степени утомление наблюдалось при такой зрительной работе, как шитье [1.478]. Параллельно с указанными исследованиями в течение трех лет велась работа по изучению состояния зрения (рефракции) учащихся школ новой застройки. Наблюдение за 213 детьми и подростками со 2-го по 4-й, с 5-го по 7-й и с 8-го по 10-й класс дало возможность оценить динамику состояния зрения каждой возрастной группы и в конечном итоге представить общие (от 2-го до 10-го класса) возрастные изменения рефракции (рис. 1.186).

Полученные материалы позволили отметить, что сохраняется давно установившаяся закономерность роста числа близоруких школьников по мере увеличения стажа учебы. Так, в начальных классах число близоруких составляло 3,1%, а в выпускном – 21,5%. Офтальмологические и хронометражные данные (35–50% учебного времени работа на близком расстоянии глаз от носителя информации (тетради, книги)) позволяют сделать вывод о том, что существующие в учебных помещениях уровни освещенности при такой значительной зрительной работе не могут оцениваться как высокие и способствовать профилактике близорукости учащихся. Эти данные могут подтверждать мнение о том, что причиной развития близорукости является длительная зрительная работа, выполняемая на близком расстоянии от глаз

при весьма плохих условиях световой обстановки. Иными словами, близорукая рефракция может рассматриваться как результат приспособления (включая генетическую предрасположенность) глаза к условиям выполнения работы на близком расстоянии при низких уровнях освещенности. Авторы статьи [1.478, 22] утверждают: «Не вызывает сомнения, что решающей профилактической мерой для снижения зрительного утомления является создание высокой яркости (освещенности), при которой отпадает необходимость работать на чрезмерно близком расстоянии от глаз и, кроме того, *малый размер зрачка*, наряду с *аккомодационным аппаратом глаза* будет способствовать усилению оптической силы глаза [1.479, 1.480, 1.481].

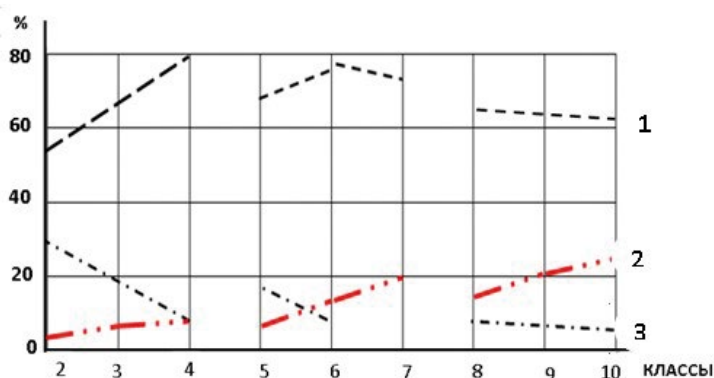


Рис. 1.186. Изменение рефракции учащихся: 1 – эметропы (с нормальным зрением); 2 – миопы (близорукие); 3 – гиперметропы (дальнозоркие)

Согласно принятой на тот период модели работы глаза, чем выше яркость, тем меньше зрачок.

Авторы считали, что в основных помещениях школ в зависимости от характера выполняемой работы следует обеспечивать следующие оптимальные уровни освещенности:

- при чтении и письме – независимо от формы предъявления текста (книга, доска, телеэкран) – 500 лк (на парте);
- шитье – 1000 лк (на рабочей поверхности);
- при игре в мяч и при гимнастических упражнениях – 400 лк (на уровне пола и вертикальная) [1.476].

В работе [1.482] признанного классика российской светотехники В.В. Мешкова приводятся усредненные значения влияния уровня освещенности на производительность труда, утомление работника и количество ошибок, допущенных при работе (рис. 1.187).

Следовательно, зрительная работоспособность вполне может служить критерием регламентации уровней освещения осветительными установками, так как она в большой мере зависит как от количественных характеристик освещения (Егор), так и от качества освещения. Но при этом не указывалось, при каком спектре света были получены эти результаты, так как была признана модель работы глаза, которая не учитывала спектр света среды обитания человека.

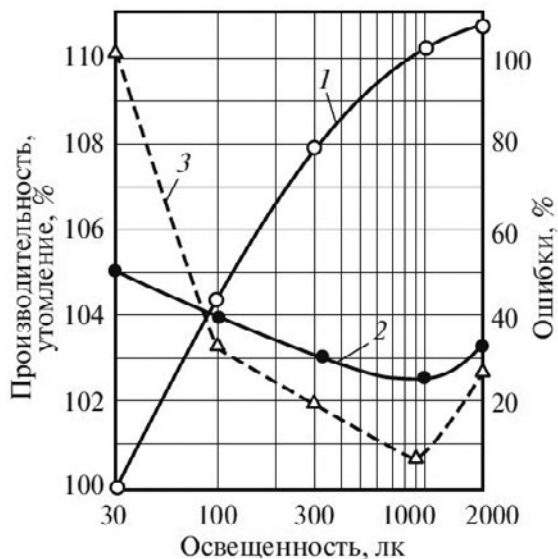


Рис. 1.187. Эффективность ОУ в функции освещенности: 1 – производительность труда; 2 – утомление; 3 – ошибки, допущенные при работе

Начиная с 70-х годов прошлого столетия оценка биологического действия естественного и искусственного освещения проводилась специалистами Лаборатории *гигиены освещения* (позже – Лаборатории лучистой энергии) Института общей и коммунальной гигиены им. А. Н. Сысина АМН СССР.

В 1992 году институт был переименован в НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А. Н. Сысина РАМН, в этой структуре впоследствии была *прекращена работа Лаборатории лучистой энергии*). В настоящее время НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А. Н. Сысина РАМН переименован в Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

В этих исследованиях [1.483] сотрудники лаборатории гигиены света использовали зависимость степени утомления наблюдателей от условий освещения, которая рассчитывалась по динамике каждой из исследованных функций, демонстрируя, как с нарастанием степени денатурации света, то есть снижением доли естественного света в комплексном световом потоке, нарастала степень утомления от выполнения тестовой зрительной работы. Наименьший спад и физиологических, и психологических показателей состояния испытуемых отмечался при работе в условиях естественного освещения, наибольший – при полностью искусственном освещении.

На рис. 1.188 приведена зависимость показателя утомления от соотношения естественного и искусственного света (при освещении люминесцентными лампами типа ЛБ (световой поток 280–300 лм и 3450–4200 К и при этом изменялся уровень освещенности на рабочей поверхности).

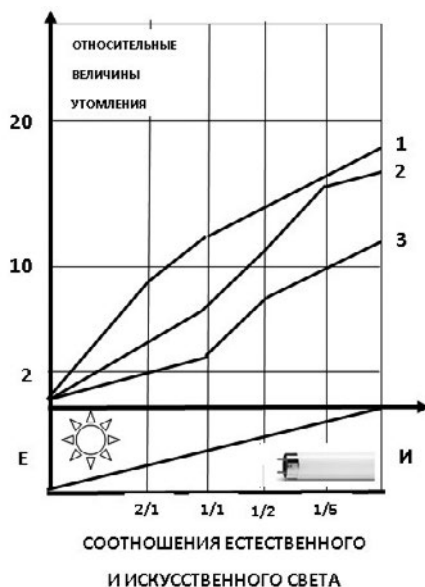


Рис. 1.188. Зависимость утомления от соотношения естественного и искусственного света (символ лампа накаливания) при освещенности 300 лк – 1, 500 лк – 2, 1000 лк – 3, где Е – естественный свет, а И – искусственный свет

В ходе проведенных исследований специалистами института имени С. П. Сысина были определены **уровни минимума естественного света** для рабочих помещений общественных зданий, что и было положено в основу гигиенических требований к совмещенному освещению, и **этот уровень составлял 250–300 лк естественного света [1.484].**

При исследовании внедрения люминесцентного освещения сотрудники НИИ строительной физики Госстроя СССР отмечали, что при естественном свете зрительная работоспособность была выше, чем при искусственном свете. В этих исследованиях для сравнения брались лампы ЛЛ-типа ЛБ 40 [1.485].

Численные значения *показателя зрительной работоспособности* определялись как произведение времени различения на вероятность правильного опознавания. Общий вид выявленных закономерностей представлен на рис. 1.189.

Следовательно, при фиксированном значении зрительной работоспособности необходимо увеличивать уровень искусственного освещения (люминесцентного освещения). Из рис. 1.185 видно, что гигиенически минимальный уровень естественного света 250–300 лк соответствует минимальному уровню люминесцентного освещения 400–500 лк (соответственно). До настоящего времени люминесцентное освещение школ остается базовым, но при этом офтальмологи отмечают негативное влияние этого света на зрение детей. Без должного осмысления светотехники распространили нормы освещенности на люминесцентные лампы и на светодиодные лампы.

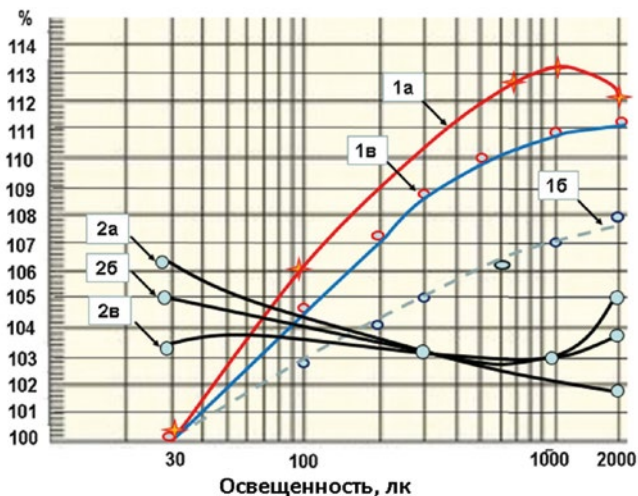


Рис. 1.189. Зависимость зрительной работоспособности от освещенности при естественном (1) и искусственном (2) освещении [1.485]

В статье [1.486] офтальмологи ФАУ «Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза» имени академика С. Н. Федорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации» и офтальмолог Детской городской поликлиники № 12 отмечали, что аномалии рефракции у детей – одна из важнейших проблем офтальмологии. На протяжении последних десятилетий в мире продолжает сохраняться тенденция роста количества детей с миопией и нарушениями аккомодации. Это исследование было организовано с целью актуализации данных о распространенности аномалий рефракции среди детей школьного возраста в Москве. В изучаемую группу вошли дети школьного возраста: ученики 1, 5, 11-х классов. Критериями включения в группу явились: миопия – рефракция выше $-0,5$ дптр, гиперметропия – рефракция выше $+0,5$ дптр, астигматизм выше $0,5$ дптр. По результатам обследования 1557 школьников московских школ доля пациентов с рефракционными нарушениями составила 24–28%, при этом доля пациентов с миопией среди учащихся 1-х классов была всего 2%, к 5-му классу этот показатель составлял 10%, в 11-м классе достиг 23%, то есть имеет место увеличение более чем в 10 раз. Обращает на себя внимание тот факт, что уже с 5-го класса существуют достоверные различия по распространенности миопии в группах мальчиков и девочек. У девочек этот показатель выше, что может быть объяснено тем, что они больше времени уделяют процессу обучения и имеют более быстрый темп роста в эти возрастные периоды. Данная закономерность выявляется и в 11-м классе, что, бесспорно, свидетельствует о неблагоприятном влиянии учебных зрительных нагрузок. Полученные данные о распространенности аномалий рефракции, в том числе и миопии, у детей и подростков могут использоваться в качестве основы планирования мероприятий по совершенствованию профилактической офтальмологической помощи детскому и подростковому населению [1.486].

Директор НИИ гигиены и охраны здоровья детей и подростков ФГАУ «НЦЗД», заведующий кафедрой гигиены детей и подростков Первого МГМУ им. И. М. Сеченова член-корреспондент РАН (2011), профессор, доктор медицинских наук Владислав Ремирович Кучма сообщает следующее. «Заслуживают пристального внимания неблагоприятные тенденции в распространенности нарушений зрения среди школьников в динамике обучения. Частота функциональных расстройств (спазм аккомодации и миопия слабой степени) с 1-го по 11-й класс возрастает почти вдвое (с 21,9 до 40,6%), а хронической патологии зрения (миопии средней и высокой степеней) – более чем в 13 раз, с 11 до 15,2%. При этом у 70–75% детей, страдающих миопией, зрение ухудшается на 0,5–1,0 диоптрии за учебный год; имеют место случаи ежегодного прогрессирования миопии на 2,0–2,5 диоптрии».

В работе, опубликованной в 2003 году [1.484], специалисты института имени С. Н. Сынина, кандидат медицинских наук З. А. Скобарева и кандидат биологических наук Л. М. Текшева делают следующие выводы:

1. Излучение биологического действия света на человека остается актуальной проблемой гигиены освещения.

2. Экспериментально на клеточном, биологическом и психофизиологическом уровнях доказана биологическая **неадекватность** естественного и искусственного света равной интенсивности, которая сохраняется и при повышении уровня освещенности от искусственных источников света.

3. *Большое гигиеническое значение естественного света должно учитываться при разработке норм освещения и новых технических средств оптимизации световой среды в помещениях с длительным пребыванием людей* [1.484].

Исходя из приведенных фактов, можно сделать предположение, что школьная миопия формируется в искусственной световой среде в течение ряда лет и для нее справедливо высказывание П. К. Анохина (1978 г.): «...Система создается тем, что изо дня в день повторяется стереотипный порядок одних и тех же условных раздражителей...». Для глаз раздражителем является световая среда со своим спектром света.

В то время когда люминесцентное освещение полностью освоило общественное пространство световой среды обитания человека, в недрах светотехники начинает набирать силы светодиодное освещение. Как и при внедрении люминесцентного освещения, **концепция энергосбережения** становится локомотивом внедрения светодиодной технологии получения белого света.

Качественное сравнение спектров люминесцентных ламп и светодиодных ламп, которые идут им на смену, со спектром солнечного света приведено на рис. 1.190.

Несмотря на то что светодиодные лампы имеют более «синюшный свет», чем у люминесцентных ламп, и эффекты негативного воздействия синего света на гормональную систему человека и биомеханику зрачка глаза, принимаются беспрецедентные меры под лозунгом «Энергосбережение» продвинуть светодиодное освещение с указанным на рис. 1.190 спектром

излучения в среду обитания человека и особенно детей. Пожелания сотрудников лаборатории гигиены света НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина РАМН канули в Лету так же, как и сама лаборатория, которая отвечала за *гигиену освещения* в России.

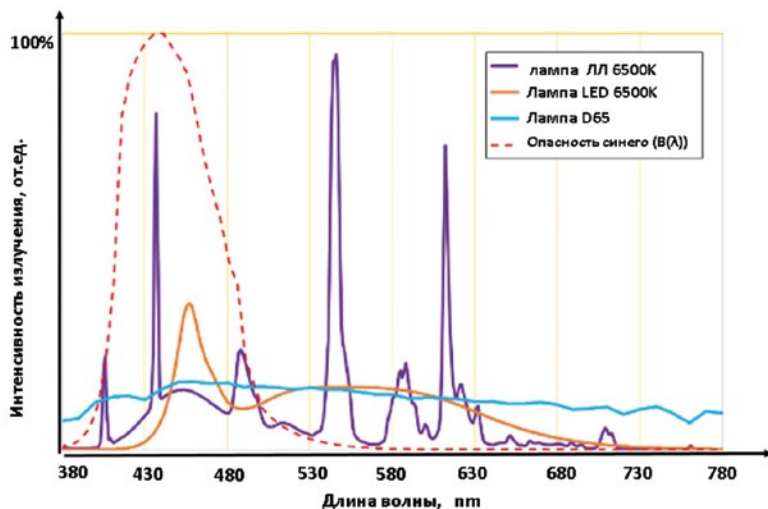


Рис. 1.190. Сравнение спектров люминесцентных и светодиодных ламп со спектром солнечного света

В июле 2009 в России на государственном уровне было заявлено, что в целях повышения энергоэффективности может быть введен запрет на оборот ламп накаливания. Применение ламп накаливания общего назначения для освещения ограничивалось Федеральным законом от 23 ноября 2009 года №261-ФЗ.

Президентская комиссия по модернизации экономики приняла проект по переводу страны с ламп накаливания сразу на светодиоды, минуя энергосберегающие лампы. В проекте решения комиссии министерствам экономического развития, промышленности и торговли и министерству финансов было поручено до 1 июня 2010 г. **представить предложения «по развитию производств и ускоренному распространению светодиодных источников освещения»** [1.487]. Ставка делалась на отечественных производителей светодиодов и светильников, таких как:

- ГК «Светлана Оптоэлектроника»;
- Компания «Оптоган».

В 2010 году утверждается новый проект Программы развития ООН (ПРООН) и Министерства энергетики РФ «Преобразование рынка для продвижения энергоэффективного освещения в России» с финансированием Глобальным экологическим фондом (ГЭФ). Глобальный экологический фонд (ГЭФ) – это финансовый механизм предоставления грантов и льготных кредитов странам-получателям на осуществление проектов, нацеленных на решение глобальных экологических проблем. ГЭФ был учрежден в 1991 году как экспериментальная программа Всемирного банка.

Менеджер проекта «Преобразование рынка для продвижения энергоэффективного освещения» ПРООН ГЭФ А. С. Шевченко в статье [1.488] отмечал: «как показали результаты исследования 10 московских школ, проведенного зимой 2010–2011 гг. в рамках проекта Программы развития ООН (ПРООН) и Глобального экологического фонда (ГЭФ), состояние качества освещения находится в неудовлетворительном состоянии (при общем удовлетворительном уровне освещенности). Качество света напрямую влияет и на здоровье, и на успеваемость детей. По данным ряда исследований, 22–25% молодых людей заканчивают школу с дефектами зрения, при этом патология возрастает за период обучения в 2–2,5 раза. Конечно, это происходит не только от некачественного освещения, но его вклад также значителен» [1.488].

В 2010 году специалисты РОСНАНОТЕХНОЛОГИИ (лоббисты отечественной светодиодной светотехники) совместно с группой специалистов НИИ гигиены и охраны здоровья детей и подростков НЦЗД РАМН, которую возглавила Л. М. Текшева, и специалистами строительной светотехники НИИСФ РААСН (федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук») провели комплекс исследований по влиянию светодиодного освещения на детей и подростков. Критерием гигиенической оценки служила динамика психофункционального состояния добровольцев-волонтеров при значительной зрительной (*1 час работы с черно-белым текстом*) и умственной нагрузке при работе в условиях общего освещения (400 люкс), с использованием светодиодов и люминесцентных ламп. Из всего многообразия светодиодных светильников для испытаний были представлены два типа светодиодных светильников – один с рассеивателем, а второй без него, по *рекомендациям НИИ строительной физики РААСН* [1.489].

Основные результаты эксперимента, проведенного Научным центром здоровья детей РАМН, показали, что при использовании светодиодного светильника Beta Lux 1–30 (с рассеивателем) работоспособность повысилась на 12%, а утомляемость не превышала показателей контрольной группы.

В то же время эти же исследователи обнаружили, что при освещении светильником, изготовленным по рекомендации *НИИ СФ РААСН* (светильник без рассеивателя), работоспособность и утомляемость волонтеров ухудшалась в два раза. Несмотря на то что светильники этого типа занимают большую часть рынка светодиодных светильников (более 87%), результаты названных испытаний не были использованы при подготовке нормативных документов при корректировке норм Санитарных правил, которые подписал Главный государственный санитарный врач Российской Федерации.

Эксперты лаборатории физико-химических основ рецепции ИБХФ им. Н. М. Эмануэля РАН указывали, что проведенные сейчас психофизиологические исследования по общему состоянию организма детей при использовании светодиодного освещения (НИИ гигиены и охраны здоровья детей и подростков ФГБУ «НЦЗД» РАМН) не дают информации о детских глазных рисках по опасностям потери зрения.

В 2013 году Министерство образования и науки Российской Федерации открыло финансирование работ (п. 15658 Реестра Предложений), получивших поддержку технологической платформы «Развитие российских светодиодных технологий» РОСНАНО. Содержание п. 15658 темы «Исследования влияния новых светодиодных источников света на организм человека» и формулировка цели предлагаемого к реализации проекта «Комплексное изучение влияния освещения светодиодами на орган зрения и организм с учётом степени утомления». На основании результатов проведённых исследований планировалось обоснованно определить область применения разных типов светодиодов и выбрать нормируемые уровни освещённости для помещений различного назначения и зрительных работ разной точности. Создание комфортной и «энергосберегающей» световой среды для человека, способствующей снижению зрительного утомления, энергетических затрат и экологических рисков. Результаты исследований будут применены для создания установок искусственного освещения, абсолютно безопасных для зрительной системы и общего состояния организма человека. Предмет государственного контракта по лоту № 3 (Шифр: 2013–1.6-14-516-0126) Выполнение поисковых научно-исследовательских работ по теме: «Проведение проблемно-ориентированных поисковых исследований в области разработки комплексной методики оценки эффективности и безопасности для здоровья человека светодиодных источников света». Начальная (максимальная) цена лота: всего 30 млн рублей, в том числе на 2013 год – 30,0 млн рублей.

Одним из исполнителей этих работ были специалисты МГУ им. Н. П. Огарева [1.490]. В своих исследованиях эти специалисты, которые имеют большой опыт по сравнительной гигиенической оценке различных источников света, для сравнения применили светильники разных типов и с разными источниками света, например:

- светильник Cap Flat66–16 со светодиодными лампами, изготовленными по технологии «удаленного люминофора» (фирма НЕПЕС РУС (г. Саранск));
- светильник ДВО 12-38-001 Prizma (рассеиватель из полимерного материала с призматическими элементами) со светодиодами Seoul Semiconductor;
- светильник ЛВО 04-4xx14-041PRS с люминесцентными лампами (ЛЛ):
 - T5 FH 14W HE ($T_{\text{кц}}=3000$ K), производитель Osram;
 - Master TL5 HE 14W ($T_{\text{кц}}=4000$ K), производитель Philips;
 - T8 L 18W ($T_{\text{кц}}=5000$ K), производитель Osram.

Оценка зрительного утомления проводилась для светильников разной конструкции, в которых применялись разные источники света от разных производителей. В качестве интегральных показателей эффективности светодиодного освещения ими были предложены степень зрительного утомления и зрительной работоспособности.

В табл. 1.11 для исследованных условий освещения представлены результаты расчета зрительного утомления (Z_y) по динамике временного порога ахроматической адиспаропии.

В своей статье «Об эффективности освещения светодиодами по зрительной работе» [1.490] дополнительно к статье [1.491] авторы сообщают следующее.

Таблица 1.11

Зрительное утомление (по данным времени ахроматической адаптации)
в различных условиях освещения

Е, лк	$T_{ш}$, К	Зрительное утомление при светодиодном освещении, %	Зрительное утомление при люминесцентном освещении, %
200	3 000	15,18	20,39
400		12,17	18,27
1 000		6,45	16,67
200	4 000	14,91	19,23
400		11,21	17,14
1 000		6,40	9,4
200	5 000	14,16	18,27
400		11,97	17,14
1 000		8,66	9,57

В ходе эксперимента был установлен неодинаковый характер изменения порогов цветоразличения при разных вариантах освещения. Из полученных результатов следует – при зрительной работе в условиях люминесцентного освещения и светодиодного освещения функциональное состояние сетчатки не было одинаковым, что, очевидно, связано с фотохимическими реакциями в сетчатке, которые могут тормозиться и усиливаться под действием излучений в разных частях видимого спектра. Влияние излучения светодиодов выявлено только на с-рецептор сетчатки при $T_{ки}=4000$ К и уровне освещенности $E=1000$ лк (светильник Cap Flat 66–16 со светодиодными лампами, изготовленными по технологии «удаленного люминофора») и при $T_{ки}=5000$ К и уровнях освещенности 400 лк и 1 000 лк (светильник ДВО 12-38-001 Prizma (рассеиватель из полимерного материала с призматическими элементами) со светодиодами Seoul Semiconductor (синий кристалл, покрытый желтым люминофором)). При этом необходимо отметить, что проблемы с цветоразличением были выявлены при испытаниях светодиодных светильников и во ВНИИЖГ «Роспотребнадзора» и ГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России.

В заключение специалисты МГУ им. Н.П. Огарева в статье, опубликованной только в 2018 году (по результатам исследований 2013 г.), подчеркивают, что работы по гигиенической оценке по светодиодному освещению требуют продолжения [1.490]. Профессор Джон Маршалл из Института офтальмологии Лондонского колледжа в своей новой книге [1.492] отмечал: «...дальнейшая работа показала, что при низкоуровневом освещении, но в течение очень длительных периодов (часы, дни, месяцы) также происходит повреждение сетчатки». И снова подчеркивал, что:

- сине-фиолетовый свет был более опасным, чем другие длины волн;
- светодиоды имеют высокие спектральные выбросы синего на уровнях, которые могут потребовать внимания по кумулятивным воздействиям в течение жизни человека;

– фототоксичность сетчатки была продемонстрирована несколькими исследованиями для длин волн с высокой энергией сине-фиолетового света, вплоть до 455 нм.

В среде светотехников возникла дискуссия: почему же Роспотребнадзором светодиодные лампы разрешены, а в Беларуси не могут поступить аналогично? Но специалисты Республиканского научно-практического центра гигиены уверены, что не все так просто. «Сегодня в нашей стране нет чётких собственных научных доказательств безопасности светодиодных источников света для состояния зрительного анализатора», – говорит **Татьяна Пронина** из лаборатории гигиены детей и подростков РНПЦ. По ее словам, чужие данные достаточно противоречивы. Но вопрос не закрыт, в 2016 году началась исследовательская работа о влиянии таких источников света в рамках *трехлетнего бюджетного проекта [1.493]*.

Минздрав Беларуси своим постановлением № 115 от 29 декабря 2014 года ограничил использование светодиодных источников света (ламп).

В частности, такие энергосберегающие источники света запрещено использовать для освещения помещений учреждений образования, в которых организован образовательный и воспитательный процесс: в учебных классах, кабинетах, лабораториях, мастерских, а также на площадках, снабженных мебелью, инвентарем, средствами обучения, необходимыми для организации образовательного процесса.

Также запрещено использовать светодиодные источники освещения в помещениях функционального назначения организаций здравоохранения.

Причина запрета сводится к тому, что у Минздрава Беларуси просто нет достаточного количества данных о безопасности светодиодных ламп.

В то время когда за рубежом внедрение светодиодного освещения породило многочисленные исследования в области гигиены света и сложной световой среды на зрительный анализатор и здоровье человека в целом, разтерзанные бурей социальных перемен современные светотехнические коллективы и лоббисты светодиодного освещения подготовили предложения по оценке условий труда, которые после утверждения Президентом страны приняли статус закона «О специальной оценке условий труда» – Федеральный закон Российской Федерации от 28 декабря 2013 г. № 426-ФЗ принят Государственной Думой 23 декабря 2013 года. Одобрен Советом Федерации 25 декабря 2013 года. Статья 13. Вредные и (или) опасные факторы производственной среды и трудового процесса, подлежащие исследованию (испытанию) и измерению при проведении специальной оценки условий труда.

В целях проведения специальной оценки условий труда исследованию (испытанию) и измерению подлежат следующие вредные и (или) опасные факторы производственной среды:

1) физические факторы – параметры световой среды (искусственное освещение (освещенность) рабочей поверхности) и другой физической природы;

2) испытательная лаборатория (центр) проводит исследования (испытания) и измерения следующих вредных и (или) опасных факторов производственной среды и трудового процесса:

- интенсивность источников ультрафиолетового излучения в диапазоне длин волн 200–400 нанометров;
- энергетическая освещенность в диапазоне длин волн УФ-А ($\lambda = 400 - 315$ нанометров), УФ-В ($\lambda = 315 - 280$ нанометров), УФ-С ($\lambda = 280 - 200$ нанометров);
- энергетическая экспозиция лазерного излучения;
- освещенность рабочей поверхности.

История повторяется: такие *скудные* требования по оценке световой среды, в которой трудится человек, а также развивается и учится подрастающее поколение, отражает полное непонимание проблем гигиены света, охраны здоровья и зрения и открывает широкие перспективы бизнесу по внедрению некачественного светодиодного освещения.

Специалисты в области охраны труда ООО «Научно-исследовательский институт охраны труда в г. Иваново» в своем обращении к руководству Федерации независимых профсоюзов России просили «обратить внимание на концепцию оценки освещения рабочих мест, принятую в документе, утвержденном приказом Минтруда России от 20.01.2015 г. № 24н. Изменения в Методике специальной оценки условий труда еще более усугубили ситуацию с оценкой освещения рабочих мест. Мы неоднократно писали, что оценка условий освещения только по уровню освещенности противоречит всем отечественным и зарубежным исследованиям, действующим санитарным нормам и не позволяет достоверно оценивать условия освещения рабочих мест». Этой организацией во исполнение Постановления правительства Российской Федерации от 06 мая 1994 г. № 485 «О проведении обязательной сертификации постоянных рабочих мест на производственных объектах, средств производства, оборудования для средств коллективной и индивидуальной защиты» была разработана «Методика контроля рабочих мест в промышленности» [1.494].

В авторской статье «О школьном освещении» [1.495] Д. А. Мельников (представитель Минэнерго России) сообщает следующее. В рамках проекта Минэнерго России/ПРООН/ГЭФ «Трансформация рынка для продвижения энергоэффективного освещения в 2014–2016 гг.» было модернизировано освещение в 15 школах в трех регионах европейской части России. Перед демонтажем существующих систем освещения во всех классах (во всех школах в качестве источников использовались светильники с линейными люминесцентными лампами Т8). Оценивалось качество освещения на поверхностях парт по двум параметрам:

- уровню освещенности (лк);
- коэффициенту пульсации (%).

В ходе проведенных измерений было выявлено несоответствие по коэффициенту пульсации и в большинстве – по уровню освещенности (сравнение проводилось по отношению к минимальному уровню освещенности 300 лк) [1.496]. В статье Д. А. Мельников отмечает «По экспертным данным ограничений на использование светодиодного освещения в школьных и дошкольных учреждений нет ни в одной из стран ОЭСР (Организации экономического сотрудничества и развития, в которое входит 34 зарубежных стран (США, Англия)). Проведенное в 2017 году по заказу Европейской ко-

миссии изучение воздействия света от светодиодных источников света также не выявило какого-либо негативного воздействия на здоровье».

Однако Европейская комиссия, как правило, **рекомендует**:

1. В «Зеленой книге» Евросоюза отмечается:

– раздел 2.2 – **«государства несут ответственность за безопасность светодиодной продукции**, продаваемой на светотехническом рынке Европы». Это значит, что прибыли достаются производителям светодиодного освещения, а затраты по инвалидизации – государству или страховым компаниям. Всякие надстроечные органы снимают с себя ответственность за последствия внедренной технологии;

– в подразделе «проблемы биологической безопасности («синий свет опасности»)» эта проблема была поднята в связи с воздействием светодиодного света на сетчатку глаза человека и обусловлена большой долей синего в общем спектре белого светодиода.

2. Предварительные рекомендации Научного комитета по новым и вновь выявленным рискам для здоровья (SCENIHR) следующие – «рассмотреть меры по уменьшению злоупотребления искусственным освещением в целом».

В отчете SCHEER 2017 года, о котором говорится в статье Д. А. Мельникова, раздел 6.5 «Основы глазной оптики», эксперты сделали следующий вывод: «Несмотря на то что нет надежных данных для оценки риска безопасности жизни при использовании светодиодных источников света, может возникнуть некоторая обеспокоенность в отношении потенциальных негативных последствий *выбросов светодиодов*, особенно у восприимчивой популяции, которая уже представляет ранние признаки патологического старения макулы. Однако следует подчеркнуть, что эти проблемы проистекают из результатов, полученных в экспериментальных моделях животных или моделях культуры клеток, с использованием уровней воздействия, *превышающих те, которые, вероятно, будут достигнуты при использовании светодиодных осветительных систем на практике*. Воздействие оптического излучения белых светодиодов может привести к серьезному повреждению внешней сетчатки при высоких уровнях воздействия. *Спектральное распределение мощности (SPD)* и облучение являются факторами риска, которые способствуют фотохимическому повреждению сетчатки. Чтобы предотвратить или уменьшить этот потенциал сетчатки, следует использовать *более низкие синие компоненты для внутреннего освещения*».

На сайте АПСС была размещена информация, что годичный процесс корректировок двух сводов правил, в котором непосредственно участвовала АПСС, завершен. В своем обращении к производителям светодиодного освещения генеральный директор АПСС Е. Долин сообщает, что «Минстрой принял верное решение – ориентироваться на СанПиНы и на головной свод правил по освещению – СП 52.13330 «СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение» в редакции 2016 года. Важна была поддержка коллег из Аппарата Правительства РФ (В. Ковальчук – референт департамента промышленности и инфраструктуры Аппарата Правительства РФ), Минэнерго (Д. Мельников), Минстроя (А. Степанов) и НИИ строительной физики (И. А. Шмаров) в выработке технической политики по внедрению

качественного энергоэффективного светодиодного освещения. Отдельно хочу отметить личный вклад в подготовку, обсуждение и продавливание изменений Председателя Комитета по стандартизации АПСС Александра Богданова!». Мы приводим полный текст изменений, которые частный опыт испытаний конкретных конструкций светодиодных светильников распространяют на все многообразие светодиодных светильников.

Изменение №1 к СП251.1325800.2062 «Здания общеобразовательных организаций. Правила проектирования»

8 Естественное и искусственное освещение

8.3 Источники света

Пункт 8.3.2 изложить в новой редакции:

«п. 8.3.2. В качестве источников света в ОУ помещений зданий ОО применяются люминесцентные лампы (кроме галофосфатных), светодиоды и иные источники света в соответствии с действующими санитарно-гигиеническими нормами и правилами, устанавливающими требования к искусственному освещению и в соответствии с (1)».

Пункт 8.3.3 изложить в новой редакции:

«п. 8.3.3. Источники света по цветовым характеристикам следует применять по СП52.13330. Минимально допустимые световые отдачи источников света для ОУ общего искусственного освещения помещений изложены в СП52.13330».

Пункт 8.3.4 изложить в новой редакции:

«п. 8.3.4. Общее и местное освещение помещений зданий ОО предусматривается с использованием ламп по спектру цветоизлучения: белый, тепло-белый, естественно-белый в соответствии с действующим санитарными нормами и правилами».

Изменение №1 к СП256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа»

5.3 Источники света

Пункт 5.3.7. Источники света для общего освещения помещений общественных зданий в зависимости от разряда зрительных работ и требований к цветоразличению следует выбирать в соответствии с СП52.13330.

Для общего освещения учреждений дошкольного образования, а также в основных функциональных помещениях лечебно-профилактических учреждений следует применять источники света в соответствии с действующими санитарными нормами и правилами. *В качестве источников света в учреждениях общеобразовательных организаций и профессиональных образовательных организаций применяются люминесцентные лампы (кроме галофосфатных), светодиоды и иные источники света в соответствии с действующими санитарно-гигиеническими нормами и правилами, устанавливающими требованиями к искусственному освещению и в соответствии...».*

В своем стремлении лоббирования внедрения светодиодного освещения представители промышленности и чиновники Минэнерго (при реализации законов по энергосбережению) не учитывали опыт внедрения энергосберегаю-

которые влияют на формирование изображения и циркадные эффекты. В статье [1.499] отмечается – мораль истории: «Идите по пути применения естественного света как можно дальше».

Учитывая особенности современного этапа развития «зеленых технологий» и стандартов для них 19 июля 2017 года Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН) провела совещание при участии советника Президента РААСН, представителя НИИСФ РААСН, Генерального директора Ассоциации производителей светодиодов и систем на их основе (АПСС), заместителя директора Департамента градостроительной деятельности и архитектуры Минстроя России и других экспертов. Эксперты обсуждали следующие вопросы:

- создание безопасной световой среды в детских дошкольных и медицинских учреждениях;
- совершенствование существующей нормативно-технической базы по данному направлению.

В своем протоколе №02/ТП от 19 июля 2017 г. эксперты рабочей группы по безопасной эксплуатации зданий и сооружений рекомендовали «при разработке нормативно-технической документации учитывать отечественный и мировой опыт создания полупроводниковых источников белого света с биологически адекватным спектром излучения» [1.500].

Со времен Гиппократы врачи обещали постоянно обновлять свои знания и навыки. Важность непрерывного медицинского образования (СМЕ) и непрерывного профессионального развития (СРД) очевидна для врачей. Поскольку прогресс в медицине становится все быстрее, необходимость в обновлении знаний еще больше. По оценкам, около половины всех медицинских знаний устаревают в течение пяти лет. Великий греческий философ Сократ заявлял: «Если вы считаете, что образование дорого, вы должны учитывать неведение». Медицинские директивы ЕС, за которыми следует директива о профессиональной квалификации, в основном касались базового медицинского образования и последиplomного обучения. UEMS создала Европейский совет по аккредитации СМЕ (ЕАССМЕ®).

В марте 2018 г. в Лондоне прошел 3-й Глобальный конгресс педиатрической офтальмологии (аккредитованный СМЕ + СРД), который обсудил самые динамичные и последние проблемы в области офтальмологии для детей.

3th Global Pediatric Congress с удовлетворением констатировал значительные достижения последних лет в детской офтальмологии и считает необходимым отметить следующее.

1. Безусловно, одной из главных ближайших задач в детской офтальмологии является борьба с пандемией адаптационной миопии. На земном шаре к 2050 году ожидается до 5 млрд миопов – половина населения планеты. Это говорит о том, что мы пока не имеем работоспособной и адекватной для практики теории миопии. Самая распространённая сегодня теория периферического дефокуса обладает известными недостатками и основана на ряде гипотез, которые не в полной мере подтверждены научными исследованиями. Для того чтобы практически опереться на предложенные в этой теории гипотезы, необходимо провести ряд фундаментальных физиологических исследований для их достоверного подтверждения. И мы обращаем

внимание правительств и частных инвесторов всех стран на необходимость приоритетного финансирования таких исследований.

2. На нашем конгрессе, возможно, впервые в мире была анонсирована метаболическая теория адаптационной миопии, предложенная исследователями из России. Эта метаболическая теория основана на взаимосвязанных физиологических гипотезах, которые имеют под собой веские основания. В этой теории показано, что физиологические механизмы возникновения и развития адаптационной миопии у животных и человека в работоспособном возрасте являются общими. Приобретенная миопия представлена в этой теории не как болезнь, а как нормальный естественный адаптационный процесс, позволяющий уменьшить энергопотребление глаза при длительной интенсивной работе вблизи. Это проявления общего закона анатомического развития биологических систем – минимизация энергопотребления для эффективной жизнедеятельности.

Особенно важно отметить то, что метаболическая теория адаптационной миопии получила достоверное подтверждение в клинических исследованиях с периодами наблюдений 3, 5 и 7 лет. Эти исследования важны для теории и практики оптометрии, поскольку вводят понятие «рациональной коррекции». Рациональная коррекция позволяет на практике выполнить такую физиологически адекватную оптическую коррекцию, которая позволяет не только эффективно препятствовать развитию адаптационной миопии, но также тормозит развитие других глазных заболеваний. Как правило, эти заболевания непосредственно связаны с ухудшением процессов метаболизма или ускоренным старением внутриглазных структур.

Разработанные российскими исследователями практические рекомендации по оптической коррекции, основанные на понимании исполнительных механизмов метаболической теории адаптационной миопии, предполагают использование рациональной коррекции на самой ранней стадии развития приобретенной миопии (необходимо затормозить естественный адаптационный процесс по возможности на ранней стадии). Кроме того, рациональная коррекция должна, по возможности, предотвратить взаимосвязанную работу внутриглазных систем в условиях крайних фаз аккомодации: взгляд полностью вдаль и полностью вблизи. Такая оптическая коррекция позволяет исключить работу ресничной мышцы в максимальном и минимальном тонусе, обеспечить эффективный отток водянистой влаги по увеосклеральному пути, нормализовать в глазу процессы естественного метаболизма и обеспечить нормальное коллагенообразование в склере, включая её задний полюс. На практике это означает физиологически обоснованное применение слабой перекоррекции при взгляде полностью вдаль (на 0,12–0,25 D) и слабую недокоррекцию при взгляде полностью вблизи (на 0,25–0,5 D) с поправками на орто- и экзофорию.

3. Важным результатом работы конгресса явилось ясное понимание необходимости разработки и внедрения эффективного контроля видео-безопасности зрительной среды для того, чтобы предотвратить не только массовое развитие глазных заболеваний, но и исключить негативное влияние современной зрительной среды на функционирование многих систем жизнедеятельности у человека. И в первую очередь необходимо заплани-

ровать и ускоренно провести междисциплинарные исследования по разработке критериев комфортной зрительной среды при массовом постоянном использовании искусственных источников света, экранов современных телевизоров, дисплеев и гаджетов. Здесь необходимо обратить внимание на превышение в 2–3 раза составляющей синего света в их спектре, а также на часто недостаточную составляющую красного света, по сравнению со спектром естественного солнечного света. Общая тенденция безопасного освещения полупроводниковыми источниками света и видео-безопасного излучения у дисплеев такова: необходимо иметь биологически адекватный спектр, который обеспечит гармоничную работу зрительного анализатора и гормональной системы человека. Конгресс обращает внимание глав стран и правительств на необходимость финансирования государственных программ по разработке национальных регламентов зрительной работы с привлечением к этим исследованиям офтальмологов и представителей других научных дисциплин, специалистов в области гигиены и охраны труда.

4. Конгресс отмечает безусловную важность и особую перспективность научных исследований по направлению «Физиология и биомеханика глаза». Эти исследования уже привели к адекватному развитию теории хрусталиковой аккомодации Гельмгольца, а также позволили выявить множество новых дополнительных механизмов аккомодации, дать их подробную классификацию и описать исполнительные механизмы. Также эти исследования позволили получить более глубокие представления о возможных физиологических механизмах взаимосвязанного функционирования сетчатки и нейронных полей мозга для осуществления бинокулярного зрения, а также системы управления аккомодацией. Лидером в этих междисциплинарных исследованиях сегодня является Россия.

5. Организационный комитет конгресса выражает искреннюю признательность всем участникам конгресса, докладчикам и модераторам научных сессий, желает творческих успехов в научном обосновании критериев безопасности для зрительного анализатора современной световой среды в условиях дисплейной цивилизации для эффективной профилактики и лечения детских глазных патологий [1.501, 35, 1.502, 36].

В рамках программы выставки «ЭЛЕКТРО-2018» (ЦВК «Экспоцентр») при поддержке АПСС 17 апреля 2018 года прошел круглый стол «Как модернизировать освещение в учебном заведении? Требования, успешные практики, типичные ошибки». Итоговой резолюции этот форум светотехников не принял, но всем запомнилась взволнованная речь о будущем зрении школьников доктора технических наук профессора, академика АЭФ, шефа редакции журнала «Светотехника» и гуру отечественной светотехники Ю.Б. Айзенберга, который отметил, что необходимо подготовить обращение к президенту РФ о состоянии зрения школьников, и выразил надежду, что новое поколения светодиодного освещения без выброса синего света уменьшит риски возникновения миопии у детей. Полный текст выступления представлен на сайте <https://www.youtube.com/watch?v=HA6vp9rlqVE>.

Сотрудники Минстроя не учли печальный опыт Южной Кореи по внедрению энергосберегающей технологии. На сайте Минстроя опубликованы изменения к СП 251.1325800.2016 «Здания общеобразовательных органи-

заций. Правила проектирования» и СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа», касающиеся требований к освещению. Изменения вводятся с 26 и 27 июня 2018 г. соответственно. Производители светодиодных светильников, используя административный фактор, продолжают прорываться на рынок световой среды для детей, зрение которых не сформировано. АПСС в мае 2019 года обратилось к вице-премьеру Правительства РФ В.Л. Мутко с письмом «О препятствиях во внедрении энергосберегающих технологий в учреждениях школьного и профессионально-технического образования». 12 июля получено письмо Минстроя России (письмо № 25402-ДВ/08 от 12.07.2019 г.), в котором указано на отсутствие каких-либо нормативных запретов на использование СД в школах и, тем самым, на неправомерность любых отказов использовать светодиодное освещение в школах по причине правовой коллизии в Постановлении 1521. Строители стараются внедрять в новых школах светодиодные светильники, приведенные на рис. 1.192.

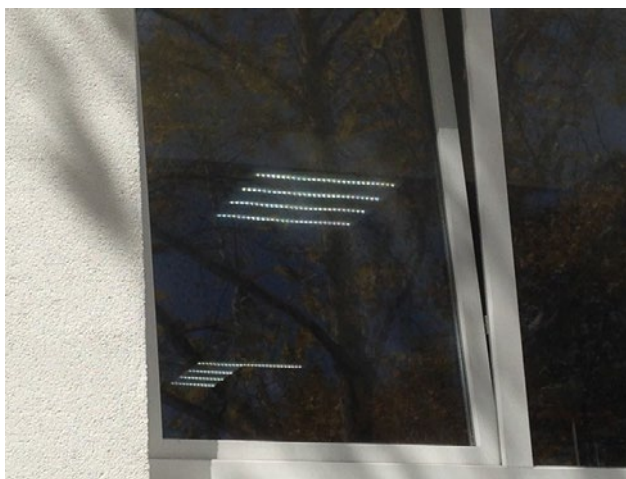


Рис. 1.192. Фото светодиодного освещения в новой школе

Приведенные на рис. 1.180 светодиодные светильники являются типовыми и массово внедряются в новых школах. Эти светодиодные светильники отличаются по конструкции от светодиодных светильников, на которых проводили исследования сотрудники НИИ гигиены и охраны здоровья детей и подростков НЦЗД РАМН.

Фарс внедрения светодиодов состоит в следующем. Спустя 7 лет после презентации Главой «Роснано» руководству страны первой российской светодиодной лампочки, разработки «Оптоган», председатель правления УК «Роснано» Анатолий Чубайс заявил, что крупной технологической потерей «Роснано» стал проект по производству светодиодной светотехники компанией «Оптоган» [1503].

В России технологиями массового серийного корпусирования (герметизации) СД обладают несколько предприятий, из которых только четыре ведут производство [1.504]:

- «ЛЕД Энергосервис» (г. С.-Петербург), *возобновил* производство СД под брендом «Оптоган».
- НИИ полупроводников (г. Томск), ведет опытное производство маломощных СД.
- РоСАТ (г. Армавир), ведет ограниченное производство специальных светодиодов для светофоров РЖД.
- «Пандора» (г. Калуга), ведет мелкосерийное производство для собственных нужд.
- «Протон» (г. Орел), ведет массовое производство маломощных и индикаторных светодиодов.
- Построен завод по сборке СД в Ингушетии (запуск – конец 2018 года).
- Уральский оптико-механический завод (г. Екатеринбург), линии на *консервации*.
- «Светлана-Оптоэлектроника» (г. С.-Петербург), *производство прекращено*, компания банкрот.
- ГЗ «Пульсар» (г. Москва), *прекратил производство*.
- НЕПЕС РУС (г. Саранск), *прекратил производство*.

Планами строительства завода по производству СД обладает ООО «БЛ Групп». В Беларуси построен завод по сборке светодиодов установленной мощностью 120 млн шт. в месяц. Идет монтаж сборочных линий. Запуск – предположительно в конце 2018 года.

В Казахстане работает предприятие ТОО «LED System Media» (г. Астана), располагающее сборочной линией СД.

Теперь рассмотрим особенности функционирования сформированной солнечным светом естественной защиты глаз человека в условиях воздействия энергетического спектра света от люминесцентной лампы и светодиодных источников света.

История внедрения люминесцентных ламп поучительна для врачей-гигиенистов. Согласно парадоксу Гегеля: «История учит человека тому, что человек ничему не учится из истории». Современные врачи-гигиенисты способствуют эволюции искусственного освещения, но производители светильников не делают должных выводов из истории их внедрения. Поэтому при внедрении энергосберегающих и светодиодных ламп для них наступил «день сурка». События повторяются один в один, хотя прошли десятилетия.

1.9.2. Люминесцентные лампы и влияние их света на здоровье и работоспособность человека

В настоящее время в общественных зданиях широко применяются люминесцентные лампы, а в жилых домах они не прижились, так как нет радости от этого света. Нашу историю начнем рассматривать с них – с люминесцентных ламп как бы «дневного» спектра света. На возможность создания светильников холодного света указывал ещё великий русский учёный М.В. Ломоносов «Надо подумать, – писал он, – о безвредном свете гниющих деревьев и светящихся червей. Затем нужно написать, что свет и теплота не всегда взаимно связаны и потому различествуют» [1.454].

Первым предком лампы дневного света была лампа Генриха Гайсслера, который в 1856 году получил синее свечение от заполненной газом трубки, которая была возбуждена при помощи соленоида. В 1893 году на Всемирной выставке в Чикаго, штат Иллинойс, Томас Эдисон показал люминесцентное свечение. В 1894 году М. Ф. Моор создал лампу, в которой использовал азот и углекислый газ, испускающий розово-белый свет. Эта лампа имела умеренный успех. В 1901 г. Питер Купер Хьюитт продемонстрировал ртутную лампу, которую запатентовал в этом же году. Она давала очень много света и была экономичнее тогдашней лампы накаливания в 8 раз, но излучала сине-зелёный свет, придававший лицам неприятный трупный оттенок. С недостатчей красной составляющей в составе спектра света боролись соединением лампы Хьюитта в одной люстре с лампами накаливания – т. н. *blended light lamps* («лампы смешанного света»), которые использовались с 1912 года в офисах города Вашингтона.



Рис. 1.193. Внешний вид лампы Хьюитта (а) и «лампы смешанного света» (б)

Лампа Питера Купера Хьюитта содержала приличное количество ртути – в ней было до килограмма этого жидкого металла.

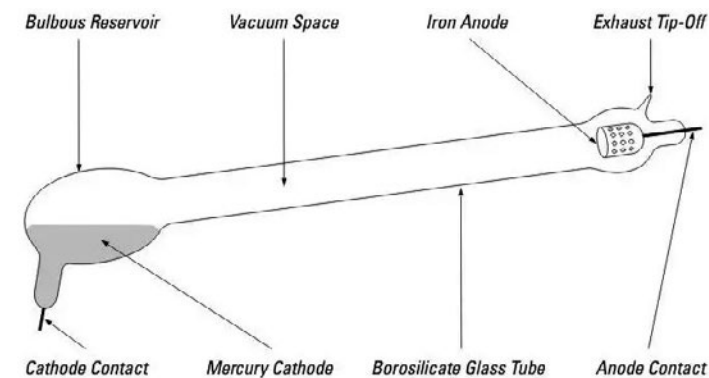


Figure 11 - A Typical Cooper-Hewitt Lamp of the 1901 Pattern

Рис. 1.194. Конструкция лампы Питера Купера Хьюитта (патент 1901 г.)

Для включения надо было потянуть за ручку или цепочку, вывести лампу из горизонтального положения так, чтобы ртуть перетекла на другой край лампы и достигла электрода. После этого пары ртути начинали светиться, и лампу можно было вернуть в исходное положение. С появлением ламп накаливания с вольфрамовой нитью экономичность лампы Хьюитта перестала быть такой уж впечатляющей. Тогда его фирма начала агрессивную рекламную кампанию, утверждавшую, что красная составляющая света не то что неважна, а вообще вредна, ибо от нее и устают глаза! Хотите быть здоровым – пользуйтесь сине-зеленым светом Хьюитта. Рекламная кампания провалилась! Однако настоящим изобретателем лампы дневного света признан американец Эдмунд Джермер. Именно он в 1926 году предложил увеличить операционное давление в колбе и покрыть ее флуоресцентным порошком, который преобразовал ультрафиолетовое излучение ртути в однородный белый свет, который «напоминал» солнечный.

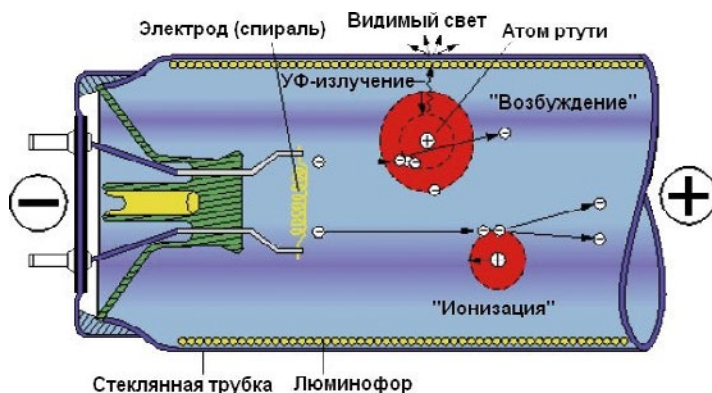


Рис. 1.195. Принцип работы люминесцентной лампы

Принцип работы люминесцентной лампы прост – поток электронов возбуждает атомы ртути, которые излучают поток фотонов УФ-излучения. Этот поток УФ возбуждает люминофор, который излучает фотоны видимого света. К началу 20-х годов было накоплено большое количество экспериментальных данных по люминесценции. В 1924 г. академик С. И. Вавилов экспериментально установил закономерности преобразования возбуждающего излучения в люминесценцию видимой области спектра. В СССР работы по применению люминофоров для улучшения цветности и повышения световой отдачи ртутных ламп были начаты на МЭЛЗ в 1935 г. при участии Физического института Академии наук СССР и лично С. И. Вавилова.

Затем основная часть работ была передана в МЭИ, и в 1936 г. была закончена разработка образца люминесцентной лампы низкого давления с аргоново-ртутным наполнением. К 1938 году лампы дневного света были доведены до коммерческого использования, когда трубки четырёх разных размеров были представлены на рынок компанией General Electric под лозунгом внедрения люминесцентных ламп – *«Выгода и экономия электроэнергии!»*. Первой компанией, которая поняла, какую выгоду могут принести лампы, стала General Electric – именно они выкупили патент и получили

право на выпуск данной продукции. Люминесцентные лампы компании General Electric были введены в хозяйственный оборот на нью-йоркской Всемирной выставке «Мир завтрашнего дня», которая открылась 30 апреля 1939 г., и они были быстро приняты для освещения самых разнообразных зданий в США, где экономия электроэнергии и долговечность стояли в приоритете над неприятным восприятием их *резкого синего света*. Американская академия педиатрии рекомендовала яркие люминесцентные лампы компании General Electric для интенсивного неонатального ухода за новорожденными, сетчатка которых за 15 минут получала дозу синего света, превышающую более чем в разы опасный предел американских промышленных норм, гарантирующих безопасность здоровья глаз взрослого человека. «Пусть не будет света» – эта статья была опубликована в мае 1997 г. в информационном бюллетене «О чем врачи не говорят вам» [1.505].

Каждый год тысячи недоношенных детей в детских инкубаторах теряли зрение из-за ретинопатии недоношенных (РН) [1.506, 1.507, 1.508]. При этом заболевании происходило повреждение и отделение сетчатки глаза. Заболевание РН началось в 1940 году, и предполагалось, что к 1953 году от РН ослепло около 10000 детей, 7000 из них в США. Совсем недавно группа исследователей из Медицинского колледжа Бэйлора в Хьюстоне, штат Техас, пришли к выводу, что у семи из десяти недоношенных детей развивалась разной степени РН. Даже у ребенка, родившегося в срок, но который содержался в больнице, могло развиться поражение сетчатки глаз. Это ранее неизлечимое заболевание началось в США через несколько лет после внедрения флуоресцентных ламп в конце 1930-х годов. В США показатель распространенности слепоты в 1940 году составил 17,5, в 1960–1979 гг. он достиг 20,0, а к 2002 году составлял 50,0 на 10000 населения [1.506, 1.507, 1.508].

В таблице представлены данные по спектру света, рекомендованного Американской академией педиатров.

Из данных, приведенных в таблице, видно, что наибольший энергетический выброс приходится на длину волны 435 нм. Многочисленные исследования показали, что на пик эмиссии в 435,8 нм приходится наибольший риск повреждения сетчатки. Это подтверждено работами по лазерной безопасности в опытах на животных (мышьях и обезьянах) и при осмотрах травм глаз человека от чрезмерного воздействия синего света при сварке. Профессиональная литература по безопасности труда относит к высокому риску «синей опасности» факторы, которые вызывают максимальное повреждение сетчатки в области длин волн от 435 до 440 нанометров [1.506, 1.507, 1.508]. При этом следует отметить, что диапазон чувствительности кровеносной системы стекловидного тела лежит в интервале 430–460 нм. В этот интервал попадает 435,8 нм с амплитудой наибольшего выброса. При этом исследователи не обратили внимание на тот факт, что избыточная доля синего света 435,8 нм значительно превышает величину в спектре солнечного света той же цветовой температуры при полном отсутствии у новорожденных защитного желтого пятна.

В 1940 г. в лаборатории Всесоюзного электротехнического института под руководством проф. В. А. Фабриканта были разработаны первые образцы отечественных люминесцентных ламп (ЛЛ) современного типа, но их серийный выпуск был налажен только после Великой Отечественной войны.

Таблица 1.12

Спектры света, рекомендованные Американской академией педиатров.

Длина волны (nm)	Интенсивность излучения (Вт / нм)	Показатель возможности нанесения ущерба (взвешенная интенсивность излучения)
315	0.122	--
355	0.122	--
365	0.955	--
375	0.321	--
385	0.416	--
395	0.581	--
400	--	--
405	2.432	0.4864
410	--	--
415	0.959	0.7672
420	--	--
425	1.137	1.0802
430	--	--
435	6.120	6.1200
440	--	--
445	1.338	1.2979
450	--	--
455	1.440	1.2960
460	--	--
465	1.527	1.0689
470	--	--
475	1.650	0.9075
480	--	--
485	1.727	0.6908
490	--	--
495	1.839	0.2942
500	--	--
505	1.935	0.2419
515	1.990	0.0995
525	2.118	0.0678
535	2.233	0.0447
545	4.307	0.0560
555	2.476	0.0198
565	2.598	0.0130
575	3.179	0.0095
585	2.905	0.0058
595	2.991	0.0030
600	--	--
605	3.073	0.0031
615	3.029	0.0030
625	2.952	0.0030
635	2.808	0.0028
645	2.664	0.0027
655	2.355	0.0024
665	2.074	0.0021
675	1.548	0.0015
685	1.021	0.0010
695	--	--
700	0.188	0.0002

Массовый выпуск линейных люминесцентных ламп в СССР был освоен в 1948 году. Благодаря совершенствованию конструкции узлов ЛЛ, технологии производства и применению люминофора в СССР с 1954 по 1981 г. световой поток стандартных ЛЛ типа ЛБ 40 возрос от 1900 до 3200 лм, а срок службы – от 3 до 12 тыс. часов.

В соответствии с ГОСТ 6825–64 были определены три основных типоразмера ламп мощностью 20, 40 и 80 ватт и длиной трубки 600, 1200 и 1500 мм в колбе с относительно большим диаметром 38 мм, что обеспечивало облегченное зажигание при низких температурах. Светильников под такие лампы до сих пор много в наших родильных домах, школах, больницах и детских садах.

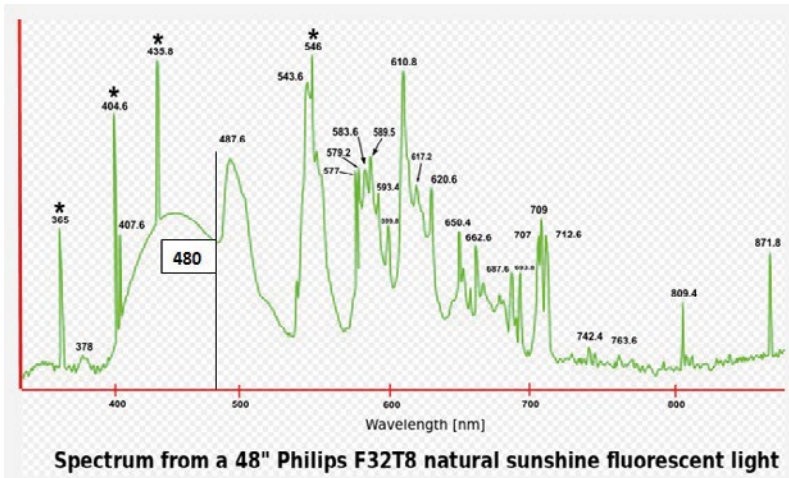


Рис. 1.196. Типичный спектр современной люминесцентной лампы [1.509]

Таблица 1.13

Основные характеристики люминесцентных ламп

Цветовая температура, К	Описание, цветность	Примерный спектр	Свечение	Варианты маркировки	
				словесное описание	международная маркировка*
2700-3200	"теплый белый" свет			warm, warm white, WW, soft white	827,...
3300-3700	"нейтральный белый" свет			natural, neutral, N, white, W	833,...
4000-4500	"холодный белый" свет			cool, cool white, CW, lite white, LW	840,...
6000-6500	дневной свет			daylight, D	860,...

Паттерн спектра современной люминесцентной лампы мало чем отличается от паттерна спектра первых люминесцентных ламп (рис. 1.196).

В ходе эволюции люминесцентных ламп основное внимание уделялось расширению номенклатуры для разного применения и качеству свету (коррелированной цветовой температуры и показателю цветопередачи).

На период массового внедрения люминесцентного освещения приходится рассвет зарубежной и отечественной светотехнической науки.

Особенности естественных механизмов защиты глаза в условиях люминесцентного освещения

Первый обзор литературы по макуле (желтому пятну) был опубликован еще в 1798 году. Но, к сожалению, Американская академия педиатрии (основанная в 1930 году и деятельность которой направлена на сохранение здоровья детей с момента рождения до подросткового возраста) на момент принятия решения о применении люминесцентных ламп в родильных домах не учла, что:

- чувствительность кровеносной системы стекловидного тела лежит в интервале 430–460 нм;
- лютеин не синтезируется в организме, а поступает с продуктами питания, а для грудных детей – только с молоком матери;
- у малышей желтое пятно формируется только к 4–5 годам;
- желтый пигмент центральной области сетчатки поглощает свет с длиной волны 430–490 нм;
- уровень энергии, поступающей на желтое пятно, зависит от диаметра зрачка глаза и спектра источника света;
- желтое пятно не защищает от синего света кровеносную систему стекловидного тела, клетки Мюллера и ганглиозные клетки сетчатки.

Поэтому до настоящего времени не спроектированы специальные лампы для *родильных домов*, обеспечивающие безопасный спектр излучения (адекватный спектр света) для новорожденных. В соответствии со СНиП 23-05-95, требования к светильникам в медицинских учреждениях отвечают люминесцентные и галогенные лампы накаливания, спектр которых близок к естественному. Обычные лампы накаливания для этих целей не используются. В операционных монтируют бестеневые светильники, для которых применяют галогенные лампы. Их энергоэффективная альтернатива – светодиодные источники света. В медицинских учреждениях Европы освещение на базе светодиодов практически полностью вытеснило источники света других типов. Но в России исследования воздействия светодиодных ламп на здоровье человека ещё не закончены, поэтому для установки в местах постоянного пребывания пациентов СанПиН их пока не рекомендуют [1.510].

Однако современные гигиенические нормы в помещениях родильных домов допускают уровни освещенности от 300 лк (общее освещение) до 1000 лк (обследование и лечение) при люминесцентном освещении помещений.

У младенца диаметр зрачка глаза имеет постоянную величину не менее 2 мм и слабо реагирует на свет, плохо расширяется и при этом у него не сформировано *желтое пятно для защиты сетчатки от дозы синего 435 нм*. Исходя из состояния желтого пятна в глазу младенца и уровней освещенности, сетчатка младенца также не защищена от синего света люминесцентных ламп. С возрастом управляемость зрачком глаза повышается, и диаметр зрач-

ка может изменяться от 2 до 8 мм. В яслях, в детских садах и школе поражение сетчатки глаз детей происходит в условиях люминесцентного освещения из-за неадекватного управления зрачком на закрытие. При коррелированной цветовой температуре 4000 К в условиях люминесцентного освещения диаметр зрачка глаза равен 4,9 мм, а при солнечном свете того же уровня освещенности он имеет намного меньшее значение. На рис. 1.197 приведен спектр люминесцентных ламп различных цветовых температур [1.511].

С гигиенической точки зрения на спектрах обращает на себя внимание провал в области 480 нм. С повышением коррелированной цветовой температуры люминесцентных ламп зрачок глаза сужается, но остается больше, чем при солнечном свете той же цветовой температуры и уровня освещенности на сетчатке. Этот факт подтвержден результатами исследований, проводимых при замене люминесцентных ламп с коррелированной цветовой температурой 3600 К на люминесцентные лампы коррелированной цветовой температурой 5500 К в школах США [1.512]. Обобщенные результаты уменьшения площади зрачка при замене люминесцентных ламп 3600 К на 5500 К приведены на рис. 1.198.

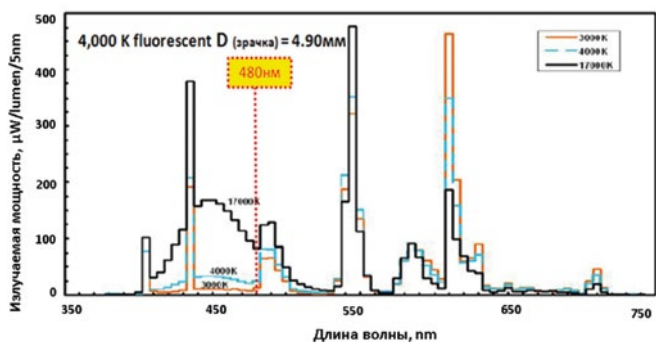
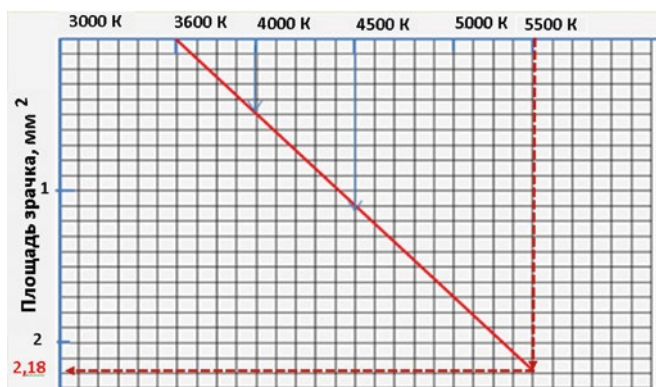


Рис. 1.197. Энергетический спектр люминесцентных ламп различных цветовых температур [1.511]



Средняя разница в диаметре зрачка при 3600 К и 5500 К – 0,31 мм
Среднее различие по площади зрачка – 2,18 мм²

Рис. 1.198. Уменьшение площади зрачка в зависимости от коррелированной цветовой температуры люминесцентной лампы [1.512]

Диаметр зрачка уменьшается, и размер размытости пятна от изображения на сетчатке тоже становится меньше, то есть четкость повышается! При этом она зависит от цветового контраста.

Ученые из Universitat Dusseldorf (Germany) в своей работе [1.513] показали, что с уменьшением диаметра зрачка глаза улучшается производительность корректора. «Положительным преимуществом полярности» описывается тот факт, что производительность чтения выше для темного текста на светлом фоне (положительная полярность), чем для светлого текста на темном фоне (негативная полярность).

Обобщенные результаты работы представлены на рис. 1.199.

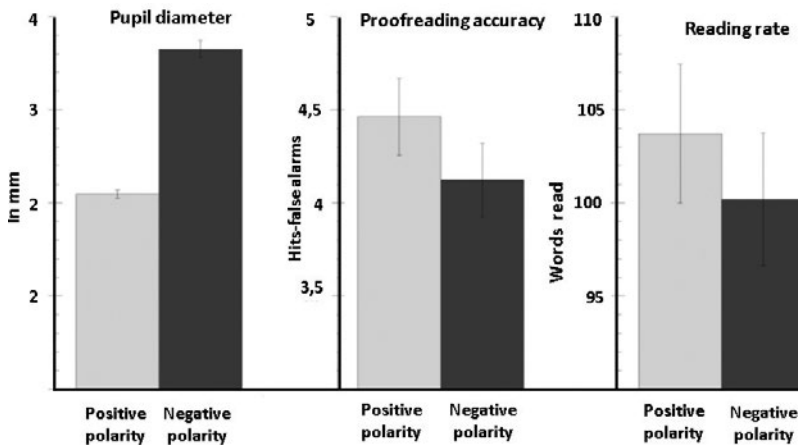


Рис. 1.199. Значения диаметра зрачка, числа ошибок и скорости чтения при разных соотношениях объекта и фона [1.513]

В ходе проводимых исследований по переводу освещения общественных зданий на наиболее холодный спектр света для экономии электроэнергии было замечено, что при этом уменьшается сонливость волонтеров. Не вскрывая механизмы повышения работоспособности и снижения сонливости, в 2002 году проф. D. Gall (Технический университет Ильменау, Германия) предложил формулу для оценки этого нового критерия эффективности искусственных источников света. Коэффициент циркадной эффективности – биологического действия излучения лампы:

$$асв = [\int \Phi_e \lambda \cdot c(\lambda) d\lambda] / \int \Phi_e \lambda \cdot V(\lambda) d\lambda,$$

где:

$\Phi_e \lambda$ – спектральная интенсивность лучистого потока,

$c(\lambda)$ – спектральная циркадная эффективность действия излучения,

$V(\lambda)$ – относительная спектральная чувствительность глаза для дневного зрения.

Величина $асв$ характеризует соотношение долей излучения, обеспечивающих визуальные (зрительные) функции и оказывающих биологическое действие. Представляют интерес величины $асв$, рассчитанные для естественных и искусственных источников света (в скобках указана цветовая температура излучения):

Прямой свет Солнца – 0,83 (5081 К)
Облачный небосвод – 1,73 (6900 К)
Открытый голубой небосвод – 1,02 (19960 К)
Прямой свет Луны – 0,62
Пламя свечи – 0,2 (1900 К)
Лампа накаливания – 0,35–0,38 (2700 К)
Натриевая лампа высокого давления – 0,21 (2100 К)
Люминесцентная лампа тепло-белого света – 0,36 (2820 К)
Люминесцентная лампа нейтрально-белого света – 0,6 (3680 К)
Люминесцентная лампа холодного дневного света – 1,18 (7000 К)
Люминесцентная лампа «Biolum» – 1,5 (6120 К)
Люминесцентная лампа «BioLicht» – 0,98 (5800 К)
Люминесцентная лампа «TrueLight» – 0,95 (5600 К)
Белый светодиод – 1,5–2,0 (4700 К)

Голубой светодиод – $\geq 6,9$ (доминирующая длина волны излучения:
 $\lambda = 468$ нм)

Учитывая влияние света на работоспособность и самочувствие человека, фирма Philips Lighting выпускает Лампы ActiViva для офисного освещения. Свет ламп ActiViva делает людей более внимательными, увеличивая производительность труда. Лампы ActiViva могут использоваться для расширения цветовой палитры в светильниках для динамического освещения Сотрудники Luc JM Schlangen организации Philips Lighting, Global Organisation Applications Lighting в своей статье [1.511] приводят результаты исследования по влиянию спектра ламп ActiViva.

Оценка эффекта от применения люминесцентных ламп ActiViva проводилась индивидуально по среднему значению баллов по 5-балльной шкале Лайкерта. По этой шкале в испытуемой группе показатель улучшился на 36,8% по сравнению с контрольной группой – 1,7%. У большинства испытуемых это улучшение произошло в течение первых 7 недель из 14 недель исследования.

Существенные улучшения наблюдались в испытуемой группе по показателям:

- ◆ усталость (26,9%),
- ◆ настороженность (28,2%),
- ◆ дневная сонливость (31%),
- ◆ производительность труда (19,4%),
- ◆ жизненная сила (28,4%),
- ◆ психическое здоровье (13,9%), (по шкале SF-36 за период исследования).

Спектр люминесцентной лампы с максимально интенсивной голубой компонентой – $T_{\text{ц}} = 17000$ К (эта величина близка к цветовой температуре излучения открытого, безоблачного небосвода в летний полдень). Наивысшее биологическое действие: [$a_{\text{св}} = 1,23$] (подобные лампы производятся фирмой Philips под торговой маркой ActiViva Active). Белый светодиод – 1,5–2,0 (4700 К).

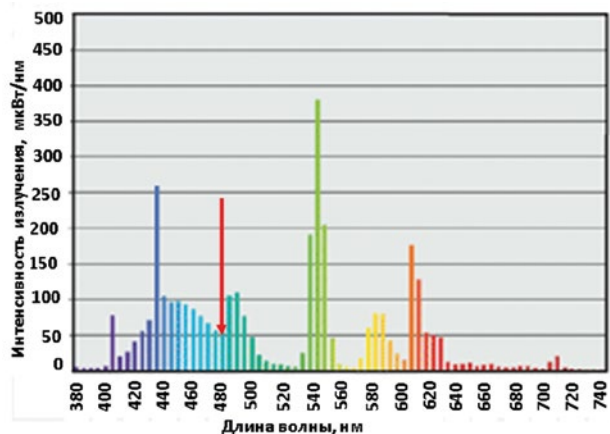


Рис. 1.200. Спектр света лампы торговой марки ActiViva Active (провал в области 480 нм указан красной стрелкой)

После внедрения этих ламп один из авторов получил следующее письмо:

Виталий Николаевич! Здравствуйте! Высылаю информацию по нашему дилеру из города Н. Новгород. В начале года у них в офисе (г. Н. Новгород) были установлены офисные светильники типа Армстронг с лампами ActiViva производства Philips. Philips эту лампу рекомендовал для офисного освещения. Лампа очень холодного света, отличается существенно увеличенной долей излучения в голубой части видимого спектра ($\lambda = 410\text{--}460\text{ нм}$). В рекламных целях говорилось, что она концентрирует внимание, способствует активизации и настрою организма человека на трудовую деятельность, создает в интерьере «свежую» и «здоровую» световую атмосферу. По оценкам экспертов Philips, условия освещения, создаваемые осветительными установками с лампами ActiViva, повышают производительность труда сотрудников в административно-управленческой сфере на 10%. Однако сотрудники компании через некоторое время стали ощущать зрительный дискомфорт, усталость глаз к концу рабочего дня. А через несколько месяцев стало явно ухудшаться зрение. Было принято решение заменить эти лампы на люминесцентные лампы стандартной цветности. После замены ActiViva на люминесцентную лампу со стандартной цветности 840 зрением все нормализовалось.

1.9.2.1. Влияние избыточной дозы синего света на здоровье и работоспособность человека

Школьные годы человек проживает в условиях люминесцентного освещения, которое и формирует его здоровье. Школьные нормы требуют освещенности классов в 500 люкс, и физиологи справедливо утверждают, что мы большую часть времени находимся в «**биологической темноте**». К тому же *гипоталамус разбирается, когда ему подсовывают суррогатный свет*, и не удовлетворяется им вместо натурального солнечного (хотя заснуть человеку при искусственном освещении непросто – организм протестует, и ночью мы это ощущаем лучше).

Таблица 1.14

Структура хронической патологии выпускников школ и интернатов [1.514]

Образовательные учреждения	Пол	Ранговое место				
		I	II	III	IV	V
Интернаты	Девочки (n = 165)	Нервно-психические заболевания (23,1 %)	Болезни костно-мышечной системы (20 %)	Болезни эндокринной системы, нарушения обмена веществ (16,9 %)	Болезни глаза и его придаточного аппарата (15,6 %)	Болезни органов пищеварения (13,1 %)
	Мальчики (n = 175)	Нервно-психические заболевания (28 %)	Болезни костно-мышечной системы (24 %)	Болезни глаза и его придаточного аппарата (21,1 %)	Болезни эндокринной системы, нарушения обмена веществ (16 %)	Болезни органов пищеварения (12 %)
Школы	Девочки (n = 126)	Аллергические заболевания (20,6 %)	Болезни костно-мышечной системы (19,1 %)	Болезни органов пищеварения (17,5 %)	Нервно-психические заболевания (15,9 %)	Болезни эндокринной системы, нарушения обмена веществ (12,7 %)
	Мальчики (n = 120)	Болезни костно-мышечной системы (23,3 %)	Болезни органов пищеварения (20,8 %)	Болезни глаза и его придаточного аппарата (18,3 %)	Нервно-психические заболевания (15,8 %)	Заболевания ЛОР-органов (12,5 %)

На Пленуме Научного совета по экологии человека и гигиене окружающей среды НИИ им. А. Н. Сысина 11.12.2014 года сотрудники и руководство ФГБНУ Научного центра здоровья детей НИИ гигиены и охраны здоровья детей и подростков в своих докладах отметили, что охране и укреплению здоровья подростков как залого стабильного развития общества и государства был посвящен Координационный совет при Президенте Российской Федерации по реализации Национальной стратегии действий в интересах детей на 2012–2017 гг. Координационный совет состоялся в Москве в Кремле 27 мая 2014 г. В докладах и выступлениях присутствовавших указывалось, что показатели заболеваемости – явное свидетельство неблагополучия в сфере здоровья подростков.

За последние 20 лет среди школьников произошел рост распространенности морфофункциональных отклонений и хронических заболеваний. Увеличился (на 5–40%) удельный вес хронических болезней и морфофункциональных отклонений системы пищеварения, костно-мышечной системы (10–25%), хронических болезней нервной системы (на 10–35%).

Многолетними и систематическими научными исследованиями установлены следующие факторы риска развития у детей и подростков **хронических неинфекционных** и школьнообусловленных заболеваний:

- гиподинамический характер обучения;
- интенсификация учебного процесса и учебные перегрузки;
- нерациональные педагогические технологии и расписание занятий;
- авторитарная педагогика;
- снижение возраста начала школьного обучения;
- нездоровье педагога;
- плохая организация питания;
- нерациональное чередование учебы и каникул.

Совершенно очевидно, что большинство этих факторов риска обусловлены процессами обучения и воспитания подрастающего поколения.

С 2004–2005 учебного года сотрудниками НИИ ГиОЗДиП проводится динамическое наблюдение за одними и теми же учащимися московских школ – лонгитудинальное исследование. Цель лонгитудинального исследования: на основе динамического наблюдения изучить особенности формирования здоровья московских школьников в современных условиях для научного обоснования профилактических мероприятий.

Распространенность функциональных нарушений и хронических заболеваний органа зрения среди московских школьников в динамике обучения с первого по девятый класс (%).



Рис. 1.201. Динамика заболеваний и функциональных отклонений

- Медико-социальные последствия ухудшения состояния здоровья подростков:

- Среди старшеклассников 16–18 лет до 80% учащихся по состоянию здоровья имеют в большей или в меньшей степени ограничения по выбору профессии или специальности.

- В профессиональных училищах и высших учебных заведениях обучается от 12 до 28% подростков с медицинскими противопоказаниями к выбранным профессиям и специальностям.

- Снижена пригодность юношей к службе в армии: по данным ЦВВК МО России, в 2013 году 31,3% юношей 17–18 лет признаны непригодными к военной службе по состоянию здоровья.

- У 50% призывников имелись ограничения по состоянию здоровья для несения службы в родах войск с повышенными требованиями (ВДВ, ВМФ, ВВ МВД России и других).

- Ухудшение состояния здоровья современной молодежи может отразиться на состоянии здоровья следующего поколения.

Дальнейшим «совершенствованием» люминесцентного освещения стало появление компактных люминесцентных ламп, в обиходе получившие название «энергосберегающие лампы».



Рис. 1.202. Внешний вид энергосберегающих ламп

Конструктивно компактная люминесцентная лампа представляет собой скрученную в спираль люминесцентную лампу с радиусом стеклянного баллона меньшим, чем у люминесцентной лампы. Это привело к увеличению удельной мощности излучения с поверхности и объема люминофора.

Таблица 1.15

Сравнение плотности излучаемой мощности в различных источниках света

Тип источника света	Потребляемая мощность по цепи питания, Вт	Удельная плотность излучаемой мощности на поверхности люминофора, Вт/см ²	Удельная плотность излучаемой мощности в объеме люминофора, Вт/см ³	Температура люминофора, °С
Стандартная люминесцентная лампа	80	0,1—0,2	20	50—60
Энергосберегающая люминесцентная лампа	10	0,35	60—80	50—75
Дуговая лампа Hg	250	4—5	200—300	150—180
Одноваттный белый светодиод с кристаллом 1x1 мм ²	1,0	45—50	2500—3000	125—150

Возросшая излучаемая удельная мощность люминесцентных ламп обусловила возрастание рисков для здоровья человека.

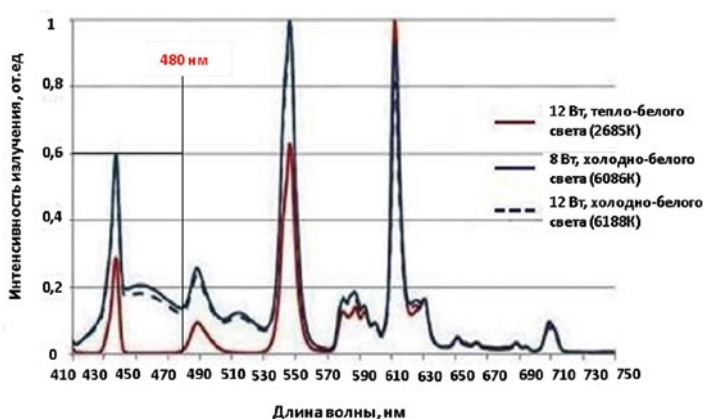


Рис. 1.203. Спектры излучения компактных люминесцентных ламп [1.515]

21 мая 2009 году английская организация «Ассоциации по сохранению энергии» опубликовала отчет «Знания о влиянии энергосберегающих ламп на здоровье» [1.516].

Председатель Европейского комитета по промышленности, исследованиям и вопросам энергетики, член Европарламента Герберт Ройль (Herbert Reul) в интервью гамбургской газете Die Welt пообещал сделать все, что окажется в его силах, дабы отменить запрет на продажу ламп накаливания, действующий с 2009 года. Парламентарий призывал Еврокомиссию незамедлительно отменить действующие нормы и задуматься – не стоит ли, напротив, запретить торговлю пришедшими на смену привычным лампочкам энергосберегающими лампами, которые получили торговое наименование «экономичных». К Ройлю присоединилась вице-президент Европарламента Сильвана Кох-Мерин (Silvana Koch-Mehrin), рекомендовавшая вновь позволить продавать опаловые лампы хотя бы частникам и не превращать под видом охраны окружающей среды опасные спецотходы в источник света. Теперь же, если ориентироваться на многочисленные сообщения на немецких интернет-форумах, он и вовсе уверен: преданные экологической анафеме за высокое потребление энергии привычные лампы накаливания и неторопливо сменяющая их несуразица – ловкая афера. И если в ближайшем будущем тому же интернет-порталу WikiLeaks захочется опубликовать секретную информацию о сговоре европейских чиновников с разработчиками и производителями энергосберегающих ламп, это станет не столько сенсацией, сколько подтверждением наших худших подозрений. Интересен доклад на эту тему Всемирной Федерации здравоохранения 1995 года по поводу школ Санкт-Петербурга. Особенно название доклада, совпадающее с основным выводом, – «Русские калечат психику своих детей» [1.517]. В основном содержание доклада сводится к следующему: «У русских в классах школ установлены люминесцентные лампы старого образца, которые *имеют плохой спектр*, гудят и страдают стробоскопическим эффектом. Это гудение и мерцание с частотой 50 Герц очень быстро выводит детей из строя. Детский организм совершенен. Он защищает своего хозяина, ребёнок отключается от агрессивной среды обитания. Преподаватели же, видя, что внимание детей рассеивается, начинают психологически давить на них: щелкать линейками, повышать голос, поднимать детей и позорить перед одноклассниками. Этот психологический террор русских приводит к тому, что дети начинают бояться и ненавидеть школу. А злые родители опять заставляют детей в нее идти. А там над ними опять издеваются и насмеваются. В результате этого давления у детей возникает дискомфорт, и они становятся легкой добычей для наркомании, малолетней преступности и проституции. Давайте дадим этим русским хотя бы не шумящие люминесцентные лампы, если они так *любят люминесцентный свет*, и не знают другого» – заключают эксперты Всемирной Федерации здравоохранения. Но это заключение сделано в 1995 году, тогда все те руководители народного образования, кто его читал, громко и в голос смеялись над ним. Сегодня они могут плакать [1.517]. Это обусловлено тем, что чиновники не знали о влиянии света на циркадные ритмы человека и детей.

Наибольшую активность в этот период проявили крупнейшие международные концерны GE, Philips, Siemens (Siteco), Osram, 3M. Эти фирмы разработали долговременную стратегию завоевания российского рынка.

В 1995 году Philips просто перевернула рынок, выпустив линию флуоресцентных ламп, изготовленных по технологии ALTO. Этой технологией Philips установила новый стандарт, уменьшив количество ртути в лампах T8 до 3,5 мг. Спустя 12 лет Philips снова поднимает планку стандарта технологией ALTO II. В этих новых лампах ртути всего 1,7 мг. Лампы T8 Long Life и T8 Extra Long Life не только содержат меньше ртути, чем любые другие лампы, представленные на рынке, – они работают дольше, не уступая по яркости. Стараясь сделать технологию по максимуму экологичной, Philips использует в производстве ламп только переработанную ртуть. Сейчас Philips работает над тем, чтобы ещё больше снизить содержание в лампах ртути. Именно поэтому лампы, сделанные по технологии ALTO II, давно стали синонимом слов «ответственность за окружающую среду» [1.518].

Несмотря на уменьшение уровня ртути в люминесцентных лампах, паттерн спектра света оставался старым, не обеспечивающим адекватность управления зрачком глаза, как элементом естественной защиты сетчатки от воздействия синего света.

На рис. 1.204 представлены спектры энергосберегающих ламп (теплого желтого света – 2700 К), ламп накаливания (2700 К) и солнечного света с 6500 К.

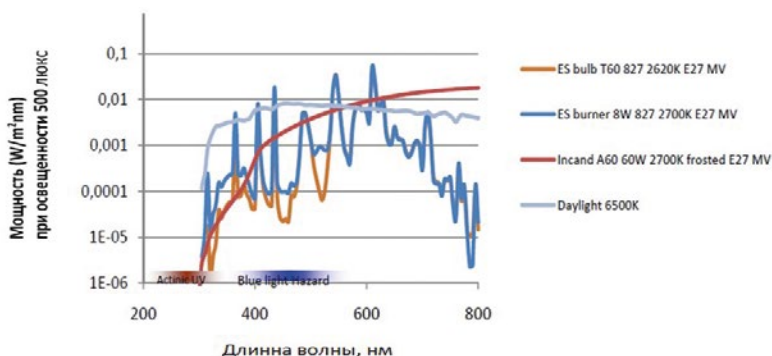


Рис. 1.204. Спектры энергосберегающих ламп (теплого желтого света – 2700 К), ламп накаливания (2700 К) и солнечного света с 6500 К [1.519]

Из представленных данных видно, что энергосберегающие лампы теплого света (2700 К) имеют дозу синего света, равную спектру солнечного света с цветовой температурой 6500 К, при которой уже необходимо применять гигиенические методы защиты.

В период 1993–1995 гг. зарождается новая безртутная основа для светотехнического рынка. В 1993 году японский ученый Суджи Накамура разрабатывает первый ярко-синий светодиод и очень эффективный светодиод в зеленом спектре диапазона (диод InGaN). Некоторое время спустя он также создает белый светодиод на базе синего кристалла и желтого люминофора. А через два года, в 1995 году на светотехническом рынке мира появляется первый светодиод с белым светом, созданный посредством преобразования люминесценции.

1.9.3. Светодиоды и влияние их света на работу зрительного анализатора человека

*Тот, кто не помнит своего прошлого,
осужден на то, чтобы пережить его вновь.
Джордж Сантаяма*

В соответствии с законами эволюции в настоящее время на смену люминесцентному освещению идет освещение на основе массового внедрения светодиодов – полупроводниковых источников света. Но, как было сказано выше, это внедрение повторяет историю внедрения люминесцентного освещения, которое так и не заменило лампы накаливания в домах людей. Народ сделал свой выбор в пользу спектра ламп накаливания, который близок к спектру солнечного света на восходе и закате.

Краткие сведения истории создания светодиодов:

1907 год. Английский ученый Генри Джозеф Раунд (Henry Joseph Round) совершает открытие. Он обнаруживает, что неорганические материалы могут светиться при подаче на них тока. В том же году он публикует свое открытие в журнале «Electrical World». Поскольку он работал главным образом над созданием новой системы определения направления для морского транспорта, это открытие первоначально было забыто.

1921 год. Русский физик Олег Лосев вновь замечает свечение, так называемый эффект Раунда. В последующие годы, с 1927 по 1942 год он продолжал исследования и описал это явление более подробно. Так, 13 января 1922 года 19-летний исследователь сделал выдающееся открытие. Поймут и теоретически опишут его много позже, а пока – практический результат: радисты всего мира получают в руки простой детекторный приемник, работающий не хуже дорогого лампового гетеродина, при этом без громоздких батарей питания, без дефицитнейших электронных ламп и сложной наладки. Описание полупроводникового приемника с генерирующим кристаллом появилось в печати – это было последнее слово радиотехники. Вскоре он разработал целый ряд радиосхем с кристаллами и написал для радиолюбителей брошюру с подробными характеристиками приемников и рекомендациями по изготовлению кристаллов.

Сразу после первой публикации [1.520] открытие Лосева привлекло пристальное внимание зарубежных специалистов. Американский журнал Radio News восклицал: «Молодой русский изобретатель О. В. Лосев передал свое изобретение миру, не взяв на него патента!». Один из французских журналов писал тактичнее: «...Лосев обнародовал свое открытие, думая, прежде всего, о своих друзьях – радиолюбителях всего мира» [1.521].

В №5 журнала «Телеграфия и телефония без проводов» за 1927 год появляется большая статья «Светящийся карборундовый детектор и детектирование с кристаллами», в которой экспериментатор пишет: «Можно различать два вида свечения: свечение 1 – зеленовато-голубая, яркая маленькая точка, и свечение 2, когда ярко флуоресцирует значительная поверхность кристалла».

В 1927–1928 годах Лосев совершил третье свое открытие: емкостный фотоэффект в полупроводниках. Суть этого изобретения состоит в открытии

способности кристаллов преобразовывать световую энергию в электрическую. Кстати, на этом основывается принцип действия солнечных батарей.

1935 год. Французский физик Жорж Дестрио обнаруживает свечение в сульфиде цинка. В честь русского физика он называет его «Светом Лосева». Сегодня Жорж Дестрио является признанным изобретателем электролюминесценции.

1951 год. Создание транзистора знаменует собой шаг науки вперед в области физики полупроводников. Теперь стало возможным объяснить свечение. Именно в этом году в Соединенных Штатах Америки был создан центр, занимающийся разработкой ламп, функционирующих на основе «эффекта Лосева». Во главе этого центра стоял знаменитый ученый К. Леховец.

В 1962 году на рынке появляется первый красный люминесцентный диод (типа GaAsP), созданный американским ученым Ником Холоньяк. Этот светодиод в видимой области спектра знаменует рождение светодиода, созданного промышленным способом.

В 1971 году в результате разработки новых полупроводниковых материалов выпускаются светодиоды в новом цвете: зеленый, оранжевый и желтый. Производительность и эффективность светодиодов продолжает совершенствоваться. В 70-х годах лауреат Ленинской премии Жорес Иванович Алферов с группой единомышленников изобрел «многопроходные двойные гетероструктуры», благодаря которым значительно увеличился внешний световой поток.

В 1993 году японский ученый Суджи Накамура разрабатывает первый ярко-синий светодиод и очень эффективный светодиод в зеленом спектре диапазона (диод InGaN). Некоторое время спустя он также создает белый светодиод на базе *синего кристалла и желтого люминофора*.

В 1995 году первый светодиод с белым светом, созданный посредством преобразования люминесценции, представлен на рынке.

В 2000 году академик Жорес Иванович Алферов получает Нобелевскую премию за разработку «многопроходных двойных гетероструктур».

В 2006 году производятся первые светоизлучающие диоды со светоотдачей 100 лм/Вт. Данный показатель эффективности превосходит только газоразрядная лампа.

В 2010 году светодиоды определенного цвета с огромным значением светоотдачи, равным 250 люменов на ватт, уже разрабатываются в лабораторных условиях. Прогресс ускоряется. Сегодня дальнейшее развитие в направлении органических светодиодов рассматривается как технология будущего.

В 2014 году японский ученый Суджи Накамура получает Нобелевскую премию за разработку промышленной технологии синих светодиодов и белых светодиодов на их основе.

В настоящее время эти светодиоды получили наибольшее распространение, а в основе их лежит зависимость, открытая С.И. Вавиловым еще в 1922 году (рис. 1.205).

Как видно из зависимости (рис. 1.205), вначале, от 254 до 410 нм, идет линейное нарастание выхода. Затем, в интервале от 410 до 510 нм, он остаётся почти постоянным и, наконец, быстро падает. А максимум выхода флуоресценции приходится на интервал 450–460 нм. Из рассмотрения этой зависи-

мости видно, что максимум люминесценции получается при синем свете 460 нм. С гигиенической точки зрения возникает парадокс между максимальной эффективностью выхода флуоресценции и высокими рисками поражения сетчатки глаза (450 нм) и воздействия на гормональную систему человека (460 нм). Современные белые светодиоды – это кристалл, излучающий синий свет с 450 нм и 460 нм и покрытый желтым люминофором (рис. 1.206).

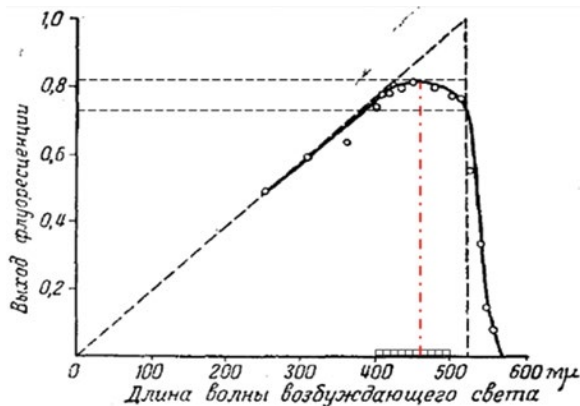


Рис. 1.205. Зависимость энергетического выхода флуоресценции раствора флуоресцеина + NH₄OH в воде от длины волны возбуждающего света (по данным С. И. Вавилова)

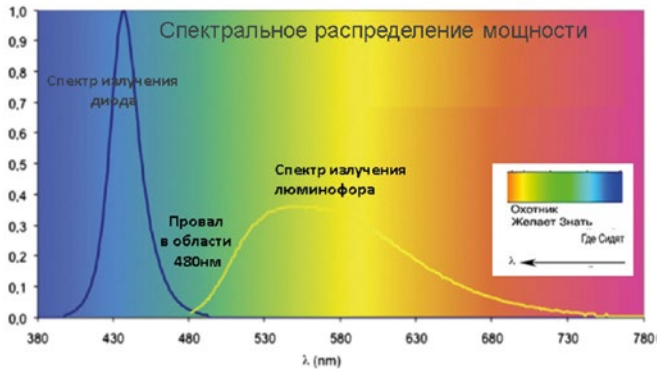


Рис. 1.206. Типичный спектр белого светодиода на базе синего света и конвектора желтого люминофора

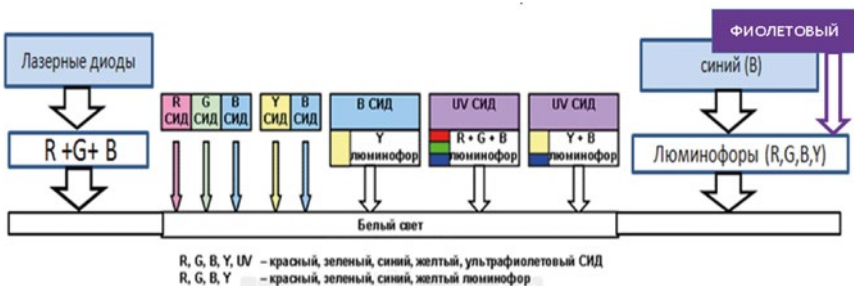
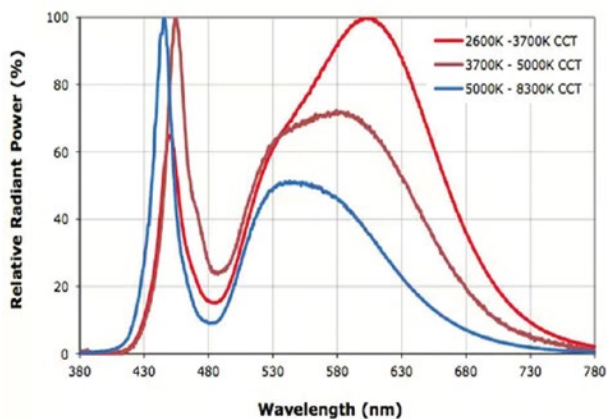


Рис. 1.207. Многообразие технических решений по синтезу светодиодов белого света

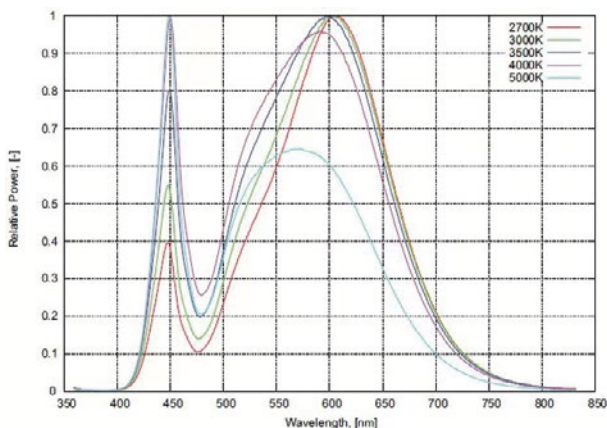
Он основан на «сине-желтой» концепции получения света, в спектре которого имеет место провал в области 480 нм. И красного 670 нм. Спектр таких белых светодиодов является не полным – «Охотник Желает Знать Где Сидят».

В настоящее время имеет место многообразие технических решений по синтезу светодиодов белого света (рис. 1.199).

Лидером в достижении высоких показателей энергоэффективности становится фирма CREE, промышленно выпускающая целые серии светодиодов. На рис. 1.208 приведен типичный спектр светодиодов фирмы CREE.



а) спектр белых светодиодов фирмы CREE



б) спектр белых светодиодов фирмы Lumileds LUXEON® Rebel PLUS LEDs

Рис. 1.208. Типичные спектры белых светодиодов фирмы CREE (а) и фирмы Lumileds LUXEON® Rebel PLUS LEDs (б)

С точки зрения гигиениста, в энергетическом спектре света этих светодиодов отсутствует УФ-диапазон, имеется значительный выброс 450–460 нм и провал в области 480 нм, а также резкий спад в красной части спектра. На рис. 1.209 представлены реперные точки, на которые должен обратить внимание гигиенист при анализе спектра белого светодиода.

Для расширения ширины спектра и повышения уровня красного в спектре белого света и поднятия показателя цветопередачи фирма CREE применяет технологию совмещения синюшного белого светодиода с красным светодиодом (помните, как совмещали ртутную лампу с лампой накаливания?). Такая система смешивания разных светодиодов приведена на (рис. 1.210).

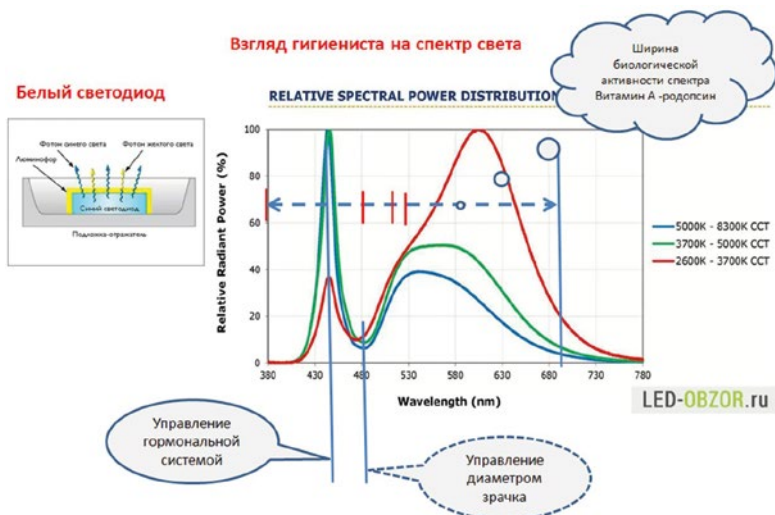


Рис. 1.209. Реперные точки на спектре белого светодиода, на которые должен обращать внимание гигиенист



Рис. 1.210. Внешний вид платы светодиодной лампы, выполненной по технологии Brilliant-Mix

Система смешивания сверхъярких светодиодов получила название Brilliant-Mix. Здесь используется белый светодиод (EQ-White) и светодиод (Amber) «Oslon SSL», мощность которого составляет 1 Вт, размер – 3×3 мм. Рекомендуется располагать светодиоды достаточно близко друг к другу, чтобы смешение цветов было однородным и улучшались оптические характеристики всей системы. Система Brilliant-Mix оснащена схемой интеллектуального управления, обеспечивающей теплый белый цвет в диапазоне температур от 2700 до 4000 К.

На следующем графике представлены типичные спектры Xlamp компании XM-L. Цветные светодиоды расположены независимо друг от друга.

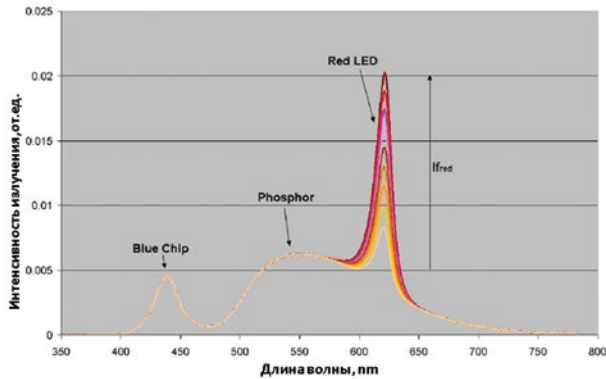


Рис. 1.211. Спектр светодиодной лампы выполненной по технологии Brilliant-Mix (Chhajej et al., 2005)

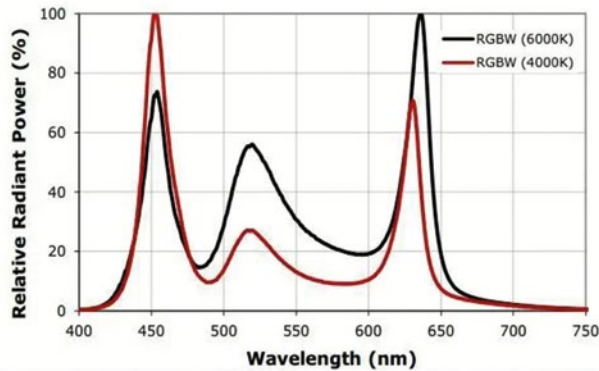


Рис. 1.212. Белые светодиоды выполнены по RGB-технологии

Для уменьшения рисков негативного воздействия синего света фирмой CREE принято решение о применении узкополосного фильтра 460 нм на светодиодах, которыми комплектуют лампы. Спектр такой лампы представлен на рис. 1.213.

По мере развития технологии светодиодного освещения в мире и в России проводятся многочисленные исследования по выявлению эффектов воздействия светодиодного освещения на детский и подростковый зрительный анализатор. В России пионерами в проведении таких исследований стали специалисты Научного центра здоровья детей РАМН, а при внедрении люминесцентных ламп пионером была Американская академия педиатрии. Финансирование исследований осуществляла государственная «Российская корпорация нанотехнологий», которая является одним из разработчиков документа «Дорожная карта развития светодиодной промышленности и общего освещения». По результатам проведенных исследований в 2013 году в свет вышла монография «Гигиенические основы использования светодиодов в системах искусственного освещения» (В. Р. Кучма, Л. М. Текшева, Л. М. Сухарева и др. — М.: ФГБУ «Научный центр здоровья детей» РАМН).

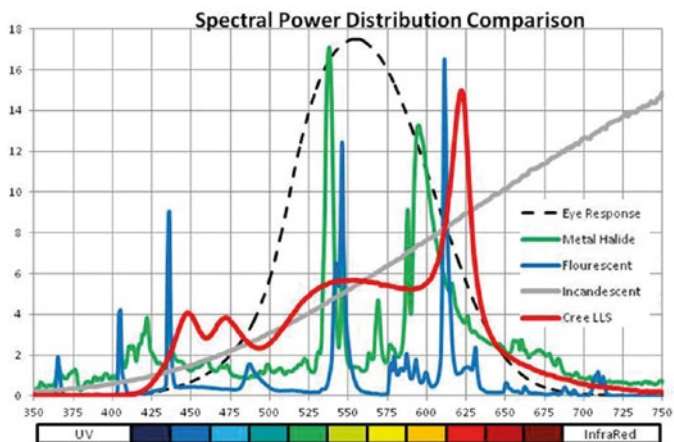

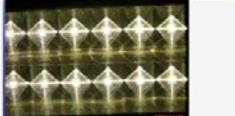




Рис. 1.213. Сравнительная картина спектров различных источников света и светодиодной лампы, выполненной по технологии CREE LLS [1.522]

В таблице 1.16 приведены варианты конструкторских решений построения светильников, которые участвовали в испытаниях, и результаты их сравнения.

Таблица 1.16*

Варианты конструкторских решений построения светильников.

<p>СРАВНИВАЕМЫЕ СВЕТИЛЬНИКИ</p>	 <p>Прямой светодиодный свет</p>	 <p>Светодиодный свет через рассеиватель</p>
 <p>Прямой люминесцентный свет</p>	<p>Результаты экспериментов:</p> <ul style="list-style-type: none"> Утомляемость испытуемых в 2 раза выше по сравнению с люминесцентным освещением Работоспособность снижена более чем в 2 раза. 	<p>Результаты экспериментов:</p> <ul style="list-style-type: none"> Утомляемость испытуемых не превышает показатели контрольной комнаты Работоспособность повысилась в сравнении с контрольной комнатой на 12%.
 <p>Люминесцентный свет через рассеиватель</p>	<p>НЕКОРРЕКТНОЕ СРАВНЕНИЕ</p>	<p>КОРРЕКТНОЕ СРАВНЕНИЕ</p> <p>Сравнение таких светильников не проводилось</p>

*Таблица 1.16 составлена по данным Научного центра здоровья детей РАМН и доклада-презентации представителя ООО «Полупроводниковые технологии», которые были озвучены на Научно-техническом совете ОАО «Мосэнергосбыт» по теме: «Энергоэффективные технологии: Использование светодиодного освещения», г. Москва, 03 февраля 2010 г.

С научной точки зрения и корректности проведенных испытаний представляется несколько необоснованным сравнение растрового светодиодного светильника разработки по рекомендации НИИ СФ и растровых светильников LIGHTING TECHNOLOGIES ARS/R 218 с люминесцентными лампами с трехполосным люминофором типа OSRAM Lumilux +ECO L18/21–840. В этих светильниках источники света не закрыты рассеивателем. В результате проведенных экспериментов Научного центра здоровья детей РАМН для этих светильников установлено:

- утомляемость испытуемых стала в 2 раза выше, по сравнению с люминесцентным освещением;
- работоспособность снизилась более чем в 2 раза.

Это говорит о том, что прямой свет светодиодов негативно влиял на утомляемость и работоспособность человека.

1.9.3.1. Функциональное состояние зрительного анализатора при использовании традиционных и светодиодных источников света [1.523]

По заказу Управления охраны труда, промышленной безопасности и экологического контроля ОАО «РЖД» специалисты ФГУП ВНИИЖГ Роспотребнадзора провели работу «Изучение возможности применения светодиодного освещения (светодиодных источников света) на железнодорожном транспорте при выполнении работы в профессиях, связанных с безопасностью движения, прежде всего машинистов-водителей и диспетчеров-операторов». Результаты 4 серий исследований с участием 10 волонтеров по изучению и сравнительной оценке функционального состояния зрительного анализатора, общего функционального состояния и умственной работоспособности при выполнении моделируемой операторской деятельности в условиях традиционных (лампа накаливания, люминесцентный светильник) и светодиодных (светодиодный светильник, светодиодная панель) источников света приведены в обобщающих таблицах.

В обобщающей таблице 1.18 приведены результаты и проведена сравнительная оценка 1-й и 2-й серий исследований, в которых изучалось состояние человека-оператора при выполнении дозированной умственной нагрузки в условиях освещения лампой накаливания и светодиодным светильником. Регистрация показателей функционального состояния зрительного анализатора и общего функционального состояния до и после часовой дозированной умственной нагрузки, а также показателей работоспособности в процессе ее выполнения, позволяет для каждого источника освещения дать следующие характеристики. Для традиционного освещения лампой накаливания изменения показателей функционального состояния зрительного анализатора имели следующий характер:

- функциональная устойчивость цветоразличения на красный сигнал значимо снизилась;
- функциональная устойчивость цветоразличения на зеленый сигнал практически не изменилась;

Тогда как диапазон аккомодации несколько повысился (характер тенденции).

Таблица 1.17

Сравнительная оценка результатов исследования состояния зрительного анализатора, общего функционального состояния и умственной работоспособности при выполнении моделируемой операторской деятельности в условиях традиционного (лампа накаливания) и светодиодного источника света

Показатели	Сравнительная оценка результатов исследований в условиях применения лампы накаливания и светодиодов	
	Лампа накаливания	Светодиодный светильник
Диапазон аккомодации	Общая тенденция к повышению (у 2 человек)	Общее незначительное снижение (у 1 человека)
Функциональная устойчивость к цветоразличению на красный сигнал	Общее снижение устойчивости (у 4 человек)	Общее снижение устойчивости (у 5 человек)
Функциональная устойчивость к цветоразличению на зеленый сигнал	Общая тенденция к снижению устойчивости (у 1 человека)	Значимое снижение устойчивости (у 5 человек)
Индекс напряжения по Баевскому	Значимое снижение (у 4 человек улучшение состояния)	Значимое снижение (у 3 человек улучшение, у 1 человека ухудшение состояния)
Частота сердечных сокращений	Незначительное снижение	Отсутствие изменений
Время сложной зрительно-моторной реакции	Нет изменений	Нет изменений
Умственная работоспособность (кольца Ландольта)	Незначительное снижение	Незначительное повышение
Коэффициент вегетативного баланса по Люшеру-Шипошу	Незначительное повышение	Незначительное повышение
Самочувствие, активность, настроение	Незначительное снижение	Незначительное снижение
Время реагирования на сигналы с предупреждением	Стабильные результаты у основной части обследуемых в диапазоне 0,41–0,46 сек.	Разнонаправленный характер реагирования
Время реагирования на сигналы без предупреждения	Стабильные результаты у основной части обследуемых в диапазоне 0,51–0,66 сек.	Разнонаправленный характер реагирования
ГЭД	Различий нет	Различий нет
Число пропусков сигналов	Число пропусков одинаковое, различие отсутствует	Число пропусков одинаковое, различие отсутствует

Таблица 1.18

**Сравнительная оценка результатов исследований зрительного анализатора
общего функционального состояния и умственной работоспособности
при выполнении моделируемой операторской деятельности в условиях
традиционного (люминесцентный светильник) и светодиодного
(светодиодная панель) источника света**

Показатели	Сравнительная оценка результатов исследований в условиях применения люминесцентного светильника и светодиодной панели	
	Люминесцентный светильник	Светодиодная панель
Диапазон аккомодации	Без изменения	Значительное снижение (у 4 человек)
Функциональная устойчивость к цветоразличению на красный сигнал	Общее значимое снижение устойчивости (у 4 человек)	Общее выраженное снижение устойчивости (у 6 человек)
Функциональная устойчивость к цветоразличению на зеленый сигнал	Общее снижение устойчивости (у 4 человек)	Общее выраженное снижение устойчивости (у 6 человек)
Индекс напряжения по Баевскому	Значимое снижение (у 1 человека повысился, у 6 человек снизился)	Тенденция к снижению (у 1 человека повысился, у 2 человек снизился)
Частота сердечных сокращений	Общее незначительное снижение (выраженное у 2 человек)	Отсутствие изменений (незначительное снижение у 2 человек)
Время сложной зрительно-моторной реакции	Общее незначительное увеличение времени реакции (у 3 человек значимое)	Общее значимое увеличение времени реакции (у 5 человек значимое)
Умственная работоспособность (кольца Ландольта)	Без изменений	Без изменений
Коэффициент вегетативного баланса по Люшеру-Шипошу	Общее незначительное повышение тонауса (у 4 человек выраженное)	Общее незначительное снижение тонауса (у 1 человека повышение, у 2 человек снижение)
Самочувствие, активность, настроение	Общее незначительное снижение (у 1 человека повышение, у 2 человек снижение)	Общее значимое ухудшение (у 6 человек снижение)
Время реагирования на сигналы с предупреждением	Худшее (большее) время реагирования, различие недостоверно	Лучшее (меньшее) время реагирования, различие недостоверно
Время реагирования на сигналы без предупреждения	Лучшее (меньшее) время реагирования, различие недостоверно	Худшее (большее) время реагирования, различие недостоверно
ГЭД	Лучшая (меньшая) разница во времени реагирования, различие недостоверно	Худшая (большая) разница во времени реагирования, различие недостоверно
Число пропусков сигналов	Большее число лиц, пропустивших по 1 сигналу (характер тенденции)	Большее число лиц, пропустивших по 2 сигнала (характер тенденции)

При использовании светодиодного светильника со стороны показателей зрительного анализатора наблюдались следующие изменения:

- значимое снижение функциональной устойчивости на красный сигнал;
- значимое снижение функциональной устойчивости на зеленый сигнал;
- незначительное снижение (характер тенденции) диапазона аккомодации.

При использовании лампы накаливания изменения показателей функционального состояния зрительного анализатора распределялись следующим образом:

- один значимо ухудшился;
- один остался без изменений;
- один незначительно улучшился.

Для светодиодного светильника, сравнимого с лампой накаливания, характер изменения этих же показателей распределялся так:

- два значительно ухудшились;
- один незначительно ухудшился.

Таким образом, функциональное состояние зрительного анализатора при использовании лампы накаливания достоверно выше (лучше).

Общее функциональное состояние в условиях применения традиционного (лампы накаливания) источника света характеризовалось:

- значимым снижением (улучшением) индекса напряжения по Баевскому;
- незначительным улучшением таких показателей, как частота сердечных сокращений, коэффициент вегетативного баланса по Люшеру – Шипошу;
- отсутствием изменений со сторон показателя времени сложной зрительно-моторной реакции;
- незначительным снижением (ухудшением) показателей умственной работоспособности (тест с кольцами Ландольта и методика САН).

Общее функциональное состояние в условиях применения светодиодного освещения (светодиодного светильника) по изученным показателям характеризовалось следующим образом:

- значительным снижением (улучшением) индекса напряжения по Баевскому;
- незначительным улучшением показателей коэффициента вегетативного баланса по Люшеру – Шипошу и умственной работоспособности по тесту с кольцами Ландольта;
- отсутствием изменений по показателю времени сложной зрительно-моторной реакции, частоты сердечных сокращений;
- незначительным снижением самочувствия, активности, настроения.

В условиях применения лампы накаливания характер изменений показателей общего функционального состояния следующий:

- один значимо улучшился;
- два улучшились незначительно;
- один остался без изменений;
- два незначительно ухудшились.

В условиях применения светодиодного освещения характер изменений показателей выглядит следующим образом:

- один значительно улучшился;
- два улучшились незначительно;

- два остались без изменений;
- один незначительно ухудшился.

Таким образом, при сравнительной оценке общего функционального состояния в исследованиях незначительное преимущество имеет светодиодное освещение.

Изменения работоспособности в условиях применения лампы накаливания носило следующий характер:

- значимая стабилизация (улучшение) времени реагирования на сигналы с предупреждением;
- значимая стабилизация (улучшение) реагирования на сигналы без предупреждения;
- отсутствие различий в показателе ГЭД;
- отсутствие различий в количестве ошибочных действий.

В условиях применения лампы накаливания показатели претерпели следующие изменения:

- два показателя значимо улучшились;
- два показателя сравнительно не изменились.

Работоспособность в условиях применения светодиодного светильника изменялась следующим образом:

Было показано:

- значимое разнохарактерное изменение времени реагирования на сигналы с предупреждением;
- значимое разнохарактерное изменение времени реагирования на сигналы без предупреждения;
- отсутствие различий в показателе ГЭД;
- отсутствие различий в количестве ошибочных действий.

В условиях применения светодиодного источника света (светодиодного светильника – фонаря) показатели работоспособности претерпели следующие изменения:

- два показателя значимо ухудшились;
- два показателя не имели значимых изменений.

Таким образом, традиционное освещение лампой накаливания в сравнении со светодиодным освещением по характеру изменения работоспособности имело общее значимое преимущество.

Позитивное изменение умственной работоспособности (менее выраженное ухудшение функционального состояния зрительного анализатора) в условиях применения лампы накаливания и незначительно лучший характер изменений показателей общего функционального состояния в условиях светодиодного освещения указывал на преимущество традиционного источника света.

В обобщающей таблице 1.18 приведены результаты и проведена сравнительная оценка 3-й и 4-й серий исследований, в которых изучалось состояние человека-оператора при выполнении дозированной умственной нагрузки в условиях люминесцентного и освещения светодиодной панелью. При традиционном освещении с использованием люминесцентного светильника изменение показателей функционального состояния зрительного анализатора имело следующий характер:

- диапазон аккомодации остался без изменений;
- функциональная устойчивость цветоразличения на красный сигнал значимо снизилась;
- функциональная устойчивость цветоразличения на зеленый сигнал значимо снизилась.

При освещении светодиодной панелью были зарегистрированы следующие изменения показателей функционального состояния зрительного анализатора:

- диапазон аккомодации значимо снизился;
- функциональная устойчивость цветоразличения на красный сигнал выражено снизилась;
- функциональная устойчивость цветоразличения на зеленый сигнал выражено снизилась.

При люминесцентном освещении изменения показателей функционального состояния зрительного анализатора распределялись следующим образом:

- два показателя значимо ухудшились;
- один показатель остался без изменения.

При освещении светодиодной панелью наблюдались следующие изменения показателей функционального состояния зрительного анализатора:

- значимое снижение диапазона аккомодации;
- выраженное снижение функциональной устойчивости цветоразличения на красный сигнал;
- выраженное снижение функциональной устойчивости цветоразличения на зеленый сигнал.

При освещении светодиодной панелью изменения показателей функционального состояния зрительного анализатора распределялись следующим образом:

- один показатель значимо ухудшился;
- два показателя выражено ухудшились (более значительно).

Таким образом, функциональное состояние зрительного анализатора при использовании светодиодного источника света (светодиодной панели) ухудшилось достоверно более значимо, чем при использовании традиционного (люминесцентного) источника света.

Общее функциональное состояние в условиях применения люминесцентного освещения претерпевает по отдельным показателям следующие изменения:

- значимое снижение (улучшение) индекса напряжения по Баевскому;
- незначительное снижение (нормализация) частоты сердечных сокращений,
- незначительное повышение (улучшение) коэффициента вегетативного баланса и
- незначительное снижение (улучшение) времени реакции;
- отсутствие изменений показателя умственной работоспособности (тест с кольцами Ландольта);
- незначительное увеличение времени реакции и снижение (ухудшение) самочувствия, активности, настроения.

Характер изменения показателей общего функционального состояния при люминесцентном освещении следующий:

- один показатель значимо улучшился;
- два показателя улучшились незначительно;
- один показатель остался без изменений;
- два показателя незначительно ухудшились.

Общее функциональное состояние обследуемых в условиях применения светодиодной панели претерпело следующие изменения:

- незначительное снижение индекса напряжения;
- отсутствие изменений со стороны частоты сердечных сокращений, умственной работоспособности по тесту с кольцами Ландольта;
- незначительное снижение коэффициента вегетативного баланса;
- значимое увеличение времени реакции и снижение показателей самочувствия, активности, настроения.

Характер изменений показателей общего функционального состояния при светодиодном освещении (светодиодной панели) следующий:

- один показатель улучшился незначительно;
- два показателя остались без изменения;
- один показатель незначительно ухудшился;
- два показателя ухудшились значительно.

Таким образом, общее функциональное состояние в условиях применения традиционного (люминесцентного) освещения вызывало менее негативные изменения, чем при использовании светодиодного освещения.

Изменение работоспособности в условиях применения традиционного (люминесцентного) освещения носило следующий характер:

- лучшее время реагирования на сигналы без предупреждения и лучший показатель ГЭД;
- худшее время реагирования на сигналы с предупреждением и большее число пропусков по одному сигналу.

При люминесцентном освещении изменения отдельных показателей работоспособности были следующими:

- два показателя улучшились;
- два показателя ухудшились.

Работоспособность в условиях светодиодного освещения (светодиодной панели) изменялась следующим образом:

- лучшее время реагирования на сигналы без предупреждения и лучший показатель числа пропущенных сигналов;
- большее время реагирования на сигналы без предупреждения, худший показатель ГЭД и большее число лиц, допустивших пропуск по 2 сигнала.

При светодиодном освещении изменения показателей работоспособности были следующими:

- два показателя улучшились;
- три показателя относительно ухудшились.

Таким образом, люминесцентное и светодиодное освещение практически одинаково сказалось на показателях работоспособности, тогда как изменения общего функционального состояния и функционального состояния

зрительного анализатора в условиях традиционного (люминесцентного) освещения претерпели менее выраженные негативные изменения.

Таблица 1.19

Психофизиологическая оценка эффективности применения светодиодного источника света (светодиодный светильник) для работников операторского труда (предварительные результаты) *

Показатели	Психофизиологическая оценка (баллы)	
	Лампа накаливания	Светодиодный фонарь
Диапазон аккомодации	+1	-1
Функциональная устойчивость к цветоразличению на красный сигнал	-2	-2
Функциональная устойчивость к цветоразличению на зеленый сигнал	-1	-3
Индекс напряжения по Баевскому	+3	+3
Частота сердечных сокращений	+1	0
Время сложной зрительно-моторной реакции	0	0
Умственная работоспособность (кольца Ландольта)	-1	+1
Коэффициент вегетативного баланса по Люшеру–Шипошу	+1	+1
Самочувствие, активность, настроение	-1	-1
Время реагирования на сигналы с предупреждением	+2	-2
Время реагирования на сигналы без предупреждения	+2	-2
ГЭД	0	0
Число пропусков сигналов	0	0
Суммарная оценка	+5	-5

Таблица 1.20

Психофизиологическая оценка эффективности применения светодиодного источника света (светодиодная панель) для работников операторского труда (предварительные результаты) *

Показатели	Психофизиологическая оценка (баллы)	
	Люминесцентный светильник	Светодиодная панель
Диапазон аккомодации	0	-1
Функциональная устойчивость к цветоразличению на красный сигнал	-2	-3
Функциональная устойчивость к цветоразличению на зеленый сигнал	-2	-3
Индекс напряжения по Баевскому	+2	+1
Частота сердечных сокращений	+1	0
Время сложной зрительно-моторной реакции	-1	-2

Показатели	Психофизиологическая оценка (баллы)	
	Люминесцентный светильник	Светодиодная панель
Умственная работоспособность (кольца Ландольта)	0	0
Коэффициент вегетативного баланса по Люшеру – Шипошу	+1	-1
Самочувствие, активность, настроение	-1	-2
Время реагирования на сигналы с предупреждением	-1	+1
Время реагирования на сигналы без предупреждения	+1	0
ГЭД	-2	-3
Число пропусков сигналов	-1	-1
Суммарная оценка	-2	-9

* Условные обозначения:

0 – отсутствие изменений;

-1 – наличие негативной тенденции;

-2 – значимые негативные изменения;

-3 – выраженные негативные изменения;

+1 – наличие позитивной тенденции;

+2 – значимые позитивные изменения;

+3 – выраженные позитивные изменения.

В итоговых таблицах 19 и 20 приводятся результаты балльной оценки характера и выраженности изменения отдельных показателей изученных источников света. При суммации оценок с учетом их знака источники освещения получили следующие баллы:

- лампа накаливания – +5 баллов;
- светодиодный светильник – -5 баллов;
- люминесцентный светильник – -2 балла;
- светодиодная панель – -9 баллов.

Более корректную балльную оценку каждого источника можно получить, если сравнивать средние баллы значений тех показателей, которые претерпели достоверные изменения. Для лампы накаливания таких показателей 4, суммарная оценка их +5 баллов, средний балл равен +1,3 балла. Для светодиодного светильника число достоверно изменившихся показателей 5, суммарная оценка их – 6 баллов, средний балл равен – 1,2. Для люминесцентного светильника число показателей, достоверно изменивших свои значения, только 3, суммарная оценка их – 2 балла, отсюда средний балл равен – 0,7. При применении светодиодной панели достоверно изменились 4 показателя при суммарной балльной оценке – 10, отсюда средний балл равен – 2,5.

Таким образом, состояние человека-оператора, как показали предварительные результаты выполненных исследований на ограниченном контингенте обследуемых, при использовании лампы накаливания претерпевает слабое положительное изменение. При использовании светодиодного и люминесцентного светильников было отмечено слабое негативное изменение

при большей выраженности этой тенденции у светодиодного светильника. Применение светодиодной панели сопровождалось значимыми негативными изменениями.

Как следует из первой серии исследований по сравнительной оценке применения традиционных (лампа накаливания и люминесцентное освещение) и светодиодных (светодиодные фонарь и панель) источников света при использовании первых отмечались менее неблагоприятные изменения функционального состояния и работоспособности человека оператора. Учитывая, что при изучении влияния светодиодных источников света было обнаружено их негативное влияние, касающееся показателей функционального состояния зрительного анализатора – снижение аккомодационной способности и функциональной устойчивости цветоразличения, показателей операторской работоспособности – снижению готовности к экстренному действию и стабильности реагирования на сигналы, а также то, что значительная часть результатов несла характер тенденций и получена на ограниченном контингенте обследуемых (10 человек) с большим возрастным диапазоном (30–60 лет), все это не позволяет сделать окончательный вывод о преимуществе использования традиционных источников света и разработать требования к условиям применения светодиодных источников света на железнодорожном транспорте для работ в профессиях, связанных с безопасностью движения. Для решения такой важной задачи необходимо провести исследования с участием достаточных по численности профессиональных контингентов и, прежде всего, машинистов (локомотивов, мотор-вагонного подвижного состава и специального самоходного подвижного состава) и работников диспетчерско-операторской группы (поездных диспетчеров).

Таблица 1.21

Обобщенные результаты исследований ВНИИЖТ

Показатели	Психофизиологическая оценка (баллы)			
	Лампа накаливания с белым плафоном	Люминесцентный светильник	Светодиодный фонарь с микролинзовым рассеивателем	Светодиодная панель с микролинзовым рассеивателем
Оценка проводилась по параметрам утверждённой методики	Плюс 5	Минус 2	Минус 5	Минус 9

Примечание. Плюс — позитивные изменения (тенденции); минус — негативные изменения (тенденции)

Сравнение штатного светильника с лампой накаливания с люминесцентным и светодиодным светильниками, которые имели одинаковые рассеиватели и габаритные размеры 575x575 мм, показало снижение функциональной устойчивости к цветоразличению зеленого и красного сигналов,

а также в увеличении времени реагирования при сложной зрительно-моторной реакции и значимом снижении готовности к экстренному действию (монотонноустойчивости) обследованных лиц.

Экспертное сообщество продолжает комплексные исследования влияния синего света на фото-оптическую систему зрительного анализатора и циркадные ритмы человека [1.523, 1.524].

16 марта 2013 года, в Нью-Йорке, США состоялся круглый стол «Синий свет опасности: новые знания, новые подходы к сохранению здоровья глаз», в котором приняли участие ведущие специалисты – Кэтлин Е. Вест, Майкл Р. Яблонски, Бенджамин Уорфилд, Кейт С. Сесил, Мэри Джеймс, Мелисса А. Эйерс, Джеймс Майда, Чарльз Боуэн, Дэвид Х. Sloney, Марк Д. Rollag, Джон П. Ханифин, Джордж С. Brainard, которые выработали рекомендации по решению данной проблемы. Было показано, что наибольший ущерб возникает после воздействия четырех 10-нм поддиапазонов в пределах сине-фиолетового спектра между 415 нм и 455 нм. Морфологические изменения в клетках ПЭС (клеточное округление, потеря слияния и уменьшение плотности) наблюдались через 6 часов после воздействия (рис. 1.214).

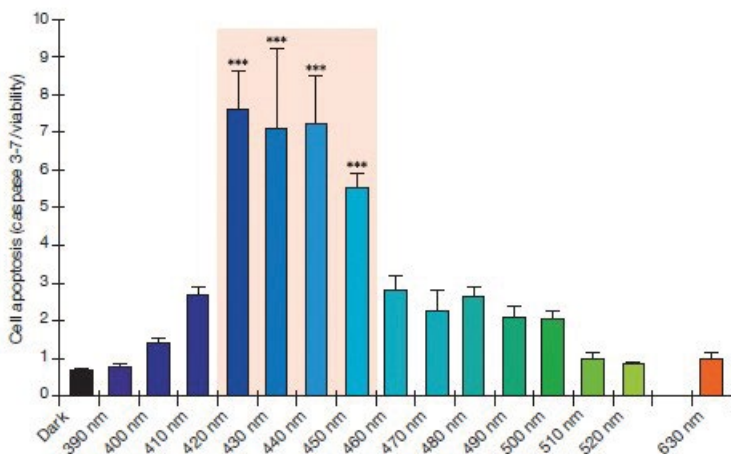


Рис. 1.214. Фототоксическое действие (апоптоз) спектра на клетки ПЭС $P < 0,001$ по сравнению с контрольными клетками, находившимися в темноте [1.525]

Выше указанные эксперты указали, что синий свет в коротковолновой части спектра между 446 и 477 нм подавляет мелатонин в организме человека. Нарушенные циркадные ритмы и потеря сна были описаны как факторы риска для астронавтов НАСА и работников управления, а также гражданских лиц. Такие нарушения могут привести к нарушению бдительности и снижению производительности. Эксперты определили, что основными методами защиты являются методы, ограничивающие уровни синей опасности путем применения очков с желтыми фильтрами. Эти эксперты считали, что именно потребитель должен преобразовывать спектр светодиодного освещения, а не изготовитель белых светодиодов.

1.9.4 Оценка избыточной дозы синего света в спектре светодиодных ламп

Для оценки избыточной дозы синего света в спектре светодиодных ламп воспользуемся результатами, изложенными в отчете «CELMA-ELC LED WG (SM) 011 ELC CELMA position paper optical safety LED lighting_Final_July2011» [1.519]. В этом отчете приведена сравнительная оценка спектров светодиодных ламп и солнечного света с цветовой температурой 6500 К, при которой необходимо применять гигиенические методы защиты. Результаты этой оценки приведены на рис. 1.215.

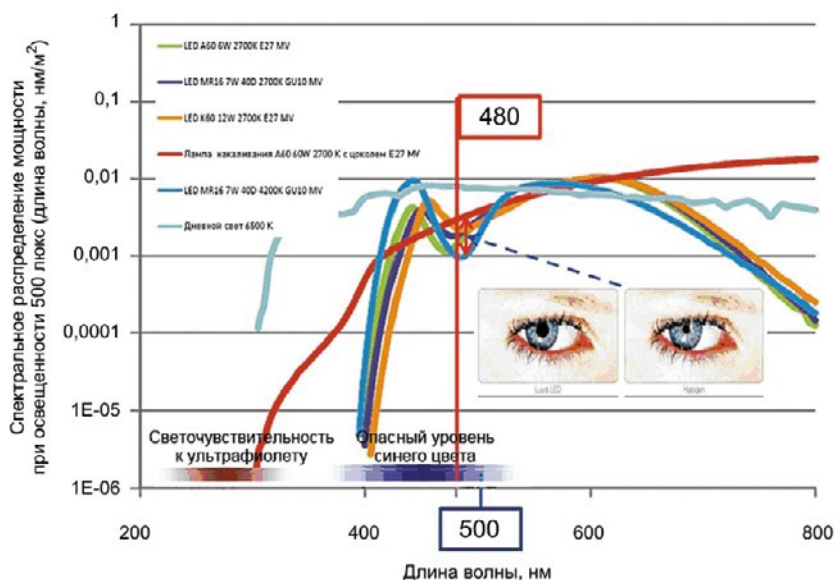


Рис. 1.215. Сравнение спектров солнечного спектра, лампы накаливания и светодиодных ламп

Из рисунка видно:

- светодиодная лампа ($T_k = 4200\text{ K}$) имеет выброс на 460 нм больше, чем у солнечного света (6500 К);
- в спектре света светодиодной лампы ($T_k = 4200\text{ K}$) провал на 480 нм на порядок (в 10 раз) больше, чем в спектре солнечного света (6500 К);
- в спектре света светодиодной лампы ($T_k = 4200\text{ K}$) провал на 480 нм в разы больше, чем в спектре света лампы накаливания ($T_k = 2700\text{ K}$).

Наличие избыточной дозы синего света создает предпосылки для подавления мелатонина в ночное и дневное время суток, а также оказывает негативное воздействие на зрительный анализатор человека.

1.9.5. Особенности восприятия цвета в искусственной световой среде [1.526]

Природа разговаривает с человеком языком цвета окружающей среды. На первый взгляд, может показаться, что цвет – это очень просто. Но на самом деле цветовые сигналы несут определенную информацию и имеют

огромное влияние на нашу жизнь, меняя настроение, эмоции, самочувствие. Порой цвет руководит самой жизнью – при неадекватном распознавании цвета предупреждающих и запрещающих сигналов на транспорте. Цвет – это язык нашей жизни. Мы не всегда умеем его переводить, но внутренне чувствуем и инстинктивно действуем по его законам. Наши реакции на цвет запрограммированы в наших генах, любовь к определенным цветам меняется в зависимости от давления внешнего мира и нашего ощущения себя. Предмет зрения – видимое, а оно цветное. Чем больше цветов и оттенков, тем больше информации можно получить о видимом. Достоверность информации определяется спектром облучаемого света. Лучшим источником облучения является Солнце. На базе отраженного света в зрительном анализаторе формируется цветной образ предмета. В настоящее время среди офтальмологов и светотехников получила распространение парадигма, основанная на трехцветной гипотезе Юнга – Гельмгольца для описания модели распознавания цвета [1.527].

Согласно этой гипотезе для наилучшего распознавания цветное изображение должно быть сфокусировано в ямочку, в которой находится наибольшая плотность колбочек. Для этого зрачок глаза должен адекватно реагировать на спектр освещения, в котором находится цветной предмет. При светодиодном освещении диаметр зрачка глаза раскрыт больше, чем при солнечном свете, что не обеспечивает 100%-го распознавания цвета предмета [1.528–1.530, 1.531, 1.532–1.534] в условиях светодиодного освещения.

Учитывая влияние спектра света светодиодов на функции глаза и здоровье машинистов, специалисты Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожной гигиены (ВНИИЖГ) Роспотребнадзора провели исследования по влиянию рассеянного светодиодного и люминесцентного света и света от штатных ламповых светильников на психофизиологическое состояние человека. Эти исследования выполнялись по заданию ОАО «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»). Рабочие места экспериментальной установки ВНИИЖГ и все светильники были аттестованы ведущими техническими специалистами ВНИИЖГ и ОАО «РЖД». Выполненные исследования по оценке влияния светодиодного освещения на функциональное состояние и работоспособность железнодорожников с использованием утвержденных методик профессионального отбора выявили изменения негативного характера. Это выразилось в некотором снижении функциональной устойчивости к цветоразличению зеленого и красного сигналов, а также в увеличении времени реагирования сложной зрительно-моторной реакции и значимом снижении готовности к экстренному действию (монотонноустойчивости) обследованных лиц. Специалисты Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет» в своих исследованиях также отмечали, что у волонтеров в возрасте 20–25 лет ухудшалось свето- и цветовосприятие в конце проведенного исследования по оценке влияния светодиодного освещения на зрительный анализатор человека. Эта особенность важна для ряда профессий – хирургов, водителей авто- и мототранспорта, диспетчеров и машинистов поездов железных дорог, операторов атомных электростанций, а также специальных

объектов Министерства обороны. Неадекватное распознавание цвета сигналов увеличивает риски возникновения нештатных ситуаций различной степени тяжести для человека и населения в целом (при авариях на атомных электростанциях).

Поэтому проблема восприятия цвета световых сигналов является актуальной. Для пешеходов и водителей городского транспорта вполне достаточно правильно реагировать на сигналы трех цветов: красного, желтого и зеленого [1.535, 1.536, 1.537].

В этих работах рассматриваются сигналы красного света с длиной волны значительно меньшей, чем 650 нм. В своей работе M. J. Flannagan, D. F. Blower и J. M. Devonshire [1.537] определяют красный свет с координатами цветности – 0,66; 0,34, это соответствует длине волны менее 610 нм). В работе Ju. Luoma et al. [1.536] красный свет определяют с координатами цветности – 0,715; 0,283, это соответствует длине волны менее 636 нм. Время реакции на красный свет с длиной волны 636 нм [1.536] меньше, чем на красный свет 610 нм. Современные красные светодиоды с доминирующей длиной волны в спектре излучения 625–630 нм обладают световым потоком, в 2–3 раза большим, чем светодиоды с длиной волны 640–645 нм, но их координаты цветности не входят в существующую нормируемую область цветности [1.535]. В светотехнике определены световые и цветовые пороги для источника света малых размеров. Из данных соотношений светового и цветового порогов следует, что начиная с длины волны 650 нм и определенного уровня освещенности человек видит свет и сразу определяет его цвет (рис. 1.216).

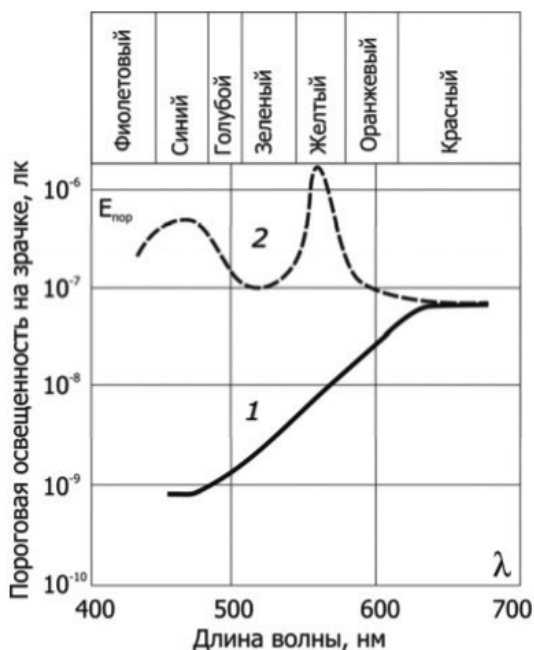


Рис. 1.216. Световой (1) и цветовой (2) пороги для источника света малых размеров

Этот факт трудно объясним, исходя из планарной гипотезы Юнга – Гельмгольца [1.527], но наглядно объясняется при *применении волоконно-оптического подхода* к функционированию системы «клетка Мюллера – колбочка». В 2007 г. исследователи под руководством Кристиана Франзе, сотрудника Кембриджского университета, обнаружили, что один вид глии сетчатки, известный как клетки Мюллера, функционирует в качестве оптических волокон, направляя свет к фоторецепторам. По-прежнему не было найдено ответа: как получилось, что эти природные оптические волокна поддерживают два вида фоторецепторов: палочки, которые функционируют в условиях слабого освещения, и колбочки, которые помогают нам видеть при ярком дневном свете. Они собирают свет с передней поверхности сетчатки и проводят его к фоторецепторам, размещенным на ее задней поверхности, подобно оптоволоконному кабелю. Тем самым они скорректировали общепринятую оптическую систему зрительного анализатора. Клетки Мюллера функционируют в качестве оптических волокон, направляют и концентрируют желто-зеленый спектр света, к которому многие колбочки имеют максимальную чувствительность. Синий свет просачивается из клеток Мюллера, чтобы активировать палочки. Желтое пятно из всего синего спектра вырезает волны с длиной волны 450–460 нм. Клетки Мюллера содержат фокус для сбора и приема рассеянного света от точки пространства, изменяя по длине коэффициент преломления света. Ученые Израильского технологического института в Хайфе установили, что клетки Мюллера работают как оптическое волокно [1.537].

При этом клетки Мюллера, освещенные белым светом, пропускают длинные волн в зелено-красной области для двух типов колбочек, а сине-фиолетовый свет просачивается через сетчатку, чтобы активировать палочки. В клетке Мюллера максимальная концентрация света отмечается в желто-зеленой части светового спектра при длине волны 560 нм [1.537].

Сотрудники университета под руководством Amichai Labin рассмотрели увеличенную сетчатку морской свинки при конфокальной микроскопии и обнаружили, что каждая Мюллеровская клетка сочетается с индивидуальной колбочкой, и почти 90% всех колбочек были связаны с этими клетками. Эффект оптического волокна может увеличить количество фотонов, достигающих одной колбочки, почти в 11 раз. О колбочках и палочках написано много работ, но в них не рассматривалась оптическая схема попадания света на фоточувствительные опсины и его проникновение в тело клеток пигментного эпителия. Существуют гипотезы о принципах работы колбочек и палочек, внешних частей их мембраны, которые могут быть рассмотрены как физические аналоги волновода конической и цилиндрической формы в среде прозрачного тела глаза (жидкая среда) [1.538, 1.539].

Это дает возможность пересмотра традиционных взглядов на зрительный процесс. По Медейросу, внешняя доля мембраны колбочки может работать как конический волновод [1.539]. Широкое сечение конуса встречает входящие лучи, которые воспринимаются мембраной как конусным волноводом в жидкой среде прозрачного тела глаза (жидкая среда глаза). В этой среде порядок фокусировки лучей противоположен порядку фокусировки лучей в оптической системе в воздухе (согласно хроматической аберрации они фокусируются в зависимости от длины волны). Их фокусировка до вхо-

да в мембрану и вход в нее противоположны, что регулируется спецификой работы конической формы мембраны – как конического волновода в составе колбочки, где стенки обладают различной отражательной способностью и разными показателями преломления, что определяет порядок входа лучей: красных → зеленых → синих (для системы трихроматизма цветного зрения), например у приматов и человека. В работе приведены результаты моделирования распределения спектра света по длине оптического конуса и по оптически прозрачным стенкам колбочки. Спектральные характеристики клеток Мюллера хорошо коррелируют с кривой видности глаза [1.539]. Исследования в этом направлении продолжаются. Данный подход наглядно показывает, как свет попадает на наружные сегменты палочек и колбочек и в тело клеток пигментного эпителия, а также эта модель позволяет оценить восприятие цветов различных сигналов и частности по времени задержки распознавания. Оценка времени задержки восприятия света очень важна для водителей автотранспорта и машинистов поездов. Существуют экспериментальные результаты для задержки времени (в миллисекундах), которые могут быть выражены для любой длины волны, λ (в миллимикронах), относительно перцепционной задержки 650 нм красного света, что приблизительно может быть: $T_{\text{задержка}}(\text{мс}) = 97,5 - 0,15 \lambda$ (нм). Это дает нулевую задержку (мс) для красного света 650 нм и может составлять задержку до 30 мс для самой короткой длины волны света. Данные показывают, что существует временная дисперсия (задержка) между синим и красным светом. Например, синий (450 нм) свет воспринимается с задержкой около 30 мс от красного (650 нм) света. Систематизация новых знаний о восприятии цвета по 3D-системе «клетка Мюллера – колбочка» позволяет уточнить накопленные знания по планарной трехцветной гипотезе Юнга – Гельмгольца в части спектрального разложения белого света и временных задержек по восприятию красного, зеленого и синего света.

Это имеет огромное прикладное значение для обеспечения безопасности движения и снижения негативного влияния окружающей среды на здоровье человека. По фактам проезда под красный сигнал принимаются соответствующие административные меры, кроме тех, которые обеспечивают 100%-е распознавание красного сигнала с учетом строения глаза человека. Например, для железнодорожного транспорта причины подробно изложены в «Памятке для локомотивной бригады по предупреждению проездов светофоров с запрещающим показанием», которая утверждена 11 января 2011 г. При увеличении скорости движения с 40 до 80 км/ч время реакции машиниста возрастает почти в 2 раза, а ведь многие из них ведут поезда со скоростью 100 км/ч и более и постоянно находятся в напряжении.

Ночью время реакции возрастает почти в 2 раза по сравнению со среднесуточным уровнем. Кроме того, его увеличению в 1,3 раза способствует последствие алкоголя и примерно настолько же – условия работы на тепловозе. Более чем вековые наблюдения врачей подтверждают, что курение неблагоприятно влияет на зрение. Под воздействием токсичных веществ, содержащихся в табачном дыме, у заядлых курильщиков нередко возникает табачная амблиопия, которая способствует ослаблению восприятия красного цвета, снижению остроты зрения, появлению пятен в поле зрения.

А это все недопустимо для машиниста по условиям обеспечения безопасности движения. В данной статье не рассматривается механизм ослепления за счет изменения оптической геометрии клеток Мюллера при избыточной дозе света (красного, синего), хотя хорошо известно, что ослепление увеличивает время реакции в два раза и более.

1.9.6. Уличная световая среда и ее влияние на здоровье человека

История формирования уличной световой среды наиболее активно развивается в настоящее время. Первая информация, касающаяся вопроса искусственного освещения городских улиц, относится к началу XV века. Чтобы справиться с непроглядной тьмой в столице Великобритании, в 1417 году лондонский мэр Генри Бартон издал распоряжение вывешивать зимними вечерами на улицах фонари. Первые уличные фонари, разумеется, были более чем примитивны и просты, ведь в них применялись самые обычные свечи и масло. В начале XVI века французы переняли опыт англичан, и жителей Парижа также обязали держать светильники у окон, выходящих на улицу. При короле Людовике XIV в Париже стали появляться многочисленные огни от уличных фонарей. А уже к 1667 году король издал указ, касавшийся вопросов уличного освещения, благодаря чему Людовика назвали «блестящим». Что касается России, то первое упоминание об уличном освещении появилось при Петре I. В честь выдающейся победы над шведами, в 1706 году Петр I повелел повесить фонари на всех фасадах домов около Петропавловской крепости. Царю и горожанам данное мероприятие пришлось по душе, и фонари начали зажигать все чаще – на различные праздники, и тем самым было положено начало уличному освещению города [1.540].

Позже, в 1718 году на петербургских улицах стали использоваться стационарные фонари, а спустя 12 лет императрица Анна распорядилась относительно их установки в Москве. В 1730 году она подписала указ: «На Москве в Кремле, в Китае, в Белом и в Земляном городах и в Немецкой слободе по большим улицам для зимних ночей сделать из полицмейстерской канцелярии и поставить на столбах фонари стеклянные, один от другого на 10 сажень, в которых вместо свеч зажигать масло конопляное с фитилем в какие ночи, когда о том в полицию приказ от Двора Ее Императорского Величества будет» [1.541].

Проект первого уличного масляного фонаря принадлежит Жану Батисту Леблону, который был талантливым архитектором и «искусным техником многообразных художеств». Леблон имел большой авторитет во Франции. Осенью 1720 года первые подвесные светильники, которые изготовили по его чертежам на Ямбургском стекольном заводе, были зажжены на набережной Невы возле Петровского Зимнего дворца. Фонари представляли из себя следующую конструкцию: на деревянных столбах, имевших белые и синие полосы, вывешивались застекленные светильники на металлических прутьях. Сжигалось в них конопляное масло. Именно с этого момента и появилось регулярное уличное освещение в России. Технология уличного освещения постепенно развивалась, как в России, так и за рубежом. Значительно улучшить яркость освещения удалось благодаря использованию керосина, однако самую настоящую революцию в уличном освещении ознаменовало появление

в XIX веке первых газовых фонарей. Изобретатель газового освещения англичанин Уильям Мердок долгое время подвергался критике и даже насмешкам. Известный писатель Вальтер Скотт как-то в письме одному из приятелей заметил: «какой-то сумасшедший недавно предложил освещать Лондон дымом». Тем не менее, несмотря на предвзятое отношение к нему, Мердок более чем успешно смог продемонстрировать на практике все многочисленные преимущества газового освещения. В 1807 году первой улицей, где были установлены фонари новой конструкции, стал Пелл-Мелл. Довольно скоро газовые фонари покорили и все европейские столицы [1.540].

Что касается электрического освещения, то его зарождение связано самым непосредственным образом с именами известного русского изобретателя Александра Лодыгина и американца Томаса Эдисона. Так, в 1873 году Лодыгин разработал оригинальную конструкцию угольной лампы накаливания, за что и получил Ломоносовскую премию от Петербургской академии наук. Подобные лампы в скором времени начали использовать для освещения Петербургского Адмиралтейства (лампы устанавливали в специальные медные светильники, выполненные в старинном стиле). Спустя несколько лет Эдисон предложил усовершенствованную лампочку, которая давала более яркий свет и была при этом значительно дешевле в производстве. С появлением такой электрической лампочки газовые фонари в скором времени полностью вышли из употребления, уступив свое место более современному и надежному электрическому освещению.

В 1880 году засияли первые электрические фонари. Так, при помощи дуговых ламп в 1883 году в день Священного коронования Александра III была освещена площадь вокруг храма Христа Спасителя. После столь пышных празднеств многие москвичи стали подавать генерал-губернатору прошения об устройстве электрического освещения в своих домах. Но осветить жилища они смогли только 30 лет спустя, когда была открыта первая центральная электростанция на Раушской набережной Москвы. Поворотным в развитии уличного освещения стал 1975 год: на проспекте Карла Маркса (ныне Охотный ряд) и площади Дзержинского (Лубянке) было установлено 460 импортных консольных светильников с натриевыми лампами высокого давления. Их необычный оранжевый свет надолго стал визитной карточкой российской столицы. С 1994 года активно реализуется программа «Формирование световой среды Москвы». Столичный облик города призвана подчеркнуть специально разработанная система архитектурного освещения: по вечерам в различные тона окрашиваются храмы, монастыри, театры, вокзалы, мосты, высотные здания, башни в Останкине и на Шаболовке [1.541].

Из истории эволюции уличного освещения следует, что вопросами освещения всегда занимались первые лица государства. И эта традиция не изменилась и в настоящее время (рис. 1.217).

С 2009 года действует решение Президентской комиссии по модернизации экономики, по переводу страны с ламп накаливания сразу на светодиоды, минуя многолетний европейский опыт по внедрению энергосберегающих ламп. Государственную политику в области освещения городов и населенных пунктов в сельской местности реализуют муниципальные власти этих населенных пунктов.



Рис. 1.217. Первые лица светотехнических держав проявляют интерес к светодиодным светильникам при посещении ими ведущих предприятий

В настоящее время освещение улиц дополняется архитектурным, рекламным освещением и освещением от огромных информационных экранов. Все это и составляет световую среду улиц городов. В основе всех этих источников света используются светодиоды, которые и определяют унификацию уличного освещения. Учитывая огромное влияние света и цвета на человека, к программам по освещению улиц городов их муниципальные власти стали привлекать медицинские организации и учреждения.

Пример внедрения светодиодного освещения на улицах городов Англии

В 2013 году муниципальный совет Траффорда (англ. Metropolitan Borough of Trafford) – муниципальный район в Большом Манчестере, принимает решение о замене системы освещения на натриевых лампах на светодиодное освещение. Для этой замены была составлена муниципальная программа по переходу на светодиодные источники света. Совет несет ответственность за содержание и освещение 806 километров шоссе и городской инфраструктуры, в том числе системы уличного освещения, которая состоит примерно из 27 127 светильников. Совет разработал надежный бизнес-план для внедрения светодиодного освещения в течение двух лет в сочетании с центральной системой управления – «Проект освещения улиц. Инвестиционная программа» [1.542].

Программа была вынесена на общественное обсуждение, в ходе которого дипломированный инженер г-н Симон Николай, член местного природоохранного общества, обвинил совет в недостаточной прозрачности проекта, что наносит урон местной демократии. Он сказал: «Это дорогое решение для несуществующей проблемы. У нас уже есть прекрасная система уличного освещения. Светодиодное освещение – это непроверенная новая технология». Трата 8 миллионов фунтов на установку и модернизацию более 26000 светильников на светодиодные вызвало бурные общественные дебаты. В результате дискуссии корпоративный директор Траффордского Совета по охране окружающей среды Питер Молинье заявил: «Совет поручил провести независимую оценку уровня воздействия светодиодного освещения на здоровье человека, которая будет частью доклада о предлагаемом инвестировании уличного освещения. Это решение было принято для решения вопросов, поднятых местным жителем о потенциальных последствиях для

здоровья возможного использования светодиодных фонарей освещения. Члены Траффордского Совета обратились к специалистам Центра оценки воздействий на здоровье Института медицины труда (ИОМ). Этот центр является основным независимым центром научных знаний в области охраны окружающей среды, здравоохранения, гигиены и безопасности в Англии. В июле 2013 г. сотрудники этого центра представили итоговый документ «Trafford LED Street Lighting Programme Health Impact Assessment HIA REPORT FINAL», который был передан Траффордскому Совету. Специалисты данного Центра решили найти сбалансированную оценку между отрицательным и положительным воздействием светодиодного освещения на здоровье человека. С этой целью они проанализировали результаты исследований специалистов ряда медицинских центров и ассоциаций.

– Последствия для здоровья искусственного света. (2012). Научный комитет по новым и вновь выявленные Риски для здоровья (SCENHIA). Европейская комиссия.

– Побочные эффекты ночного освещения. (2012). Совет по науке и здравоохранению. Американская медицинская ассоциация.

– Воздействие на здоровье освещения систем, использующих светодиоды (LED). (2010). Мнение Французского агентства по продовольствию, окружающей среде и охране здоровья и безопасности (АНСЕС).

– Искусственный свет в окружающей среде. (2009). Королевская комиссия по проблемам загрязнения окружающей среды. Великобритания.

– Влияние наружного освещения на человека и природу. (2000). Совет Здоровья Нидерландов. Публикация № 2000/25E.

– Биологическое действие света. (Год издания неизвестен, возможно, 2008).

– Метрология для твердотельного освещения. Европейская программа исследований метрологии. Программа EURAMET (Европейская ассоциация национальных метрологических институтов).

– Свет и здоровье человека: обзор влияния оптического излучения на зрительные, циркадный, нейроэндокринные и нейроповеденческие ответы (2008).

– Зрительные световые эффекты и их влияние на физиологию человека и поведение. (2003). Международная комиссия по освещению.

Рассмотрев результаты исследований, специалисты Центра сделали лояльные выводы в пользу светодиодного освещения и предложили свои рекомендации для смягчения негативных последствий искусственного и светодиодного освещения:

– белый свет предпочтительно использовать с коррелированной цветовой температурой 3 500 К и с регулируемым диапазоном от 2 800 до 5 000 К;

– индекс цветопередачи должен быть больше, чем 80;

– светильники должны светить строго вниз;

– светодиоды источника света не должны быть видны водителям, велосипедистам или пешеходам, если они не находятся непосредственно под светильником;

– удобное освещение: отражение на земле должно иметь овалы перекрытия с широкой диаграммой направленности;

- управление должно обеспечивать возможность регулировки освещенности от 65 до 16 люкс и цветовой температуры от 2800 до 3500 градусов К;
- нужно стремиться сделать светодиодные системы освещения с учетом архитектурной среды и городского пейзажа в жилых районах;
- нужно стремиться использовать существующее местоположение уличных фонарей и высоты светильников и избегать изменения расстояния между фонарями или их перемещения к границам домохозяйств.

Отчет также содержал предложения по дальнейшему мониторингу влияния светодиодного освещения на жителей Trafford. Для этой цели были разработаны специальные опросные листы для жителей муниципального образования и предусмотрен процесс их обработки и анализа. 22 января 2014 года Trafford Council рассмотрел отчет Investment in Street Lighting, который содержал результаты и рекомендации Центра оценки воздействия на здоровье Института медицины труда (ИОМ). В ходе рассмотрения отчета опять состоялось общественное обсуждение проекта.

При этом г-н Симон Николай подготовил письменное обращение, в котором он обратил внимание на недавнее исследование из США, которое указывало, что яркий белый свет может нарушить циркадные ритмы и влиять на работу мозга и, таким образом, ухудшать качество сна. Траффордский Совет отложил проект во второй раз после угрозы подать на него в суд. Вопрос применения светодиодного освещения территории муниципального образования Траффорд остался открытым.

Лунный и светодиодный свет [1.543]

В ночное время основным источником естественного освещения является Луна, которая переотражает солнечный свет. Возникает вопрос: «Искусственный уличный свет 4000 К похож на лунный свет?». Через несколько лет после того, как лампа накаливания Эдисона очаровала мир, итальянский поэт Филиппо Маринетти заявил: «Давайте уберем лунный свет!». И сегодня некоторые считают, что могут создать искусственный лунный свет. Сегодня некоторые представители города говорят, что свет светодиодных уличных фонарей с цветовой температурой 4000 К похож на лунный свет и, следовательно, «естественный свет». Но так ли это на самом деле?

Когда мы говорим о влиянии света на здоровье и экологию, нам необходимо учитывать длины волн. Коротковолновый свет, особенно синий, ночью нарушает наши циркадные ритмы (включая ритм всех животных и растений в этом районе) и привлекает множество животных. Как правило, можно сказать, что чем выше содержание синего светодиода, тем выше ССТ. Поэтому сегодняшние рекомендации, например от Американской медицинской ассоциации, рекомендуют использовать светодиоды с ССТ не выше 3000 К.

Вы можете иметь два источника света с разными SPD, но с одним и тем же ССТ. Светодиод 4000 К имеет высокое содержание синего света и очень мало красного. У лунного света мало синего света, но много света в желто-оранжево-красном диапазоне. Они имеют одинаковую цветовую температуру, но лунный свет мало влияет на наш циркадный ритм [1.543]. На рис. 1.218 приведены спектры лунного и светодиодного света.

Светодиод со спектром, наиболее похожим на лунный свет, также известен как янтарный светодиод, который излучает теплый оранжевый свет с 2200 К. Так что нет, светодиодный свет с 4000 К не похож на лунный свет [1.543].

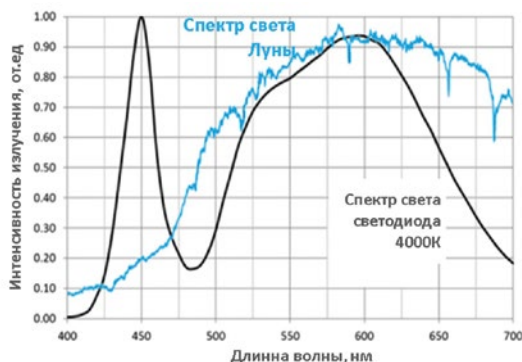
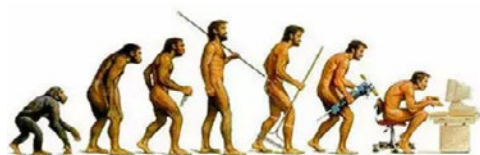


Рис. 1.218. Сравнение спектров лунного света (красная линия) и светодиода 4000 К (синяя линия), а пунктиром обозначена кривая видности. Courtesy of John Barentine [1.543]

Мы только начинаем понимать, как лунный свет влияет на жизнь на Земле. Тем не менее мы должны предположить, что обеспечение постоянного лунного света, ярче реальной Луны, будет влиять на многие формы жизни. Всякий раз, когда мы используем свет в ночное время, мы должны убедиться, что он является только ярким по мере необходимости и хорошо экранированным. Мы всегда должны учитывать, действительно ли нам нужен свет в данном месте, и мы всегда должны помнить, каким бы искусственным ни был «подобный природе» свет, искусственный свет ночью никогда не может быть естественным.

Раздел 1.10. Источники отображения информации

Если глаза – это зеркало души, то монитор – окно в компьютерное зазеркалье



Источники отображения информации создают дополнительную нагрузку на зрительный анализатор современного человека и могут влиять на его здоровье.

К этим дополнительным источникам света относятся:

- подсветка мониторов персональных компьютеров;
- светофоры и световые сигналы и экраны.

1.10.1. Подсветка мониторов персональных компьютеров и ее влияние на работу зрительного анализатора

Компьютерные технологии широко внедряются в нашу домашнюю и профессиональную среду. В современных семьях с детьми школьного воз-

раста имеется доступ к компьютерам, которые подключены к интернету. Родители поощряют детей, чтобы они самостоятельно изучали компьютеры.

Кроме того, все больше и больше школьников и студентов начинают использовать сайты «Единой среды виртуального обучения».

На рис. 1.219 приведены данные повышения доли семей Сингапура, имеющих доступ к компьютерам.



Рис. 1.219. Доли семей Сингапура, имеющих доступ к компьютерам

Не только повышается доля семей со школьниками, имеющими доступ к компьютерам, но и растет количество компьютеров в семьях.

На рис. 1.220 приведена динамика изменения количества компьютеров в семьях Сингапура.

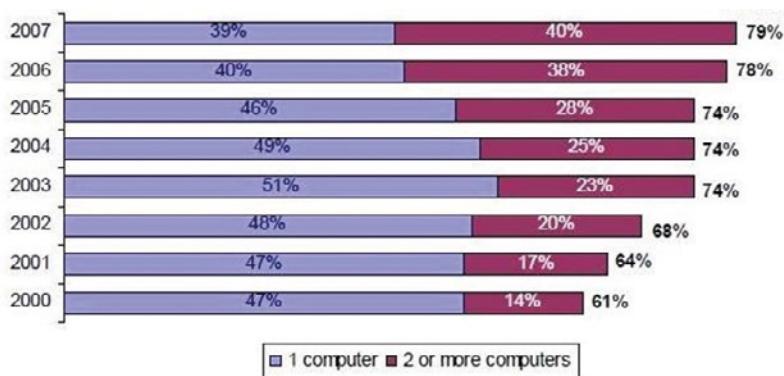


Рис. 1.220. Динамика изменения количества компьютеров в семьях Сингапура

Из представленных данных видно, что растет количество семей, в которых имеется два и более компьютеров. При этом со временем у пользователей становится все больше мобильных устройств отображения информации (рис. 1.221), количество смартфонов.

По оценкам, в 2013 году по всему миру было отгружено 2,35 миллиарда персональных компьютеров, планшетов и мобильных телефонов. С появлением новых продуктов на полках магазинов рынок цифровых устройств продолжает расти. Это означает, что больше времени уходит на просмотр электронных экранов и цифрового контента. Многие американцы проводят в среднем от 6 до 9 часов в день перед цифровыми устройствами – и про-

цент взрослых, проводящих 10 и более часов перед экранами, вырос в прошлом году на 4%. Мировая зависимость от электроники оказалась полезной во многих отношениях, но создает проблему для глаз. Почти 70 процентов взрослых в США испытывают цифровое напряжение глаз в результате растущего использования этих устройств. Взрослые в возрасте от 18 до 34 лет сообщают об ощущении усталости глаз с большей частотой (45%), чем у их более возрастных коллег [1.544].

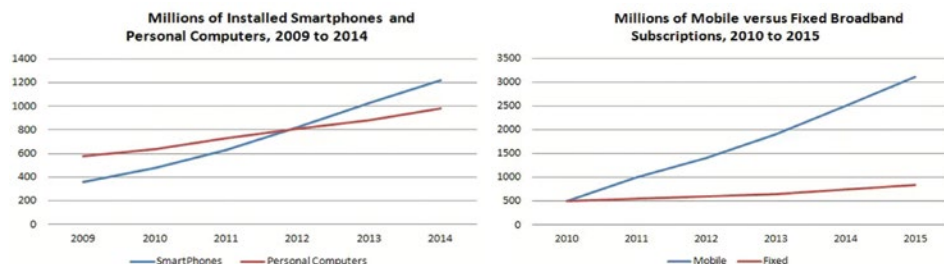


Рис. 1.221. Динамика роста мобильных электронных устройств

Но все устройства отображения информации (мониторы) объединяет почти один и тот же паттерн спектра. На рис. 1.222 приведены спектры подсветок мониторов стационарных персональных компьютеров, а на рис. 1.223 – спектры подсветки для мобильных устройств отображения информации.

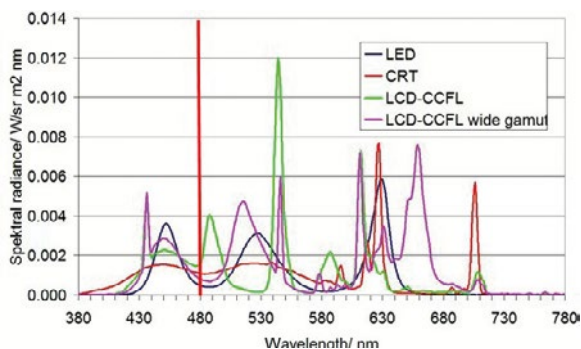


Рис. 1.222. Спектры подсветок мониторов стационарных персональных компьютеров [1.545]

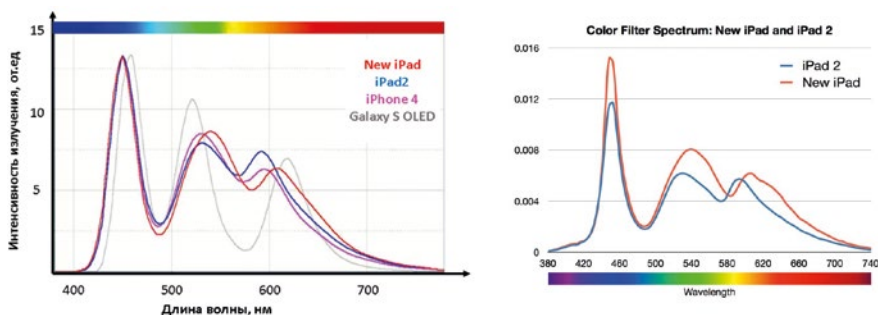
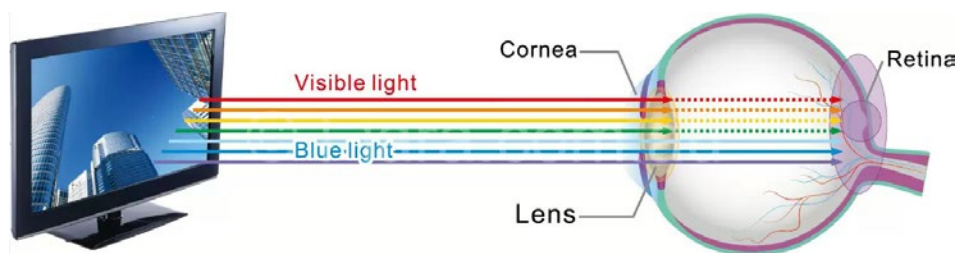


Рис. 1.223. Спектры мобильных устройств отображения информации [1.546]

Из гигиенического анализа спектров устройств отображения информации следует отметить:

- провал в области 480 нм – неадекватное управление диаметром зрачка глаза;
- выброс в области синего света 450 или 460 нм – избыточная доза синего света.

При этом необходимо отметить, что поляризованный свет от монитора попадает на сетчатку пользователя устройств отображения информации. Это обусловлено физикой работы мониторов.



В 2012 году был проведен опрос 10000 взрослых, в возрасте от 18 лет и старше, об использовании ими цифровых средств массовой информации и сопутствующих проблемах со зрением. Почти 70% взрослых, которые регулярно использовали мультимедийные устройства, отмечали симптомы усталости глаз, но не ничего не сделали, чтобы уменьшить дискомфорт, в основном из-за отсутствия знаний. Опрос также показал общий недостаток знаний общественности о зрительном напряжении при использовании цифровых устройств. Менее чем 1 из 5 взрослых слышал об использовании перспективных специальных цифровых очков и только 23% знали, что они существуют, и что их регулярное использование может помочь уменьшить симптомы нарушения зрения, которые становятся реальной проблемой здравоохранения. Офтальмологи отмечали устойчивый рост числа больных с симптомами зрительного напряжения, связанного с компьютерами, таких как сухие, раздраженные глаза, затуманенное зрение, головные боли, боли в спине и шее. Чтобы сохранить здоровье глаз и помочь взрослым, детям и подросткам приспособиться к цифровой жизни, оптическая промышленность инвестирует в новые технологии линз для минимизации нагрузки на глаза, так как все возрастающее число людей всех возрастных групп проводят больше времени перед экранами. Компьютерные очки помогут глазам приспособляться к цифровым объектам, а антибликовое покрытие помогает снять напряжение глаз, смягчая влияние внутреннего и наружного освещения, а также способствует повышению контрастности цифрового контента. Есть даже линзы, которые избирательно поглощают вредный синий свет, удерживая его от попадания через роговицу. Недавно проведенное исследование в Эколь d'Optométrie из Университета Монреаля обнаружило, что ношение линз с покрытием, обработанным фильтром против *синего света*, может уменьшить симптомы усталости глаз наполовину в течение длительного воздействия ком-

пьютера. Примерно 2,42 симптома при ношении линз без покрытия против 1,47 симптома с голубым покрытием ($p = 0,04$). После ношения линз, оснащенных светофильтрами против синего света, симптомы усталости глаз из-за длительного воздействия компьютера значительно снизились. Испытуемые почувствовали значительное улучшение следующих симптомов: сухость глаз, липкие глаза и чувство зернистости или «песка» в глазах. Они также сообщили о тенденции улучшения общего зрения при низком контрасте изображений.

Несмотря на наличие естественной защиты глаза, растут медицинские свидетельства, что чрезмерное поглощение синего света может повредить сетчатку, часть глаза, которая отвечает за фокусирование объектов. Это повреждение происходит, когда синий свет проникает в макулярный пигмент глаз и вызывает разрушение сетчатки и клеточную дегенерацию, делая глаза более уязвимыми к синему свету.

Исследование Гарвардских медиков показало, что высокая энергия видимого синего света в течение многих лет была идентифицирована как наиболее опасный свет для сетчатки. После хронического воздействия можно увидеть рост макулярной дегенерации, глаукомы и дегенеративных заболеваний сетчатки. В статье, опубликованной американским фондом по изучению макулярной дегенерации (AMD), сообщалось, что «синие лучи спектра, кажется, ускоряют возрастную макулярную дегенерацию (ВМД) больше, чем какие-либо другие лучи в спектре». Кроме того, было показано, что «повышенное воздействие синего света на подростков в 20-е и 30-е годы увеличило риск наступления возраста AMD на 10 лет, что фактически удваивало шансы наступления слепоты при жизни» [1.546].

Рост медицинских случаев – только одна из причин, почему так важно вооружить пациентов знаниями о рисках хронического долгосрочного воздействия синего света на их зрение и о том, как это может привести к повышенному риску макулярной дегенерации, глаукомы, катаракты, а также другим дегенеративным заболеваниям сетчатки глаза.

Пациенты часто стали обращаться к врачам-офтальмологам с жалобами на проблемы со зрением и за рекомендациями по улучшению здоровья. Чтобы помочь пациентам принять обоснованное решение в отношении зрения, для обсуждения в рамках консультационного процесса рекомендуются следующие темы:

- Знакомство пациентов с влиянием высоких энергий синего света, излучаемого электронными источниками.
- Опрос пациентов об повседневном воздействии синего света и информирование их о его последствиях.

После опроса пациента и выяснения времени цифровой нагрузки на глаза ему даются рекомендации по снижению этой нагрузки и повышению комфортности при использовании электронного оборудования, такие как применение оптических и лечебных линз и фильтров [1.547, 1.548].

Рекомендуется использовать линзы с покрытием синего цвета, особенно тем, кто проводит 6 или более часов перед экраном [1.549].

1.10.2. Подсветка мониторов персональных компьютеров и ее влияние на здоровье оператора и его работоспособность [1.550]

В современных информационных системах управления сложными энергетическими и транспортными системами особое место принадлежит человеку-оператору. Проблеме эффективности его работы посвящен ряд научных публикаций [1.551, 1.552, 1.553], в которых, однако, не рассматривается влияние спектра света, излучаемого устройствами отображения информации и осветительными приборами, на состояние здоровья и зрительного анализатора операторов. Известно, что от состояния оператора воспринимать информацию, его психофизического статуса и здоровья в значительной степени зависят скорость и адекватность принятия решения в экстремальных ситуациях. По данным корпорации по исследованиям в области планирования на случай возникновения чрезвычайной ситуации в банках международного валютного фонда до 10% угроз отказов информационных систем исходит от операторов. По другим данным американских источников, в целом степень влияния человеческого фактора на информационные системы еще выше и составляет до 30%, причем до 18% из них приходится на небрежное и халатное отношение к обработке или вводу информации. Согласно одному из проводимых опросов, осуществленных в 2005 г., в России самой серьезной угрозой названа непреднамеренная ошибка операторов [1.554].

В настоящее время рабочие места операторов информационных систем укомплектованы экранами со светодиодной подсветкой, которые освещаются светодиодными панелями. Учитывая агрессивное внедрение высокоинтенсивных светодиодов в устройства отображения информации и осветительные приборы, становится все более актуальной проблема влияния спектра их света на глаза и здоровье оператора [1.555, 1.556, 1.557].

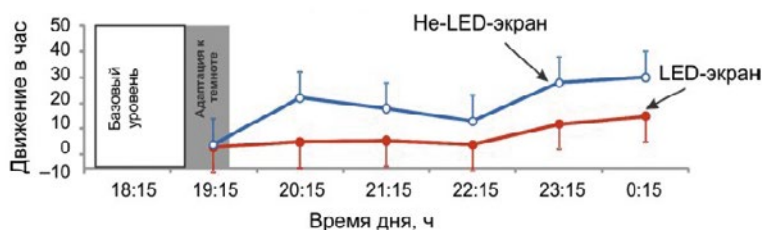
К особенностям влияния спектра света белых светодиодов на здоровье человека, который работает по сменам (день – ночь), относится тот факт, что глаза оператора (особенно в ночное время) подвергаются воздействию как света от плоского экрана, который имеет светодиодную RGB-подсветку, так и света от плоских светодиодных светильников (панелей).

Необходимо отметить, что многие устройства отображения информации имеют светодиодную подсветку («холодные» белые светодиоды или RGB), которые также подавляют выработку мелатонина. Об этом свидетельствуют результаты опроса Sleep in America (2011), проведенного в США организацией National Sleep Foundation (NSF). Согласно пресс-релизу, более 95% опрошенных американцев признались, что перед сном они около часа пользуются каким-либо коммуникационным устройством (смартфоном, ноутбуком, ПК или планшетом). Общение в социальных сетях, просмотр фильмов на планшете в условиях искусственного освещения, поиск информации в интернете и другая сходная деятельность, не дающая мозгу расслабиться (влияние синего света от подсветки экрана), предотвращает выделение мелатонина – гормона, который посылает сигнал телу о том, что пора отдохнуть (спать). Это приводит к сбою в работе внутренних часов организма и, следовательно, к бессоннице. Светодиодное освещение влияет не только на глаза и гормональную систему человека, но и на его психофизиологическое состояние, работоспособность и утомляемость. Специалисты лабо-

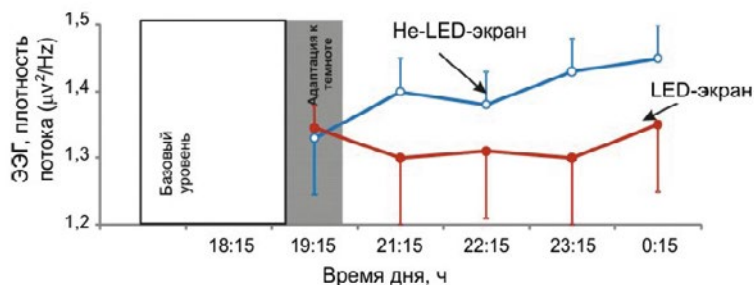
ратории «Профессионального отбора и психофизиологии и реабилитации» ФГУП ВНИИЖГ Роспотребнадзора провели исследования возможности применения светодиодного освещения во время работы в профессиях, связанных с безопасностью движения, и прежде всего машинистов-водителей и диспетчеров-операторов. В эксперименте участвовали волонтеры среднего возраста (у них меньший запас мелатонина, чем у молодежи). К 45 годам в крови человека содержится лишь половина того количества гормона, которое вырабатывается в юности. Одновременно у пожилых людей меняются амплитуда и динамика суточной секреции мелатонина.

Особенности влияния света на человека-оператора были также представлены в исследованиях специалистов США, которые изложены в статье «Воздействие света LED-подсветки экрана компьютера на циркадный ритм человека и его когнитивные функции в вечернее время» [1.558].

Показано, что население в вечернее и ночное время проводит все больше времени перед экранами компьютеров со светодиодной подсветкой. Учитывая это, были исследованы уровни мелатонина (маркера циркадных часов), бдительности и когнитивных уровней производительности у 13 молодых мужчин-добровольцев в контролируемых лабораторных условиях. Качество экранов персональных компьютеров (с подсветкой люминесцентной лампой и светодиодами) и визуальный комфорт были оценены одинаково, но было отмечено, что экран без светодиодной подсветки с люминесцентной лампой, как правило, считался более ярким. Экран с LED-подсветкой излучал в 3,32 раза больше света в синем диапазоне между 440 и 470 нм, чем дисплей с люминесцентной лампой. Обобщенные результаты исследований представлены на рис. 1.224–1.225.



а



б

Рис. 1.224. Время реакции глаз (а) и изменение параметров ЭЭГ (б) в условиях использования различных экранов компьютеров (1.558)

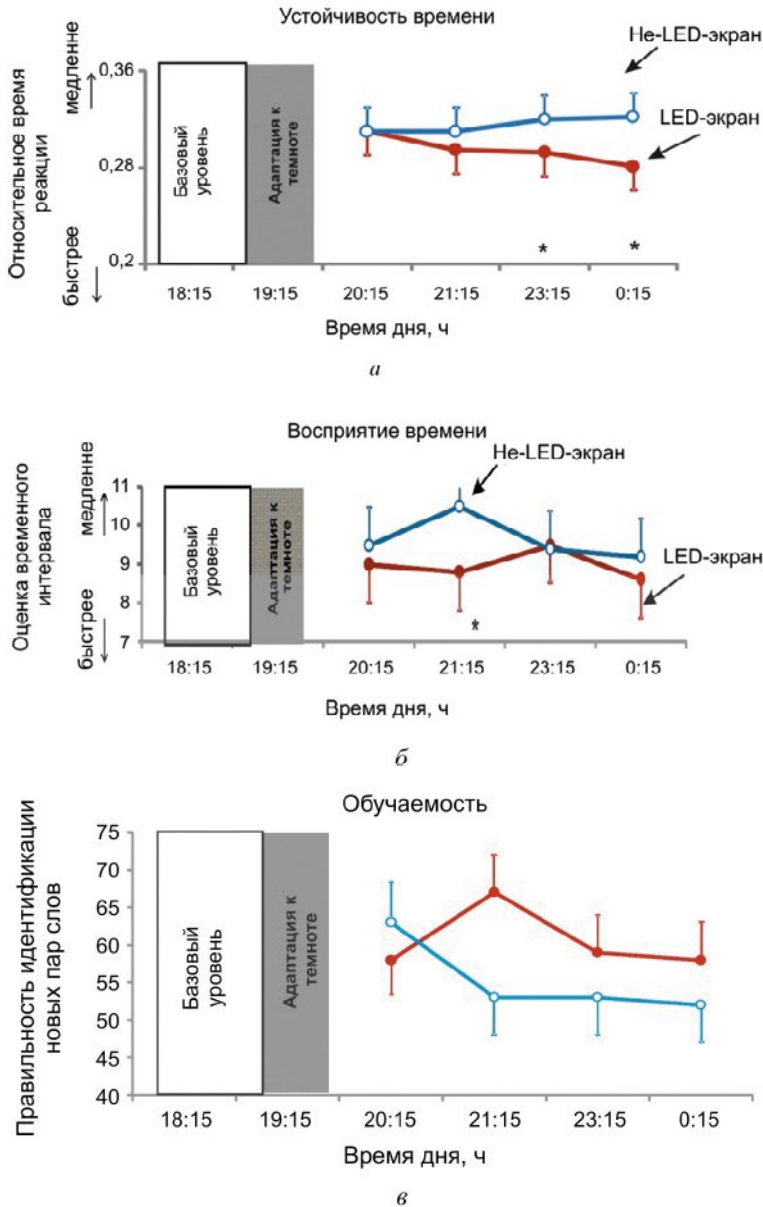


Рис. 1.225. Концентрация внимания (а), изменение восприятия времени (б) и показатель обучаемости (в) в условиях использования различных экранов компьютеров (1.558)

Данные, приведенные на рисунках, показывают, что спектр света, излучаемого экраном со светодиодной подсветкой, влияет на циркадные ритмы, сонливость и когнитивные уровни производительности. Как видно из представленных фактов, уменьшение сонливости приводит в краткосрочном интервале времени к увеличению работоспособности здорового человека. Авторы проведенных исследований отмечали необходимость разработки

программы по управлению спектром светодиодной подсветки экрана с учетом информации об индивидуальных особенностях циркадных ритмов человека. При этом нужно принимать во внимание тот факт, что параметры RGB-света могут влиять на физическое состояние человека. Но непродолжительные по времени испытания не могли выявить всю гамму последствий воздействия опасности синего света на здоровье человека-оператора.

При длительной работе за монитором именно они оказывают пагубное воздействие на зрение.

Повышение производительности труда оператора в ночное время хорошо для его руководства (работодателя), но в отдаленной перспективе это увеличивает накопленный дефицит мелатонина у работника. При достижении критической дозы дефицита мелатонина наступает спад в показателях работоспособности оператора, особенно выраженный у лиц старших возрастных групп (рис. 1.226).

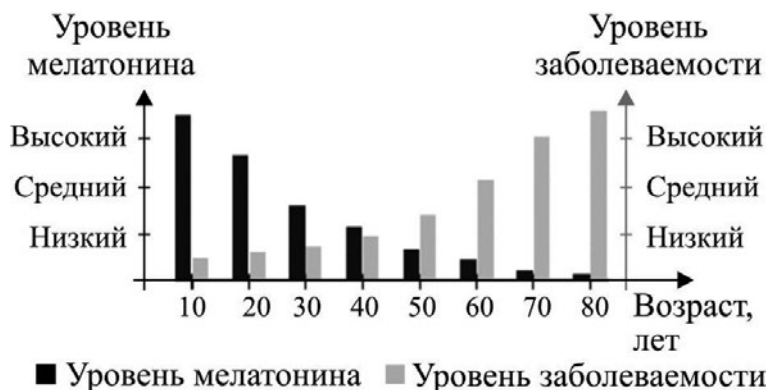


Рис. 1.226. Возрастная динамика содержания мелатонина в организме человека и уровня заболеваемости

Неполадки в циркадном ритме ускоряют дегенеративные процессы в мозгу, лежащие в основе старческого слабоумия, синдромов Альцгеймера и Паркинсона.

Нейробиологи из Орегонского университета США сообщают, что, по их данным, расстроенные биологические часы увеличивают риск развития нейродегенеративных болезней. Чем хуже «настроены» биологические часы, тем сильнее разрушается нервная ткань, и чем сильнее она разрушается, тем больше нарушений в часах. Ученые не исключают, что можно затормозить старение мозга, если сумеют как-то поддержать правильное функционирование биологических часов и работу эпифиза.

Современные тенденции развития светодиодов и их внедрение в устройства отображения информации и освещения несут определенные риски негативного воздействия на здоровье и состояние человека – оператора информационных систем управления. Все это вызывает озабоченность в первую очередь у врачей, которые должны стоять на охране здоровья человека, а также у разработчиков новых источников света для подсветки мониторов.

1.10.3. Особенности восприятия световых сигналов светодиодных светофоров

Есть очень много профессий, в которых при выполнении функциональных обязанностей на глаза человека воздействует свет не только от осветительных источников света и устройств отображения информации, но и свет от оптических светосигнальных приборов. От правильного и быстрого распознавания световых сигналов зависит не только здоровье одного человека, но и безопасность многих людей. Одним из таких оптических сигнальных приборов является светофор, в котором применялись лампы накаливания, а теперь широко применяются светодиоды. С точки зрения гигиениста, светофор – устройство для подачи световых сигналов, предупреждающих об опасности, которая может причинить вред здоровью человека (группе людей) или привести к его (их) смерти. Например, проезд на красный свет на автодорожном и железнодорожном транспорте не только проблема безопасности движения, но и важная гигиеническая проблема, изучающая влияние факторов окружающей среды на здоровье человека, его работоспособность и продолжительность жизни.

Почти полтора века назад англичанином Дж.П. Найтом был изобретен «носитель света» – именно так в переводе с греческого называется светофор. Этот механический прибор, стоявший в самом центре Лондоне на шестиметровом столбе, управлялся вручную специально приставленным к нему человеком и регулировал дорожное движение, передавая его участникам световые сигналы, функцию которых в темное время суток брал на себя газовый фонарь. В 1869 году произошел несчастный случай – из-за взрыва фонаря светофора пострадал полицейский, управлявший прибором, что стало серьезным поводом для объявления полувекового бойкота светофору. И только в 1910 году чикагским изобретателем Эрнстом Сиррином была запатентована первая в мире система светофоров, которая могла переключаться автоматически и исключала риски получения травм в процессе ее использования – это был первый шаг на пути к возрождению давно позабытого всеми светофора. В 1912 году американским изобретателем Лестером Вайром был придуман первый электрический светофор с круглыми сигналами красного и зеленого цвета. В 1914 году в Соединенных Штатах Америки было установлено сразу несколько электрических светофоров с озвученным переключением сигналов, разработанных Джеймсом Хогом. Приборы регулировали дорожное движение и управлялись находившимся на перекрестке полицейским. Первые трехцветные светофоры, изобретенные Уильямом Поттсом и Джоном Ф. Харрисом, имевшие в своем арсенале красный, зеленый и желтый сигналы, были установлены только в 1920 году в американских городах Детройте и Нью-Йорке, а через два года уже полноправно осуществляли руководство дорожным движением во Франции и Германии. Трехцветные светофоры были приняты на железных дорогах, и на первом месте стоит красный сигнал.

1.10.3.1. Особенности восприятия глазом человека красного света

Почему запрещающий сигнал красный, а разрешающий зеленый?

Красные лучи меньше рассеиваются атмосферой и обеспечивают различение сигнала с большего расстояния. В том, что красные лучи рассеива-

ются меньше других, легко убедиться, наблюдая заход солнца. При заходе солнца путь лучей солнца в пределах атмосферы значительно увеличивается, и поскольку коротковолновые (фиолетовые, синие, голубые) видимые излучения рассеиваются значительно сильнее, чем длинноволновые (красные, оранжевые и желтые), то цвет заходящего солнца становится красным.

Совпадение цветового и светового порогов имеет место только для красного света. Представим себе источник белого света, расположенный на очень большом расстоянии от наблюдателя, длительное время находившегося в темноте. На этом расстоянии наблюдатель не видит источника света. По мере приближения наблюдателя к источнику света освещенность на зрачке наблюдателя будет увеличиваться. На некотором расстоянии наблюдатель впервые увидит свет источника. Это означает, что при созданной на зрачке освещенности в глаз попадает такое количество световой энергии, при котором в глазном нерве возникают электрические импульсы, вызывающие ощущение света. Наименьшее значение освещенности на зрачке глаза наблюдателя, при которой последний видит свет, носит название пороговой освещенности, или светового порога.

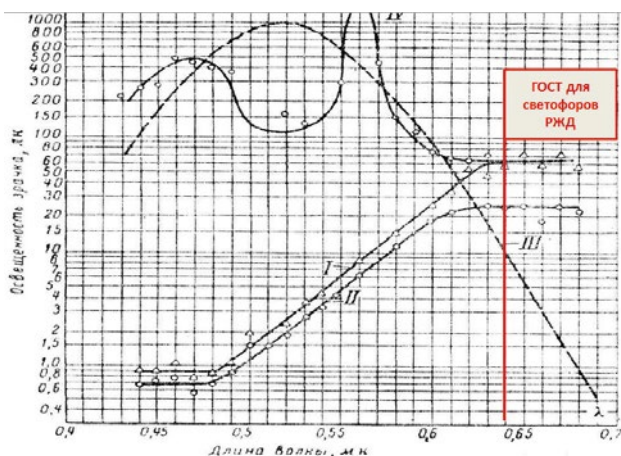


Рис. 1.227. Совпадение цветового и светового порогов чувствительности для красного света

Прделаем такой же опыт, как и с источником белого света, с источником, имеющим зеленый цвет. Установим сначала его на таком расстоянии, когда наблюдатель, длительное время находившийся в темноте, его не видит. Далее наблюдатель будет приближаться к источнику зеленого света. На некотором расстоянии наблюдатель впервые увидит источник зеленого света, но он будет казаться ему белым, а не зеленым. Полученная таким образом освещенность на зрачке наблюдателя характеризует световой порог для зеленого цвета. Мы говорим о световом пороге для зеленого цвета потому, что сначала видим его белым. При дальнейшем приближении источника зеленого света наблюдатель на некотором расстоянии различит его цвет. Наименьшее значение освещенности на зрачке наблюдателя, при которой последний различит не только свет, но и цвет источника света, называется цветовым порогом. Если проделать подобный опыт для красного цвета,

то окажется, что приблизившись к источнику красного света на некоторое расстояние, мы сразу увидим его цветным.

Совпадение цветового и светового порогов чувствительности для красного света справедливо и при малой освещенности сетчатки глаз. При исследовании дальности обнаружения световых сигналов морской навигации на расстоянии до 12 морских миль светодиодный фонарь плавучего буя был отчетливо виден, и можно было достаточно точно определить его цвет даже с такого расстояния, несмотря на то, что из-за очень малого уровня освещенности сетчатки глаз переходит в область малых сигналов, где доминирует палочковое зрение, не позволяющее достоверно различать цвета. Важность открытия этого факта достаточно велика:

– подтверждение того, что клетка Мюллера и колбочка представляют собой единую волоконно-оптическую систему, в которой первым определяется красный свет;

– в конечном итоге правильность определения цвета сигнала светофора определяет безопасность движения и жизни человека.

Координаты цветности светофильтров и линз в сочетании с источником света должны лежать в пределах областей, указанных на графике (рис. 1.228).

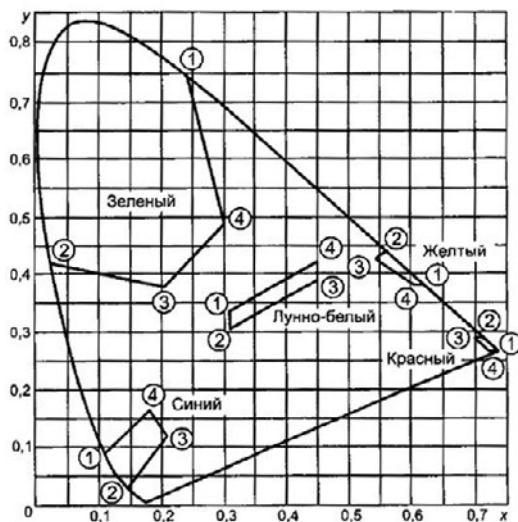


Рис. 1.228. График цветностей с допустимыми областями цветности светофильтров и светофильтров-линз (по ГОСТ Р 53784–2010)

Координаты угловых точек допустимых областей цветности по каждому цвету, утвержденные ГОСТ 24179–80 с учетом изменения №2 к ГОСТ 24179–80 (от 19.12.88), должны соответствовать указанным в табл. 1.22.

Выбор для наиболее ответственного сигнала «Стоп» красного цвета основывается на наиболее резкой контрастности его по отношению к обычному фону, встречающемуся в полосе железных дорог леса (зеленый фон или осенняя листва, желто-коричневый фон летней степи, голубое небо); кроме того, красный цвет хорошо воспринимается как при высоких освещенно-

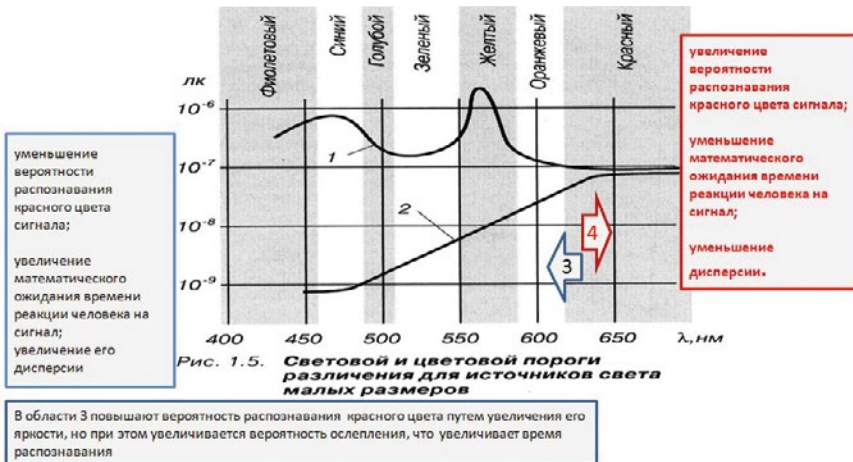
стях, так и при слабых; желтый цвет, хотя несколько лучше воспринимается при слабых освещенностях, но легче может смешиваться с осветительными огнями; синий цвет, воспринимаемый менее отчетливо, используется для маневровых сигналов.

Таблица 1.22

Координаты областей цветности, принятые для световой сигнализации на железных дорогах

Цвет сигнала	Обозначение координат	Координаты цветности угловых точек цветовых областей (для рис. 40)			
		Угловые точки			
		1	2	3	4
Красный	x	0,735	0,710	0,704	0,725
	y	0,265	0,290	0,290	0,267
Желтый	x	0,617	0,575	0,564	0,604
	y	0,383	0,425	0,413	0,383
Зеленый	x	0,241	0,022	0,206	0,300
	y	0,746	0,420	0,376	0,490
Синий	x	0,108	0,144	0,207	0,180
	y	0,090	0,030	0,120	0,164
Лунно-белый	x	0,310	0,310	0,450	0,450
	y	0,335	0,306	0,390	0,420

Законы восприятия сигналов справедливы для людей с нормальным цветовым зрением. Однако у небольшого количества мужчин (около 4%) и весьма редко у женщин встречается полная или частичная цветовая слепота – дальтонизм (по имени английского физика Дальтона) – особенность зрения, заключающаяся в неспособности различать некоторые цвета, особенно красный и зеленый. Поэтому для работников, связанных с движением поездов, необходимо проводить специальную проверку нормального восприятия цветов [1.559].



В современных транспортных потоках для повышения безопасности человека и пропускной способности дорог необходимо иметь: вероятности распознавания красного цвета сигнала равную 1 (100%); малое и стабильное время реакции водителя (машиниста) на красный сигнал светофора.

Рис. 1.229. Обобщенные результаты испытаний

Обобщенные результаты проведенных исследований при внедрении светодиодов в светофоры приведены на рис. 1.229.

Поэтому при разработке светофоров с использованием СДМ требуются дальнейшие психофизиологические исследования восприятия цветowych сигналов при различных условиях эксплуатации. При этом необходимо учитывать особенности современной парадигмы восприятия света глазом. Эта парадигма состоит в том, что свет воспринимается волоконно-оптической системой глаза, состоящей из клеток Мюллера и учет этого обстоятельства заставляет по новому взглянуть на проектирование светофоров, которые должны проектироваться с учетом физиологии восприятия света, а не в угоду конъюнктурному применению светодиодов [1.560].

Литература к главе 1

1.1. Шестаков В.В. Философские категории света и тьмы в повести А. Платонова «Котлован» [Текст] // Актуальные проблемы филологии: материалы II Междунар. науч. конф. (г. Краснодар, февраль 2016 г.). – Краснодар: Новация, 2016. – С. 64–67. – URL <https://moluch.ru/conf/phil/archive/177/9683/> (дата обращения: 15.12.2018).

1.2. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972 с.

1.3. Vitale S., Sperduto RD, FL Ferris third. The increased prevalence of myopia in the United States between 1971–1972 and 1999–2004. Arch Ophthalmol. 2009 December; 127 (12): 1632–9. PubMed.

1.4. Enhancing public health surveillance of visual impairment and eye health in the united states Centers for Disease Control and Prevention Building a Basis for Action Enhancing Vision Health Surveillance in the US. С. 78.

1.5. Смолеевский А.Е. Психическая работоспособность оператора в условиях светодиодного освещения с различными спектральноэнергетическими характеристиками. Диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук ГНЦ РФ-ИМБП РАН, 2018 г. – С. 133.

1.6. Сержникова Н.Б. Возрастные структурно-функциональные изменения ретинального пигментного эпителия при облучении коротковолновым видимым светом. Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук, 2018. – С. 142.

1.7. <https://www.acq.osd.mil/osbp/sbir/solicitations/sbir20082/darpa082.pdf> и <https://www.sbir.gov/sbirsearch/detail/131805>.

1.8. Капцов В.А., Дейнего В.Н. Изменения в концепции построения светодиодов для освещения с учетом здоровья человека // Энергосовет, выпуск №4 (41). – 2015.

1.9. Yunho Jin, Jeonghyun Choi, Jinyoung Won and Yonggeun Hong. The relationship between autism spectrum disorder 2 and melatonin during fetal development. Preprints (www.preprints.org) | NOT PEER-REVIEWED | Posted: 17 December 2017. DOI: 10.20944/preprints201712.0111.v1.

1.10. John Wittenborn David Rein NORC THE FUTURE OF VISION Forecasting the Prevalence And Costs of Vision Problems. University of Chicago JUNE 11, 2014. – С. 75.

https://www.preventblindness.org/.../Future_of_Vision_final...

1.11. Широко В.Д. И снова о проблемах близорукости ГУ «290 Военный медицинский центр ВС РБ». http://go.mail.ru/redirect?via_page=1&type=sr&redir=eJzLKck

psNLXL0ot0Esqzi³Vs6rUT8osKS4pSk³M1c9IzEvJSdV3CvYN1Tc1NzLSV3UxULW0UDUyUHUxVLUwBHGDxMCKkK5g0ApMGYAVgQsJDDazeAEkIRK8TmDQFk85QvSCVpnoFKWn²mcWOOTn55akrtpVqxamFpal5yam²hgwmHqYmRuYGpgaWJgwexn_TXocdmJannBi-e_DQQB_uDIZ.

1.12. Куликов А. Н., Крапивный А. Ю., Леонгардт Т. А. Сравнение влияния различных источников света (люминесцентных и светодиодных) на органы зрения операторов зрительного профиля при их суточной работе в искусственной световой среде. Невские горизонты-2016: Материалы научной конференции офтальмологов / СПбГПУ. – СПб.: Политехника-Сервис, 2016. – С. 518.

1.13. Капцов В. А., Дейнего В. Н. Светодиодное освещение – вред здоровью или польза энергосбережению? Спор американских ассоциаций // Энергосовет. – № 3, 2016, июль – сентябрь.

1.14. Gregory W. Good O.D., Ph.D. Light and Eye Damage Fmerican American Optometric Association / December 2014. – С. 13.

1.15. Слайни Д. Х. Влияние новых светотехнических приборов на здоровье и безопасность людей // Светотехника. – № 4. – 2010. – С. 64.

1.16. Ху Т. Экономические издержки нарушения зрения и инвалидов, специальный доклад Национального института глаза (ЯЭУ), Национальные институты здоровья (НИИ), США, 1981.

1.17. Ellwein Л. Личное общение. Bethesda, MD: NIH, NEI, 1998.

1.18. Huang Ying-Ying; Sharma Sulbha K.; Carroll James; and Hamblin Michael R (2011) "Biphasic dose response in low level light therapy – an update", Dose-Response: An International Journal: Vol. 9: Iss. 4, Article 11. Available at: http://scholarworks.umass.edu/dose_response/vol9/iss4/11.

1.19. Синицына Р. В., Скрипаль А. В. Основы реферирования научно-технической литературы. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2007. – 228 с.: ил. 6, табл. 14, библи. 197.

1.20. Саматова Регина Рамилевна. Разработка методов прогноза и лечения прогрессирующей миопии у детей / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. – Санкт-Петербург, 2011.

1.21. Портнов Ф. Г. Электропунктурная рефлексотерапия. – Рига, 1987. – С. 215–218.

1.22. Березина Т. Г. Неврологические аспекты близорукости у детей / В сб. Перинатальная неврология. – Казань, 1983. – С. 140–142.

1.23. Карапетян А. Т. Особенности глазного кровотока в условиях различной оптической коррекции миопии / Диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт глазных болезней», 2015. – С. 88.

1.24. Вит В. В. Строение зрительной системы человека / Учебное пособие, 2003.

1.25. <http://www.takzdorovo.ru/profilaktika/obraz-zhizni/kak-vybrat-solntsezashhitnye-ochki/>.

1.26. Karen Hollingsworth, Patrick J Flynn, Kevin Bowyer Pupil dilation degrades iris biometric performance. Computer Vision and Image Understanding 113 (2009), 150–157.

1.27. Зак П. П. Свет как физиологический и физический фактор в процессах зрения // «Подмосковные встречи – решаем проблемы офтальмологии», МОНИКИ, 5 марта 2018.

1.28. Капцов В. А., Дейнего В. Н., Уласюк В. Н. Две концепции развития полупроводниковых источников белого света для освещения школ // Глаз. – № 6 (118). – 2017. – С. 8–22.

1.29. Капцов В. А., Дейнего В. Н., Уласюк В. Н. Полупроводниковые источники белого света с биологически адекватным спектром излучения // Глаз. – № 1 (119). – 2018. – С. 25–32.

- 1.30. Дюкин С. LED-мониторы и «синяя опасность» // Полупроводниковая светотехника. – № 5 (49). – 2017. – С. 16–21.
- 1.31. Daylight, Energy and Indoor Climate. Basic Book Version 3.0–2014. http://www.velux.com/~media/com/articles/pdf/deic_basic_book_ver%203-0.pdf.
- 1.32. Зак П. П., Островский М. А. Потенциальная опасность освещения светодиодами для глаз детей и подростков // Светотехника. – 2012, № 3.
- 1.33. <http://4pda.ru/2015/11/01/254811/>.
- 1.34. Дейнего В. Н. Выбор концепции построения безопасной энергосберегающей системы освещения «Не имеющий стратегии – жертва чужой тактики!» // Кабель-news. – 2012. – № 2.
- 1.35. <http://www.sunnexbiotech.com/I/I5.html>.
- 1.36. The Role of Blue Light in the Pathogenesis of AMD. <http://www.sunnexbiotech.com/therapist/blue%20light%20and%20amd.html>.
- 1.37. Капцов В. А., Дейнего В. Н. Синий свет светодиодов – новая гигиеническая проблема. Анализ риска здоровью. – Выпуск № 1 (13). – 2016.
- 1.38. Katja Malovrh Rebec and Marta Klanjšek Gunde High-performance lighting evaluated by photobiological parameters Article in Applied Optics 53 (23) • August 2014.
- 1.39. Капцов В. А., Дейнего В. Н. Q-закон как методическая основа гигиенических требований к световой среде // Гигиена и санитария. – Т. 96. – № 8. – 2017. – С. 747–751.
- 1.40. Еськов В. М., Еськов В. В., Джумагалиева Л. Б., Гудкова С. В. Медицина и теория Хаоса в описании единичного и случайного // Вестник новых медицинских технологий. – Т. 21. – № 3. – 2014. – С. 27–34.
- 1.41. SantiagoRamón y Cajal, ClaudiaCapdevila, JavierHernandez-Losa, LeticiaDe Mattos-Arruda, AbhishekGhosh, OlaLarsson, TrondAasen, Lynne-MariePostovit, IvanTopisirovic «Cancer as an ecomolecular disease and a neoplastic consortium» Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Reviews on Cancer Volume 1868, Issue 2, December 2017, Pages 484–499.
- 1.42. Нейросетевое моделирование и теория хаоса: возможности построения прогнозно-диагностических медицинских систем УДК 616.8-005-072:517.938 Весці НАН Беларусі. Сер. мед. навук. – 2010, № 3. – С. 109–118. <http://neurosite.biz/stati/nmithvppdms.html>.
- 1.43. Багнетова Е. А., Буров И. В., Вишневский В. А., Еськов В. М. и др. Системный анализ, управление и обработка информации в биологии и медицине. Часть X. Динамика поведения вектора состояния организма жителей Югры в условиях нормы и патологии. – Самара: Офорт. – 2013. – 186 с.: ил. – ISBN 978-5-473-00857-9.
- 1.44. Японский перепел Coturnix japonica как модель ускоренного старения сетчатки глаза человека. Сравнительный анализ содержания ретиноидов в клетках старческого ретинального пигментного эпителия глаза японского перепела и человека // Офтальмохирургия. – № 2, 2013.
- 1.45. Зак П. П., Донцов А. Е. Перепелиная слепота // Химия и жизнь. – 2013, № 7. – Стр. 16–19. <http://www.perpelka.org.ua/slep.html>.
- 1.46. Капцов В. А. Деонтологические вопросы железнодорожной гигиены. // Гигиена и санитария. – Т. 94. – № 3. – С. 40–43.
- 1.47. María Dolores Pinazo-Durán, Roberto Gallego-Pinazo and Manuel Díaz-Llópis. Oxidative stress and its downstream signaling in aging eyes. Clin. Interv. Aging. 2014; 9: 637–652. Published online 2014 Apr 11. DOI: 10.2147/CIA.S52662. PMID: PMC3990383.
- 1.48. Рахманин Ю. А., Стехин А. А., Яковлев В. В., Татаринов В. В. Новый фактор риска здоровья человека – дефицит электронов в окружающей среде // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – Выпуск № 1. – Том 3. – 2013.

1.49. Бочаров М. Электрические процессы внутри организма. Монография по материалам исследований. – Волгоград, 2008–2010. 93 с. http://ros.msk.ru/load/biologija/ehlektricheskie_processy_vnutri_organizma_statja/3-1-0-2308.

1.50. Скипетров В. П., Беспалов Н. Н., Зорькина А. В. Лечение аэроионами кислорода. – Саранск: «СВМО», 2001. – 70 с.

1.51. Микулин А. А. Активное долголетие. – М.: Физкультура и спорт, 1977. – 112 с.

1.52. Рахманин Ю. А., Стехин А. А., Яковлева Г. В. Биофизика воды: Квантовая нелокальность в технологиях водоподготовки; регуляторная роль ассоциированной воды в клеточном метаболизме; нормирование биоэнергетической активности питьевой воды. – М.: ЛЕНАНД, 2016. – С. 352.

1.53. Aquaporins. Editor E. Beitz. Handbook of Experimental Pharmacology. – 2009. – V. 190. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. – 402 + XVI p.

1.54. Крысова А. В., Циркин В. И., Куншин А. А. Роль аквапоринов в транспорте воды через биологические мембраны // Вятский медицинский вестник, 2012.

1.55. Аквапорины (водные каналы): офтальмологические аспекты / О. И. Сукманский, Н. В. Пасечникова, В. В. Вит, В. А. Науменко, И. О. Сукманский // Офтальмологический журнал. – 2013. – № 1. – С. 66–73.

1.56. Alan S. Verkman. Aquaporins at a glance (Аквапорины с первого взгляда. 2018). Journal of Cell Science 124 (13). <http://jcs.biologists.org/content/124/13/2107>.

1.57. <http://www.ngpedia.ru/id109402p1.html>.

1.58. Бриттон Г. Биохимия природных пигментов. – М.: Мир, 1986. – С. 259–279.

1.59. Новиков Д. А., Курченко В. П., Азарко И. И. // Радиационная биология. Радиозекология. – 2001. – Т. 41, № 6. – С. 664–670.

1.60. Бабицкая В. Г., Щерба В. В., Иконникова Н. В. // Прикладная биохимия и микробиология. – 2000. – Т. 36, № 4. – С. 439–444.

1.61. Вит В. В. Роль пигментного эпителия в жизнедеятельности сетчатки. <https://miroft.org.ua/authors/p0/s-1091.html>.

1.62. International programme on chemical safety environmental health criteria 160 ultraviolet radiation. World Health Organization. Geneva, 1994. <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc160.html>.

1.63. Капцов В. А., Дейнего В. Н., Сошин Н. П., Уласюк В. Н. Гигиена и спектрально-энергетический паттерн света // Гигиена и санитария. – № 1, 2017.

1.64. Зак П. П. Свет как физиологический и физический фактор в процессах зрения // «Подмосковные встречи – решаем проблемы офтальмологии», МОНИКИ, 5 марта 2018.

1.65. Smith EL III, Hung L-F, Arumugam B, Holden BA, Neitz M, Neitz J. Effects of long-wavelength lighting on refractive development in infant rhesus monkeys. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2015; 56: 6490–6500. DOI: 10.1167/iovs.15–17025.

1.66. Wang M., Schaeffel F., Jiang B., Feldkaemper M. Effects of light of different spectral composition on refractive development and retinal dopamine in chicks. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2018; 59: 4413–4424. <https://doi.org/10.1167/iovs.18–23880>.

1.67. Материал предоставлен для «Федерального справочника». Опубликовано в томе № 25. <http://federalbook.ru/news/analitics/25.08.2011.html>.

1.68. Капцов В. А., Дейнего В. Н. Риски развития возрастной макулярной дегенерации и светодиодное освещение // Анализ риска здоровью. – 2017, № 4. – С. 127–142.

1.69. Villette Th., Lawrenson J. BLUE LIGHT: A review of the evidence on the potential benefits and harms of blue-filtering lenses [Электронный ресурс]. – London, 2016. – URL: https://www.google.ru/url?sa=t&rc=tj&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjXuu2y_93XAhWpNpoKHZcrD8AQFggnMAA&url=https%3A%2F%2F

www.college-optometrists.org/%2Fasset/%2F08136AA5-480B-46DE-98375A2DD001B8C7%2F&usq=AOvVaw3UH48IykcSdwSfWosX0V7R (дата обращения: 10.07.2017).

1.70. Kitchel E., Ed M. The Effects of Blue Light on Ocular Health [Электронный ресурс] // Texas School for the Blind and Visually Impaired. – URL: <http://www.tsbvi.edu/instructional-resources/62-family-engagement/3654effects-of-blue-light> (дата обращения: 26.06.2017).

1.71. <http://blog.xrite.com/the-science-behind-visual-evaluation>.

1.72. Феоктистова Т.Г., Феоктистова О.Г., Наумова Т.В. Безопасность жизнедеятельности. Производственная санитария и гигиена труда. Часть II. Кафедра «Безопасность полетов и жизнедеятельности», Московский государственный технический университет гражданской авиации. – Москва, 2007.

1.73. Зак П.П. Доклад. Основания ограничения цветовой температуры светодиодного освещения в образовательных, дошкольных и лечебных учреждениях. / IX Международный Форум по светодиодным технологиям, 16 ноября 2015 г.

1.74. Foulds W.S., Barathi V. A, Luu C. D Progressive myopia or hyperopia can be induced in chicks and reversed by manipulation of the chromaticity of ambient light. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2013 Dec 9; 54 (13): 8004–12. DOI: 10.1167/iov.13–12476.

1.75. Rohrer B., Schaeffel F., Zrenner E. Longitudinal chromatic aberration and emmetropization: results from the chicken eye. J Physiol. 1992 Apr; 449: 363–76.

1.76. Конев С.В. Фотобиология / С.В. Конев, И.Д. Волотовский. – Минск: Изд-во БГУ, 1979. – 384 с.

1.77. Агроскин Л.С., Папаян Г.В. Цитофотометрия. – Л.: Наука, 1977. – 273 с.

1.78. Kaptsov V.A., Deynego V.N. Analytical review. Light-biological safety and Risks of eye diseases among schoolchild in classrooms with led light sources. 3rd Global Pediatric Ophthalmology Congress March 22–23, 2018, London.

1.79. Капцов В.А., Дейнего В.Н. Иммунная система и искусственная световая среда // Аллергология и иммунология. – 2015. – Т. 16, № 3. – С. 253–258.

1.80. Дейнего В.Н., Капцов В.А., Сорока А.И. Влияние света и физических полей на риск дисгармонизации синтеза мелатонина в шишковидной железе // Анализ риска здоровью. – 2014. – № 2. – С. 30–41.

1.81. Дейнего В.Н., Капцов В.А. Гигиена зрения при светодиодном освещении. Современные научные представления // Гигиена и санитария. – 2014. – Т. 93, № 5. – С. 54–58.

1.82. Капцов В.А., Дейнего В.Н. Нарушение меланопсинового эффекта сужения зрачка – фактор риска заболевания глаз // Анализ риска здоровью. – 2017. – № 1. – С. 132–148. DOI: 10.21668/health.risk/2017.1.15.

1.83. Болдырев А.А. Разгадывая кроссворд природы (Рецензия на книгу Гильберта Линга «Физическая теория живой клетки (незамеченная революция). – Санкт-Петербург, «Наука», 2008 // Биохимия. – 2009. – Т. 74, вып. 6. – С. 860–862.

1.84. Peter Dimroth, Hongyun Wang, Michael Grabe, and George Oster Energy transduction in the sodium F-ATPase of *Propionigenium modestum* Proc. Natl. Acad. Sci. USA Vol. 96, pp. 4924–4929, April 1999 Biophysics.

1.85. George Oster Hongyun Wang Reverse engineering a protein: the mechanochemistry of ATP synthas Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics Volume 1458, Issues 2–3, 31 May 2000, Pages 482–510.

1.86. Gardiner C. (1985) Handbook of Stochastic Methods (Springer, New York).

1.87. Risken H. (1989) The Fokker-Planck Equation (Springer, New York).

1.88. Kinosita Jr.K., Yasuda R., Noji H. & Adachi K. A rotary molecular motor that can work at near 100% efficiency. Philos. Trans. R.Soc. Lond. B Biol. Sci. 355, 473–489 (2000).

1.89. Huang Ying-Ying; Sharma Sulbha K.; Carroll James; and Hamblin Michael R (2011) "Biphasic dose response in low level light therapy – an update,"Dose-

Response: An International Journal: Vol. 9: Iss. 4, Article 11. Available at: http://scholarworks.umass.edu/dose_response/vol9/iss4/11.

1.90. Kinoshita Jr.K., Yasuda R., Noji H. & Adachi K. A rotary molecular motor that can work at near 100% efficiency. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 355, 473–489 (2000).

1.91. Sommer A.P. et al. Light Effect on Water Viscosity: Implication for ATP Biosynthesis. *Sci. Rep.* 5, 12029. DOI: 10.1038/srep12029 (2015).

1.92. Chrishne Sivapathasuntharam, Sobha Sivaprasad, Christopher Hogg Aging retinal function is improved by near infrared light (670 nm) that is associated with corrected mitochondrial decline *Neurobiol Aging.* 2017 Apr; 52: 66–70.

1.93. <https://d2cax41o7ahm5l.cloudfront.net/cs/pdfs/pediatric-ophthalmology-2018-23511final-resolution-of-the-3rd-global-pediatric-congress-london-201846825.pdf>.

1.94. Кошиц И.Н., Эгембердиев М.Б. О научных итогах III Глобального конгресса по детской офтальмологии // *Поле зрения.* – №3. – 2018. – С. 24–25.

1.95. Капцов В.А., Дейнего В.Н., Уласюк В.Н. Полупроводниковые источники белого света с биологически адекватным спектром излучения // *Глаз.* – №1 (119). – 2018. – С. 25–38.

1.96. <http://art31.ru/colour/illustration-colour/85-sravnitelnaja-koloristicheskaja-kharakteristika.html>.

1.97. Дубров А.П. Лунные ритмы у человека (Крат. очерк по селеномедицине). – М.: Медицина, 1990.

1.98. Иванов С.В. Гравитационные корреляты пинеальной функции. Сб. трудов «Световой режим, старение и рак». – Петрозаводск, 17–19 октября 2013 года.

1.99. Сергеев Г.А. Биоритмы и биосфера. – М.: Знание, 1976.

1.100. <http://www.sunhome.ru/journal/12189/p3>.

1.101. Flack H.D. (2009). «Louis Pasteur's 1848 discovery of molecular chirality and spontaneous resolution, together with a complete review of his chemical and crystallographic work».

1.102. Михаил Никитин. Происхождение жизни. От туманности до клетки. – © ООО «Альпина нон-фикшн», 2016. – С. 177.

1.103. James L Oschman* and Nora H Oschman Vortical Structure of Light and Space: Biological Implications. *J Vortex Sci Technol* 2: 112. 2015. DOI: 10.4172/20908369.1000112.

1.104. Pilla A., Fitzsimmons R., Muehsam D., Wu J., Rohde C. et al. (2011) Electromagnetic fields as first messenger in biological signaling: Application to calmodulin-dependent signaling in tissue repair. *Biochim Biophys Acta* 1810: 1236–45.

1.105. Башмакова В. Синтезом белков можно управлять с помощью света 05.07.2011. http://elementy.ru/novosti_nauki/431615.

1.106. Гусев Н.Б. Внутриклеточные Ca-связывающие белки. Часть 2. Структура и механизм функционирования // *Саровский образовательный журнал.* – №5. – 1998. – С. 10–16.

1.107. https://www.syl.ru/article/143477/mod_polyarizatsiya-sveta-e-sut-i-rol-v-prirode.

1.108. <http://studopedia.org/4-79169.html>.

1.109. Тамарова Р.М. Оптические приборы для исследования глаза. – Медицина. – Электронная книга, 1982.

1.110. <http://mushek.net/faq/1-2>.

1.111. <https://www.kakprosto.ru/kak-890177-cto-takoe-polyarizovannye-linzy#ixzz5TK1glAh3>.

1.112. Черныш Н.Д. Строительная физика: учебное пособие / Н.Д. Черныш, В.Н. Тарасенко. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. – 238 с.

1.113. Шерклифф У. Поляризованный свет. – М.: Издательство «Мир», 1965. – 264 с.

1.114. Гримайло А. В. Стохастическая модель отражения света от поверхности с учетом поляризации / Сборник трудов МЭИ, 2017.

1.115. Коркин С. В. Математическая модель отражения поляризованного излучения при дистанционном зондировании мутных сред: диссертация к. т. н. 05.1107. – Москва, 2009. – 150 с.

1.116. Будак В. П., Гримайло А. В. Математическая модель многократных отражений света с учетом поляризации // Радиотехника, Электротехника и Энергетика: Двадцать четвертая Международная научно-техническая конференция. Студентов и аспирантов (15–16) марта 2018 г. Москва) Тез. доклада. – М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2018. – С. 1120.

1.117. Будак В. П. Визуализация распределения яркости в трехмерных сценах наблюдения. – М.: Изд. МЭИ, 2000. – С. 136.

1.118. <http://www.ng.ru/>, 11.03.2009.

1.119. Эволюция глаза. Глаз – одно из лучших изобретений слепой природы. <http://www.nat-geo.ru/science/867236-evolyutsiya-glaza/>.

1.120. Бойко А. Г. Дифференцировка клеток радиальной глии в астроциты – вероятный механизм старения млекопитающих // Журнал общей биологии. – Том 68, № 1, январь – февраль, 2007. – С. 35–51.

1.121. Zafer Gurel, Nader Sheibani O-Linked β -N-acetylglucosamine (O-GlcNAc) modification: a new pathway to decode pathogenesis of diabetic retinopathy. *Clinical Science* Jan 19, 2018, 132 (2) 185–198. DOI: 10.1042/CS20171454.

1.122. Marios C. Papadopoulos, Samira Saadoun. Key roles of aquaporins in tumor biology *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes* Volume 1848, Issue 10, Part B, October 2015, Pages 2576–2583.

1.123. Angela Tesse, Elena Grossini, Grazia Tamma, Catherine Brenner, Piero Portincasa, Raul A. Marinelli and Giuseppe Calamita Aquaporins as Targets of Dietary Bioactive Phytocompounds *Frontiers in Molecular Biosciences* | www.frontiersin.org April 2018 | Volume 5 | Article 30.

1.124. Эльбекьян К. С., Кремнева Г. М., Литвиненко И. Л., Романова Л. В., Килинкарлова Н. Н., Оверченко В. В. Структура аквапоринов и их роль в поддержании гомеостаза в организме. <http://lib2.znate.ru/docs/index-349559.html>.

1.125. Kevin L. Schey, Zhen Wang, Jamie L. Wenke, and Ying Qi Aquaporins in the eye: Expression, function, and roles in ocular disease *Biochim Biophys Acta*. 2014 May; 1840 (5): 1513–1523.

1.126. Han Z., Wax M., Patil R. Regulation of aquaporin-4 water channels by phorbol ester-dependent protein phosphorylation // *J. Biol. Chem.* 1998. Vol. 273, № 11. P. 6001–6004.

1.127. Gonen T., Sliz P., Kistler J., Cheng Y., Walz T. Aquaporin-0 membrane junctions reveal the structure of a closed water pore // *Nature*. 2004. Vol. 429, № 6988. P. 193–197.

1.128. Gutierrez D. B., Garland D., Schey K. L. Spatial analysis of human lens aquaporin-0 post-translational modifications by MALDI $\text{Iю}129\text{ass}$ spectrometry tissue profiling // *Exp Eye Res*. 2011. Vol. 96, № 6. P. 912–920.

1.129. Титовец Э. П. Аквапорины человека и животных: фундаментальные и клинические аспекты. – Минск: Белорус. наука, 2007. – 239 с.

1.130. Gunnarson E., Zelenina M., Axehult G., Song Y., Bondar A., Krieger P., Brismar H., Zelenin S., Aperia A. Identification of a molecular target for glutamate regulation of astrocyte water permeability // *Glia*. 2008. Vol. 56, № 6. P. 587–596.

1.131 <http://samvizhu.ru/stroenie-glazu/rol-vodyanistoj-vlagi-v-rabote-glazu.html>.

1.132. Карен Волш. Глаза и ультрафиолетовое излучение, обзор материалов по воздействию ультрафиолетового излучения на ткани глаза и необходимости надежной защиты глаз от УФ-лучей. Роль мягких контактных линз с УФ-фильтром.

TNE VISION CARE INSTITUTE. https://www.jjvc.ru/sites/default/files/public/ru/asets_page/121_0.pdf.

1.133. Синдром сухого глаза: рекомендательный список литературы (2016–2018) / сост. А. М. Халикова. – Казань: РМБИЦ, 2018. – 12 с.

1.134. Клинические лекции по офтальмологии: Учебное пособие. – Егоров Е. А., Басинский С. Н. – 2007. – 288 с. ГЛАВА 9. Синдром сухого глаза: диагностика, клиника, лечение. http://vmede.org/sait/?id=Oftalmologija_egorov_2007&menu=Oftalmologija_egorov_2007&page=11.

1.135. <http://1piar.ru/folio/folio-35386.php>.

1.136. Слезная пленка. <http://about-vision.ru/mutsin-i-sleznaya-plenka-glaza/>.

1.137. <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1099853>.

1.138. Lee Ann Remington OD, MS, FAAO, in *Clinical Anatomy and Physiology of the Visual System* (Third Edition), 2012. <https://www.sciencedirect.com/topics/immunology-and-microbiology/cornea-epithelium>.

1.139. *Clinical anatomy and physiology of the visual system, third edition*. ISBN: 978-1-4377-1926-0. Copyright © 2012, 2005, 1998 by Butterworth-Heinemann, an imprint of Elsevier Inc.

1.140. Steffen Hamann, Thomas Zeuthen, Morten La Cour, Erlend A. Nagelhus, Ole Petter Ottersen, Peter Agre, and Søren Nielsen Aquaporins in complex tissues: distribution of aquaporins 1–5 in human and rat eye. <https://www.physiology.org/doi/full/10.1152/ajpcell.1998.274.5.c1332>.

1.141. Патеюк Л. С. Минеральные элементы роговицы и неорганические биохимические параметры слезы при кератоконусе. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт глазных болезней». Диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук, 2015. – С. 142.

1.142. Творогова Т. М., Воробьева А. С. Недифференцированная дисплазия соединительной ткани с позиции дизэлементоза у детей и подростков // Рус. мед. журн.: независимое издание для практикующих врачей. – 2012. – № 24. – С. 1215–1221.

1.143. Северин Е. С. Биохимия. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2003. – 779 с.

1.144. Авцын А. П., Жаворонков А. А., Риш М. А., Строчкова Л. С. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. – М.: Медицина, 1991. – 496 с.

1.145. Zelko I. N., Mariani T. J., Folz R. J. Superoxide dismutase multigene family: a comparison of the CuZn-SOD (SOD1), Mn-SOD (SOD2), and EC-SOD (SOD3) gene structures, evolution, and expression // *Free Radic. Biol. Med.* – 2002. – Vol. 33, No. 3. – P. 337–349.

1.146. Иомдина Е. Н. Биомеханика склеральной оболочки глаза при миопии: Диагностика нарушений и их экспериментальная коррекция: автореф. дис.... д-ра биол. наук. – М., 2000. – 316 с.

1.147. Namuslu M., Balci M., Coskun M. et al. Investigation of trace elements in pterygium tissue // *Curr. Eye Res.* – 2013. – Vol. 38, No. 5. – P. 526–530.

1.148. De Souza, G. A.; Godoy, L. M. F.; Mann, M. Identification of 491 proteins in the tear fluid proteome reveals a large number of proteases and protease inhibitors. *Genome Biol.* 2006, 7, R72.

1.149. Zhou L., Beuerman R. W. The power of tears: How tear proteomics research could revolutionize the clinic. *Expert Rev. Proteom.* 2017, 14, 189–191.

1.150. Ryan Chang Tseng, Ching-Chuen Chen, Sheng-Min Hsu and Han-Sheng Chuang. Contact-Lens Biosensors. *Sensors.* 2018, 18, 2651. DOI: 10.3390/s18082651.

1.151. Мельникова Л. И. Химический состав жидких сред глаза при различном уровне офтальмотонуса. Диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. – Москва, 2017. – С. 120.

1.152. Stamer W. Daniel, Baetz Nicholas W. and Yool Andrea J. Ocular aquaporins and Aqueous Humor Dynamics. The Eye s Aqueous Humor. MortimerM. Civan Current Topics in Membranes Volume 62. Copyright 2008. Elsevier Inc. P. 471.

1.153. Тамарова Р.М. Оптические приборы для исследования глаза. – М.: Медицина, 1982. – 176 с. <https://mydocx.ru/1-41705.html>.

1.154. Watson A.B., Yellott J.I. A unified formula for light-adapted pupil size // Journal of Vision. – 2012. – Vol. 12, № 12. – P. 1–16. DOI: 10.1167/12.10.12.

1.155. Steffen Hamann, Thomas Zeuthen, Morten La Cour, Erlend A. Nagelhus, Ole Petter Ottersen, Peter Agre, and Søren Nielsen Aquaporins in complex tissues: distribution of aquaporins 1–5 in human and rat eye. <https://www.physiology.org/doi/full/10.1152/ajpcell.1998.274.5.c13>.

1.156. Landon S. King, Masa Yasui and Peter Agre Aquaporins in health and disease. Molecular medicine today february 2000 (Vol. 6).

1.157. Ibrahim González-Marrero, Luis G. Hernández-Abad, Emilia M. Carmona-Calero, Leandro Castañeyra-Ruiz, José A. Abreu-Reyes and Agustín Castañeyra-Perdomo Systemic Hypertension Effects on the Ciliary Body and Iris. An Immunofluorescence Study with Aquaporin 1, Aquaporin 4, and Na⁺, K⁺ ATPase in Hypertensive Rats. Cells 2018, 7, 210. DOI: 10.3390/cells7110210.

1.158. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks SCENIHR Health Effects of Artificial Light The SCENIHR adopted this opinion at its 17th plenary meeting on 19 March 2012.

1.159. Light and Ocular health Articles assembled by Energy Focus Inc March 2015.

1.160. Электронная версия учебного пособия В.Н. Карнаухова «Люминесцентный анализ клеток» (подготовлена в Электронном издательстве «Аналитическая микроскопия» под редакцией проф. А.Ю. Буданцева).

1.161. Муранов К.О., Островский М.А. Молекулярная физиология и патология хрусталика глаза. – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2013. – 304.

1.162. Федорович И.Б., Зак П.П., Островский М.А. Повышенное УФ-пропускание хрусталика глаза в раннем детстве и его возрастное пожелтение / Докл. РАН. 1994, т. 336. – С. 835–837.

1.163. Степанова Л.В., Сычев Г.М., Кратасюк В.А., Светлова О.В. Физиологические особенности водообменных процессов в хрусталиках животных с учетом фазы аккомодации // Офтальмологический журнал. – 2017. – №6 (479). – С. 37–48.

1.164. Степанова Л.В. Транспортные функции эпителия хрусталика (биофизические аспекты). Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. – Красноярск, 2005. – С. 50.

1.165. R. Menapace Posterior capsulorhexis combined with optic buttonholing: an alternative to standard in-the-bag implantation of sharp-edged intraocular lenses? A critical analysis of 1000 consecutive cases Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol (2008) 246: 787–801.

1.166. Белодедова А.В., Анисимова Н.С., Шилова Н.Ф., Гелястанов А.М., Малютина Е.А., Власенко А.В., Малюгин Б.Э. Деградация связки Вигера при слабости связочного аппарата хрусталика: миграция частиц хрусталика в пространство Бергера при фемтолазер-ассистированной факоэмульсификации. Верификация интраоперационным ОКТ (клинический случай) // Современные технологии в офтальмологии. – №4. – 2018. – С. 40–42.

1.167. Mattheu Gold MG1, Reichow SL, O'Neill SE, Weisbrod CR, Langeberg LK, Bruce JE, Gonen T, Scott JD. AKAP2 anchors PKA with aquaporin-0 to support ocular lens transparency. EMBO Mol Med. 2012 Jan;4 (1):15–26. DOI: 10.1002/emmm.201100184. Epub 2011 Nov 16.

1.168. S. Sindhu Kumari and K. Varadaraj. Aquaporin 0 plays a pivotal role in refractive index gradient development in mammalian eye lens to prevent spherical aberration *Biochem Biophys Res Commun.* 2014 Oct 3; 452 (4): 986–991.

1.169. Vorontsova Irene, Gehring Ines, Hall James E. and Schilling Thomas F. Aqp0a Regulates Suture Stability in the Zebrafish Lens *IOVS j June 2018 j. Vol. 59 j, No. 7 j.*

1.170. Sherwin Justin C., Kokavec Jan and Thornton Simon N. Hydration, fluid regulation and the eye: in health and disease, *Clinical & Experimental Ophthalmology*, 2015. View at Publisher • View at Google Scholar. C. 16.

1.171. Paul J. Donaldsonab, Angus C. Greya, Bianca Maceo Heilmana, Julie C. Limab, Ehsan Vaghefi. The physiological optics of the lens *Progress in Retinal and Eye Research Volume 56, January 2017, Pages 1–24.*

1.172. Schey Kevin L., Petrova Rosica S., Gletten Romell B. and Donaldson Paul J. The Role of Aquaporins in Ocular Lens Homeostasis *Int. J. Mol. Sci.* 2017, 18, 2693. DOI: 10.3390/ijms18122693.

1.173. Сумеркина В. А. Роль аквапоринов в поддержании прозрачности хрусталика (экспериментальное исследование): Диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. – Челябинск, 2010.

1.174. Амханицкая Л. И. Изменение стекловидного тела при различных патологических состояниях глазного яблока // *Российская детская офтальмология.* – №2, 2014.

1.175. Мельникова Л. И. Химический состав жидких сред глаза при различном уровне офтальмотонуса: Диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. – Москва, 2018. – 137 с.

1.176. Peynshaert K., Devoldere J., De Smedt S. C., Remaut K. In vitro and ex vivo models to study drug delivery barriers in the posterior segment of the eye, *Adv. Drug Deliv. Rev.* (2017). DOI: 10.1016/j.addr.2017.09.007.

1.177. Coleman D. J., Jack R. L. B-scan Ultrasonography in Diagnosis and Management of Retinal Detachment. – *Arch. Ophthalmol.*, 1973, vol. 90, p. 29–34.

1.178. Сукманский О. И., Гоженко И. А., Колиев В. И., Сукманский И. О. Аквапорины и слюнные железы // *Успехи современной биологии.* – 2012. – Т. 132, №2. – С. 167–180.

1.179. Justin L.L. Wilson, Carlos A. Miranda, and Mark A. Knepper *Clin Exp Nephrol. Vasopressin and the Regulation of Aquaporin-2* *Clin Exp Nephrol.* 2013 Dec; 17 (6): 10.1007/s10157-013-0789-5. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3775849/>.

1.180. За что отвечает вазопрессин? <https://gormonys.ru/secretion/gipotalamus/vazopressin.html>.

1.181. Биологические часы управляют выделением гормона вазопрессина – регулятора выведения воды. <https://www.eurolab.ua/news/world-news/33856/>.

1.182. Абдуллин Е. А., Бабич М. Е. Развитие стекловидного тела глаза человека // *Морфология.* – 2006. – Т. 129, №4. – С. 15.

1.183. Азнабаев М. Т., Казакбаев А. Г., Сайдашева Э. И. и др. Анатомо-биометрические параметры глаз новорожденных // *Сборник научных трудов «Возрастные особенности органа зрения в норме и при патологии».* – М., 1992. – С. 47–48.

1.184. Абдуллин Е. А. Гистологический мониторинг стекловидного тела в гидродинамике развивающегося глаза человека: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Владивосток, 2008. – С. 10–20.

1.185. Резник Н. Л. Взгляд из глубины. <https://www.hij.ru/read/articles/medicine/6999/>.

1.186. Щеголева Т. А. Оценка состояния стекловидного тела на основе цифрового ультразвукового анализа. – Федеральное государственное бюджетное научное

учреждение «Научно-исследовательский институт глазных болезней». – Москва, 2015.

1.187. Charles S. Nickerson, John Park, Julia A. Kornfield and Hampar Karageozian. Rheological properties of the vitreous and the role of hyaluronic acid. *Journal of biomechanics*, 41 (9): 1840–1846, 2008.

1.188. Xhevat Lumi, Marko Hawli, Damjan Glava, Andrea Facskó, Morten C. Moe, Kai Kaarniranta, Goran Petrovski. Ageing of the vitreous: From acute onset floaters and flashes to retinal detachmentX. Lumi et al. / *Ageing Research Reviews* 21 (2015), 71–77.

1.189. Антелава Д. И. и др. Первичная отслойка сетчатки – этиопатогенез, диагностика, лечение. 1986.

1.190. Вит В.В. Строение зрительной системы человека. – Одесса: «Астропринт», 2003. – С. 221–280.

1.191. Бабич М. Е. Гистофизиология стекловидного тела глаза человека в норме и при патологии: Дис. ... канд. мед. наук. – Владивосток, 2005. – С. 10–113.

1.192. Benjamin A. Filas; Ying-Bo Shui; David C. Beebe Computational Model for Oxygen Transport and Consumption in Human Vitreous Investigative Ophthalmology & Visual Science October 2013, vol. 54, 6549–6559. DOI: 10.1167/iovs.13–12609.

1.193. Островский М. А. Молекулярная физиология зрительной рецепции // Избранные лекции по современной физиологии. – Казань, 2010.

1.194. Островский М. А. Актуальные направления современной науки о мозге // Вестник РАН. – 2010. – Т. 80, № 5–6.

1.195. Островский М. А. Молекулярная физиология зрительного пигмента родопсина // Биологические мембраны. – 2012. – Т. 29, № 1–2.

1.196. Донцов А. Е., Сережникова Н. Б., Воспелникова Н. Д., Левин П. П., Зак П. П. Исследование механизмов фотомодуляции митохондриальной цитохром с оксидазы при действии низкодозового синего (450 нм) облучения // Бутлеровские сообщения. – Т. 55, № 9. – 2018. – С. 22–28.

1.197. Сережникова Н. Б., Погодина Л. С., Творогова А. В., Зак П. П. Исследование митохондриальной активности клеток ретинального пигментного эпителия при низкодозовом светодиодном облучении // Клиническая и экспериментальная морфология. – № 4 (28). – 2018. – С. 28–33.

1.198. Донцов А. Е., Сережникова Н. Б., Погодина Л. С., Гурьева Т. С., Зак П. П. Патологическая физиология и экспериментальная терапия. – Т. 62, № 3. – 2018. – С. 25–30.

1.199. Донцов А. Е., Воробьев И. А., Зольникова И. В., Погодина Л. С., Поташникова Д. М., Сережникова Н. Б., Зак П. П. Фотобиомодулирующее действие низкодозового светодиодного облучения синего диапазона (450 нм) на митохондриальную активность // Сенсорные системы; издательство «Наука» (М.). – Т. 31, № 4. – С. 311–320.

1.200. Савельева-Новоселова Н. А., Савельев А. В. Принципы офтальмонейрокибернетики // Сб. «Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы». – Донецк-Таганрог-Минск, 2009. – С. 117–120.

1.201. <https://glazaizrenie.ru/stroenie-glaza/setchatka-glaza-stroenie-i-funksii-osnovnye-patologii/>.

1.202. Franze K., Grosche J., Skatchkov S.N., Schinkinger S., Foja C., Schild D., Uckermann O., Travis K., Reichenbach A., Guck J. (2007): Müller cells are living optical fibers in the vertebrate retina. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 104 (20): 8287–8292.

1.203. Bonilha V.L. Age and disease-related structural changes in the retinal pigment epithelium // *Clin Ophthalmol*. 2008. Vol. 2, № 2. P. 413–424.

1.204. Lehmann G.L., Benedicto I., Philp N.J., Rodriguez-Boulan E. Plasma membrane protein polarity and trafficking in RPE cells: past, present and future // *Exp Eye Res*. 2014. Vol. 126. P. 5–15.

1.205. Strauss O. The retinal pigment epithelium in visual function // *Physiol Rev.* 2005. Vol. 85. P. 845–881.

1.206. Bavik C., Henry S.H., Zhang Y., Mitts K., Mc Ginn T., Budzynski E., Pashko A., Lieu K.L., Zhong S., Blumberg B., Kuksa V., Orme M., Scott I., Fawzi A., Kubota R. Visual Cycle Modulation as an Approach toward Preservation of Retinal Integrity // *PLoS One.* 2015. Vol. 10, № 5. e0124940.

1.207. Kefalov V.J. Rod and cone visual pigments and phototransduction through pharmacological, genetic, and physiological approaches // *J Biol Chem.* 2012. Vol. 287, № 3. P. 1635–1641.

1.208. Keeling E., Lotery A.J., Tumbarello D.A., Ratnayaka J.A. Impaired Cargo Clearance in the Retinal Pigment Epithelium (RPE) Underlies Irreversible Blinding Diseases // *Cells.* 2018. Vol. 7, № 2. pii: E16.

1.209. Comitato A., Subramanian P., Turchiano G., Montanari M., Becerra S.P., Marigo V. Pigment epithelium-derived factor hinders photoreceptor cell death by reducing intracellular calcium in the degenerating retina // *Cell Death Dis.* 2018. V. 9, № 5. P. 560–572.

1.210. Jeffrey Adjanto. Metabolic acid transport in human retinal pigment epithelium. Dissertation submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, 2010. – С. 180.

1.211. Дмитриев Е.В. Квантовая биофизика: метод. указания / Е.В. Дмитриев, И.Е. Савостина. – Воронеж: ВГМА, 2009. – 16 с.: ил.

1.212. Хацевич Т.Н. Физиологическая оптика. – Новосибирск, 1998. – Ч. 1. – 98 с.

1.213. Морозкина Т.С., Мойсеенок А.Г. Витамины. – Минск: Асар, 2002. – С. 58–63.

1.214. Богинская О.А. Экспериментально клиническое обоснование применения интегрированной технологии в лечении прогрессирующей близорукости у детей: Диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. – 2014. – С. 124.

1.215. Богинская О.А. Патент РФ №2494708 от 10.10.2013 «Способ лечения прогрессирующей близорукости у детей» / Обрубов С.А., Богинская О.А., Румянцев С.А. и др.

1.216. McFadden S. A., Howlett M. H., Mertz J. R. Retinoic acid signals the direction of ocular elongation in the guinea pig eye // *Vision Research.* 2004. Vol. 44, No. 7. P. 643–653.

1.217. McFadden S. A., Howlett M. H., Mertz J. R. et al. Acute effects of dietary retinoic acid on ocular components in the growing chick // *Experimental Eye Research.* 2006. Vol. 83, No. 4. P. 949–961.

1.218. Seko Y., Shimokawa H., Tokoro T. In vivo and in vitro association of retinoic acid with form-deprivation myopia in the chick // *Experimental Eye Research.* 1996. Vol. 63, No. 4. P. 443–452.

1.219. Iuvone P. M., Tigges M., Stone R. A. et al. Effects of apomorphine, a dopamine receptor agonist, on ocular refraction and axial elongation in a primate model of myopia // *Investigative Ophthalmology and Visual Science.* 1991. Vol. 32, No. 5. P. 1674–1677.

1.220. Chambon P. A decade of molecular biology of retinoic acid receptors // *The Journal of the Federation of American Societies for Experimental Biology* 1996. Vol. 10, No. 9. P. 940–954.

1.221. Yan D. S., Zhou X. T., Chen X. Y. et al. Expression of retinoid acid receptors in human scleral fibroblasts and regulation of growth of fibroblasts by retinoic acid // *Zhonghua Yan Ke Za Zhi.* 2007. Vol. 43, No. 8. P. 750–753.

1.222. Wallman J., Winawer J. Homeostasis of eye growth and the question of myopia // *Neuron*. 2004. Vol. 43, No. 4. P. 447–468.

1.223. Yan D. S., Zhou X. T., Chen X. Y. et al. Expression of retinoid acid receptors in human scleral fibroblasts and regulation of growth of fibroblasts by retinoic acid // *Zhonghua Yan Ke Za Zhi*. 2007. Vol. 43, No. 8. P. 750–753.

1.224. Zhou G., Strom R. C., Giguere V. et al. Modulation of retinal cell populations and eye size in retinoic acid receptor knockout mice // *Molecular Vision*. 2001. Vol. 7. P. 253–260.

1.225. Kim R. Y., Walter H. S. Retinoids and butyrate modulate fibroblast growth and contraction of collagen matrices // *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 1990. Vol. 31, No. 6. P. 1183–1186.

1.226. Ganesan P., Wildsoet C. F. Pharmaceutical intervention for myopia control // *E [pert Review of Ophthalmology*. – 2010. Vol. 5, №6. – P. 759–787.

1.227. Black R. E., Allen L. H., Bhutta Z. A., Caulfield L. E., de Onis M., Ezzati M., Mathers C., Rivera J. Maternal and child undernutrition: global and regional exposures and health consequences (англ.) // *The Lancet*. – 2008. – Vol. 371, No. 9608. – P. 243–260.

1.228. Micronutrient deficiencies. Vitamin A deficiency (англ.). World Health Organization. Дата обращения 8 апреля 2008. Архивировано 17 августа 2013 года.

1.229. Обеспечение безопасности при светодиодном освещении. <http://www.electronicweekly.com/news/products/led/ensuring-safety-in-led-lighting-2012-11/>.

1.230. Ensuring safety in LED lighting [Электронный ресурс] // *Electronics Weekly.com*. – 2012. – URL: <http://www.electronicweekly.com/news/products/led/ensuring-safety-in-led-lighting-2012-11> (дата обращения: 02.10.2016).

1.231. Sliney D. H. Health and safety implications of new lighting technologies // *Light and Engineering*. – 2010. – Vol. 18, №4. – P. 20–22.

1.232. Мешков В. В. Основа светотехники. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 416 с.

1.233. Хацевич Т. Н. Медицинские оптические приборы: Физиологическая оптика: учебное пособие. – Новосибирск: СГГА, 1998. – Ч. 1. – 98 с.

1.234. Пенегин Н. И. Влияние яркости и размера поля зрения на диаметр зрачка // *Труды I конф. по физиол. оптике*. – М.; Л., 1936. – 396 с.

1.235. Электронно-оптический преобразователь (ЭОП) [Электронный ресурс]. – URL: <http://go-radio.ru/electronno-opticheskiy-preobrazovatel.html> (дата обращения: 10.10.2016).

1.236. Marshall J. Understanding risks of phototoxicity on the eye [Электронный ресурс] // *Points de Vue, International Review of Ophthalmic Optics*. – 2014. – №71. – URL: <http://www.pointsdevue.com/article/understanding-risks-phototoxicity-eye> (дата обращения: 10.10.2016).

1.237. ГОСТ ИЕС/TR 60825-9-2013. Безопасность лазерной аппаратуры. Ч. 9. Компиляция максимально допустимой экспозиции некогерентного оптического излучения [Электронный ресурс]. – М.: Стандартинформ, 2014. – 36 с. – URL: <http://gostpdf.ru/cont/files/60825-9-2013/gost-60825-9-2013.13333.pdf> (дата обращения: 02.10.2016).

1.238. ГОСТ Р МЭК 62471–2013. Лампы и ламповые системы. Светобиологическая безопасность. – М., 2013. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200104817> (дата обращения: 10.10.2016).

1.239. Watson A. B., Yellott J. I. A unified formula for light-adapted pupil size // *Journal of Vision*. – 2012. – Vol. 12, №12. – P. 1–16. DOI: 10.1167/12.10.12.

1.240. Берман С. М., Клиер Р. Д. Недавно открытый фоторецептор человека и предыдущие исследования в области зрения // *Светотехника*. – 2008. – №3. – С. 49–53.

1.241. Melanopsin and Rod – Cone Photoreceptors Play Different Roles in Mediating Pupillary Light Responses during Exposure to Continuous Light in Humans Melanopsin and Rod – Cone / J.J. Gooley, I.H. Mien, M.A. St. Hilaire, S.-C. Yeo, E. Chern-Pin Chua, E. van Reen, C.J. Hanley, J.T. Hull, C.A. Czeisler, S.W. Lockley // *Journal of Neuroscience*. – 2012. – Vol. 32, №41. – P. 14242–14253. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1321–12.2012.

1.242. Contribution of human melanopsin retinal ganglion cells to steady-state pupil responses / Sei-ichi Tsujimura, K. Ukai, D. Ohama, A. Nuruki, K. Yunokuchi // *Proc. R. Soc. B*. – 2010. – Vol. 277. – P. 2485–2492. DOI: 10.1098/rspb.2010.0330.

1.243. Adhikari P., Zele A. J., Feigl B. Post-Illumination Pupil Response // *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. – 2015. – Vol. 56. – P. 3838–3849. DOI: 10.1167/iov.14–16233.

1.244. Characterization of structure and function of the mouse retina using pattern electroretinography, pupil light reflex, and optical coherence tomography / K. Mohan, M.M. Harper, H. Kecova, E.A. Ye, T. Lazic, D.S. Sakaguchi, R.H. Kardon, S.D. Grozdanic // *Vet. Ophthalmol.* – 2012. – Vol. 15, №2. – P. 94–104. DOI: 10.1111/j.1463–5224.2012.01034.x.

1.245. Effect of simultaneous exposure to extremely short pulses of blue and green light on human pupillary constriction / S. Lee, S. Ishibashi, Y. Shimomura, T. Katsuura // *Journal of Physiological Anthropology*. – 2016. – Vol. 35. – P. 20. DOI: 10.1186/s40101-016-0109-3.

1.246. Nissen C., Sander B., Lund-Andersen H. The Effect of Pupil Size on Stimulation of the Melanopsin Containing Retinal Ganglion Cells, as Evaluated by Monochromatic Pupillometry // *Frontiers in Neurology*. – 2011. – Vol. 2. – P. 92. DOI: 10.3389/fneur.2011.00092.

1.247. Maynard M.L., Zele A.J., Feigl B. Melanopsin-Mediated Post-Illumination Pupil Response in Early AgeRelated Macular Degeneration // *Investigative Ophthalmology & Visual Science* October. – 2015. – Vol. 56. – P. 6906–6913. DOI: 10.1167/iov.15–17357.

1.248. The post-illumination pupil response of melanopsin-expressing intrinsically photosensitive retinal ganglion cells in diabetes / B.L. Feigl, A.J. Zele, S.M. Fader, A.N. Howes, C.E. Hughes, K.A. Jones, R. Jones // *Acta Ophthalmol.* – 2012. – Vol. 90, №3. – P. 230–234. DOI: 10.1111/j.1755–3768.2011.02226.x.

1.249. Дейнего В.Н., Капцов В.А. Свет энергосберегающих и светодиодных ламп и здоровье человека // *Гигиена и санитария*. – 2013. – №6. – С. 81–84.

1.250. Профилактика глазных заболеваний у детей и подростков в учебных помещениях со светодиодными источниками света первого поколения / В.Н. Дейнего, В.А. Капцов, Л.И. Балашевич, О.В. Светлова, Ф.Н. Макаров, М.Г. Гусева, И.Н. Кошиц // *Российская детская офтальмология*. – 2016. – №2. – С. 57–72.

1.251. Дорошева Е.А. Эволюционный подход к вопросам формирования близорукости: перестройка зрительного анализатора как адаптация к социокультурным условиям // *Экспериментальная психология*. – 2014. – Т. 7, №3. – С. 83–96.

1.252. Классификация исполнительных механизмов «предметной» аккомодации у человека / И.Н. Кошиц, О.В. Светлова, Ф.Н. Макаров, Г.А. Шилкин // *Российская детская офтальмология*. – 2012. – №4. – С. 28–36.

1.253. Бакуткин В.В., Киричук В.Ф., Кузнецова Э.В. Влияние динамической электронной стимуляции на аккомодационные способности глаза человека // *Проблемы оптической физики и биофотоники: материалы XIII Междунар. молодежной научной школы по оптике, лазерной физике и биофотонике*. – Саратов: Новый вектер, 2009. – 219 с.

1.254. Николаенко Г. А. Цилиарное тело глаза человека в онтогенезе: дис. ... канд. мед. наук. – Владивосток: Владивостокский государственный медицинский университет, 2005. – 140 с.

1.255. Цилиарное тело [Электронный ресурс] // Все новости офтальмологии: национальный офтальмологический проект. – URL: <http://www.eyenews.ru/12/13/112> (дата обращения: 15.10.2016).

1.256. Федоров С. Н., Ярцева Н. С., Исманкулов А. О. Рефракция и аккомодация. Глазные болезни. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., 2005. – 440 с.

1.257. Navarro R., Santamaria J., Bescós J. Accommodation-dependent model of the human eye with aspherics // Journal of the Optical Society of America A. – 1985. – Vol. 2, №8. – P. 1273–1280. DOI: 10.1364/JOSAA. 2.001273.

1.258. Tarrant J., Roorda A., Wildsoet C. F. Determining the accommodative response from wavefront aberrations // Journal of Vision. – 2010. – Vol. 10, №5. – P. 4.

1.259. Реакция зрачков при установке глаз на близкое расстояние [Электронный ресурс] // Современная офтальмология: информационный портал. – URL: <http://zrenue.com/nejrooftalmologija/51-normalnye-reakcii-suzhenija-zrachkov/387-reakcija-zrachka-pri-ustanovke-glaz-na-blizkoe-rasstojanie.html> (дата обращения: 15.10.2016).

1.260. Plainis S. Accommodative response: Physiology and Behaviour [Электронный ресурс] // 10th Aegean Summer School in Visual Optics Hevsnisos Crete 02.10–04.10, 2011. – URL: <http://publicana.ru/files/mehanizmakkommodacii-glaza.pdf> (дата обращения: 24.10.2016).

1.261. Chirre E., Prieto P. M., Artal P. Dynamics of the near response under natural viewing conditions with an open-view sensor // Biomed Opt Express. – 2015. – Vol. 6, №10. – P. 4200–4211. DOI: 10.1364/BOE. 6.004200/.

1.262. Doyle L., Saunders K. J., Little J.-A. Trying to see, failing to focus: near visual impairment in Down syndrome [Электронный ресурс] // Scientific Reports. – 2016. DOI: 10.1038/srep20444. – URL: <http://www.nature.com/articles/srep20444> (дата обращения: 15.10.2016).

1.263. Plainis S., Ginis H. S., Pallikaris A. The effect of ocular aberrations on steady-state errors of accommodative response // J. Vis. – 2005. – Vol. 5, №7. – P. 466–477.

1.264. Аветисов С. Э., Шелудченко В. М. Нужно ли нам супер-зрение? Аберрации глаза [Электронный ресурс] // Клиническая физиология глаза. – 2006. – С. 488–501. – URL: <http://miroft.org.ua/originalarts/315.html> (дата обращения: 13.10.2016)

1.265. Светлова О. В., Кошиц И. Н. Взаимодействие основных путей оттока внутриглазной жидкости с механизмом аккомодации: учебное пособие. – СПб.: Издат. дом СПб. МАПО, 2002. – 50 с.

1.266. Светлова О. В., Кошиц И. Н., Дроздова Г. А. Взаимодействие механизмов оттока водянистой влаги и аккомодации при миопии и глаукоме. Патологическая физиология глаза: монография. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Изд-во СЗГМУ им. И. И. Мечникова, 2016. – 160 с.

1.267. Першин Б. С. Гидродинамический баланс глазного яблока при интравитреальном введении дополнительного объема жидкости (экспериментально-клиническое исследование): дис.... канд. мед. наук. – М., 2012. – 124 с.

1.268. Huang E. C., Varocas V. H. Accommodative microfluctuations and iris contour // Journal of Vision. – 2006. – Vol. 6, №5. – P. 653–660.

1.269. Исследование эффективности и безопасности для здоровья светодиодных источников света/М. В. Осико, О. А. Гизингер, Л. Ф. Телешева, И. И. Долгушин, О. И. Огнева, А. А. Федосов, А. В. Кудряшов, М. Г. Вахитов, А. С. Калинина // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – №6. – С. 566.

1.270. Effect of simultaneous exposure to extremely short pulses of blue and green light on human pupillary constriction/S. Lee, S. Ishibashi, Y. Shimomura, T. Katsuura // *Journal of Physiological Anthropology*. – 2016. – Vol. 35. – P. 20. DOI: 10.1186/s40101-016-0109-3.

1.271. McDougal D. H., Gamlin P.D. R. Pupillary Control Pathways // *The Senses: A Comprehensive Reference*. – 2008. – Vol. 1. – P. 521–536.

1.272. Myopia and age-related cataract: a systematic review and meta-analysis/C. W. Pan, C. Y. Cheng, S. M. Saw, J. J. Wang, T. Y. Wong // *Am. J. Ophthalmol.* – 2013. – Vol. 156, №5. – P. 1021–1033.

1.273. Дашевский А. И. Ложная близорукость. – 1973. – С. 152.

1.274. Кошиц И. Н., Светлова О. В. Механизм формирования адекватной длины глаза в норме и метаболическая теория патогенеза приобретенной миопии // *Офтальмологический журнал*. – № 5, 2011. – С. 4–22.

1.275. Потапов А. В. Общие закономерности и тканевые механизмы поражения сетчатки и зрительного нерва при комбинированном воздействии ионизирующей радиации и света (экспериментальное исследование): Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора медицинских наук. – Томск, 2006.

1.276. Зуева М. В. Отчет по направлению «Глио-нейрональные взаимодействия в сетчатке как маркеры патологического процесса и реакции организма на воздействии факторов среды» для Проблемной Комиссии РАМН по хронобиологии и хрономедицине за 2008 год.

1.277. Реакции радиальной глии сетчатки на комбинированное воздействие ионизирующей радиации и света высокой интенсивности // *Материалы Российской конференции «Организм и окружающая среда. жизнеобеспечение и защита человека в экстремальных условиях»*, Москва, 26–29 сентября 2000. – С. 147.

1.278. Reichenbach Andreas, Wurm Antje, Pannicke Thomas, Iandiev Ianors, Wiedemann Peter, Bringmann Andreas. Müller cells as players in retinal degeneration and edema. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology* May 2007, Volume 245, Issue 5, pp. 627–636.

1.279. <https://webvision.med.utah.edu/book/part-ii-anatomy-and-physiology-of-the-retina/glial-cells-of-the-retina/>.

1.280. Luna Gabriel, Neuroscience Research Institute, University of California Santa Barbara Astrocytes of entire retinal surface. <https://wellcomecollection.org/works/x8bvsvyhg>.

1.281. <https://www.theguardian.com/science/gallery/2011/feb/24/wellcome-image-awards-2011-pictures/>.

1.282. Thomas C. Burdett and Marc R. Freeman Astrocytes eyeball axonal mitochondria. Retinal neurons transfer mitochondria to astrocytes for rapid turnover to meet energy demands. *Science*. 2014 Jul 25; 345 (6195): 385–386.

1.283. Masanori Tachikawa, Ken-ichi Hosoya, Sylvia B. Smith, Pamela M. Martin and Vadivel Ganapathy. Transport of drugs across the inner and outer blood-retinal barriers: Relevance of transporters in the retinal blood vessel endothelium and the retinal pigment epithelium. *Advances in Ocular Drug Delivery*, 2012: 1–31. ISBN: 978-81-308-0490-3.

1.284. Yoon Kyung Choi & Kyu-Won Kim Blood-neural barrier: its diversity and coordinated cell-to-cell communication NeuroVascular Coordination Research Center, College of Pharmacy and Research Institute of Pharmaceutical Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea BMB Rep. 2008 May 31; 41 (5): 345–52. [http://bmbreports.org/jbmb/jbmb_files/%5B41-5%5D1003021730_\(345-352\)BMB095\(08-131\).pdf](http://bmbreports.org/jbmb/jbmb_files/%5B41-5%5D1003021730_(345-352)BMB095(08-131).pdf).

1.285. Gautam Sikka, G. Patrick Hussmann, Deepesh Pandey, Suyi Cao, Daijiro Hori, Jong Taek Park, a Jochen Steppan, Jae Hyung Kim, Viachaslau Barodka, Allen C. Myers, Lakshmi Santhanam, Daniel Nyhan, Marc K. Halushka, Raymond C. Koehler, Solomon H. Snyder, Larissa A. Shimoda, and Dan E. Berkowitz Melanopsin mediates

light-dependent relaxation in blood vessels Proc Natl Acad Sci U S A. 2014 Dec 16; 111 (50): 17977–17982.

1.286. Dinesh Kankanamge, Kasun Ratnayake, Saroopa Samaradivakara and Ajith Karunarathne. Melanopsin (Opn4) utilizes G α i and G β γ as major signal transducers. The Company of Biologists Ltd | Journal of Cell Science (2018) 131, jcs212910. DOI: 10.1242/jcs.212910.

1.287. <https://www.glazmed.ru/lib/eye/elder-0045.shtml>.

1.288. Сигаева А. О., Сержникова Н. Б., Погодина Л. С., Трофимова Н. Н., Дадашева О. А. Гурьева Т. С., Зак П. П. Изменения сосудистой оболочки глаза разновозрастных групп японского перепела *coturnix japonica* в зависимости от спектрально-го состава освещения // Сенсорные системы. – 2015, том 29, № 4.

1.289. Speed Billy R. Hammond Jr. PhD Lutein's Influence on Neural Processing 114th Abbott Nutrition Research Conference Cognition and Nutrition. www.ANHI.org. 8–9 April 2013. Columbus, Ohio, USA.

1.290. Трофимова Н. Н., Зак П. П., Островский М. А. Сенсорные системы, функциональная роль каротиноидов желтого пятна сетчатки глаза. – 2003, т. 17, № 3, с. 198–208.

1.291. X Li, D Kelly, J M Nolan, J L Dennison The evidence informing the surgeon's selection of intraocular lens on the basis of light transmittance properties Eye. Volume 31, pages 258–272 (2017).

1.292. Yuying Ji, Xiongze Zhang, Kunfang Wu, Yu Su, Chengguo Zuo, Hui Chen, Meng Li and Feng Wen Macular pigment optical density in a healthy Chinese population Acta Ophthalmol. 2015, 93: e550 – e555.

1.293. Billy R. Hammond, Jr; Thomas A. Ciulla; D. Max Snodderly. Macular Pigment Density Is Reduced in Obese Subjects. IOVS, January 2002, Vol. 43, No. 1.

1.294. Laurent Jonet, Kimberley Delaunay, Yvonne De Kozak, Marianne Berdugo, Min Zhao, Patricia Crisanti, Francine Behar-Cohen. Mechanisms of macular edema: Beyond the surface. Progress in Retinal and Eye Research Volume 63, March 2018, Pages 20–68.

1.295. Зак П. П., Зыкова А. В., Трофимова Н. Н., Островский М. А. Японский перепел *Coturnix japonica* как модель ускоренного старения сетчатки глаза человека. Сообщение 1. Зависимость накопления липофусцина в клетках ретинального пигментного эпителия от уровня содержания ретинальных оксикаротиноидов // Офтальмохирургия. – № 1, 2013.

1.296. Subtypes of retinal Müller glial cells as adaptations to specialized vision. http://pfi.medizin.uni-leipzig.de/pfi.site,postext,retinal-glia-cell-research,a_id,2419.html.

1.297. Labin A. M. et al. Müller cells separate between wavelengths to improve day vision with minimal effect upon night vision, Nat Comm, 5: 4319, 2014.

1.298. Kristian Franze, Jens Grosche, Serguei N. Skatchkov, Stefan Schinkinger, Christian Foja, Detlev Schild, Ortrud Uckermann, Kort Travis, Andreas Reichenbach, and Jochen Guck Müller cells are living optical fibers in the vertebrate retina.

1.299. Labin A. M. et al. Müller cells separate between wavelengths to improve day vision with minimal effect upon night vision, Nat Comm, 5: 4319, 2014.

1.300. Amichai M. Labin¹, Shadi K. Safuri^{2 n3}, Erez N. Ribak¹ & Ido Perlman²Müller cells separate between wavelengths to improve day vision with minimal effect upon night vision Nature Communications volume 5, Article number: 4319 (2014).

1.301. Silke Agte, Stephan Junek, Sabrina Matthias, Elke Ulbricht, Ines Erdmann, Antje Wurm, Detlev Schild, Josef A. Käs, and Andreas Reichenbach. Müller Glial Cell-provided guidance on cellular light through retina retinal Vital Ginea-Pig. Biophys J. 2011 Dec 7; 101 (11): 2611–2619.

1.302. James Loughmana, Peter A. Davisona, John M. Nolanb, Mukunda C. Akkalib, Stephen Beattyb. Macular pigment and its contribution to visual performance and experience. *J Optom.* 2010; 3 (2): 74–90.

1.303. Blue Light and Digital Eye Strain Educating Patients and Providing Solutions Anne-Marie Lahr, OD. <http://www.coavision.org/files/105-%20BlueLight.pdf>.

1.304. John A. Medeiros. Color Vision: A New Understanding. Cones and Color.net. Retrieved 11 августа, 2011. <http://www.conesandcolor.net/home.html>.

1.305. Gerald C. Huth, Ph.D. A Modern Explanation for Light Interaction with the Retina of the Eye Based on Nanostructural Geometry: Rethinking the Vision Process". Ghuth.com. Retrieved 11 августа, 2011. <http://www.ghuth.com/>.

1.306. <http://www.turbosquid.com/3d-models/max-rods-cones-eye-anatomy/570819>.

1.307. <http://mail.colonial.net/~hkaiter/electromagspectrum.html>.

1.308. The Cone Spectrometer Model C. http://conesandcolor.net/_F_CSM.html.

1.309. Магомедов Ф. М., Меликов И. М. Моделирование транспортной задержки на регулируемом перекрестке // *Технология, средства механизации и энергетическое оборудование.* – 4 (28), 2014.

1.310. John A. Medeiros. Color Vision: A New Understanding (<http://www.conesandcolor.net/CVaNU.pdf>).

1.311. Островский М. А. Фотобиологический парадокс зрения [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.library.biophys.msu.ru/PDF/3353.pdf> (дата обращения: 17.08.2017). <http://docplayer.ru/26983685-Fotobiologicheskij-paradoks-zreniya.html>.

1.312. Witkovsky P. Dopamine and retinal function. *Doc. Ophthalmol.* 2004; 108: 17–40.

1.313. Каладзе Н. Н., Соболева Е. М., Скоромная Н. Н. Изучение физиологических, патогенетических и фармакологических эффектов мелатонина: итоги и перспективы // «Здоровье ребенка». – 2 (23), 2010 / Теоретична медицина. <http://studentdoctorprofessor.com.ua/ru/node/877>.

1.314. Анисимов В. Н. Хронометр жизни // *Природа.* – № 7, 2007.

1.315. Котова О. В. Роль мелатонина в лечении депрессии // *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика.* – 2011.

1.316. Brittany J. Carr and William K. Stell. The Science Behind Myopia. <https://webvision.med.utah.edu/book/part-xvii-refractive-errors/the-science-behind-myopia-by-brittany-j-carr-and-william-k-stell/>.

1.317. Feldkaemper M. & Schaeffel F. An updated view on the role of dopamine in myopia. *Exp Eye Res* 114, 106–119. DOI: 10.1016/j.exer.2013.02.007 (2013). [PubMed].

1.318. Carr B. J. & Stell W. K. Nitric Oxide (NO) Mediates the Inhibition of Form-Deprivation Myopia by Atropine in Chicks. *Scientific Reports* 6, 9. DOI: 10.1038/s41598-016-0002-7 (2016). [PubMed].

1.319. Kolb H. Roles of Amacrine Cells. *Webvision: The Organization of the Retina and Visual System*, (Online). <http://webvision.med.utah.edu> (2012).

1.320. Fischer A. J., Morgan I. G. & Stell W. K. Colchicine causes excessive ocular growth and myopia in chicks. *Vision Res* 39, 685–697. DOI: 10.1016/S0042–6989(98)00178–3 (1999). [PubMed].

1.321. Ehrlich D., Sattayasai J., Zappia J. & Barrington M. Effects of selective neurotoxins on eye growth in the young chick. *Ciba Found Symp* 155, 63–84; discussion 84–68 (1990). [PubMed].

1.322. Wallman J. & Winawer J. Homeostasis of eye growth and the question of myopia. *Neuron* 43, 447–468. DOI: 10.1016/j.neuron.2004.08.008 (2004).

1.323. Обрубов С. А., Хамнагдаева Н. В., Семенова Л. Ю., Порядин Г. В., Салмасы Ж. М. Экспериментальные модели осевой близорукости: подходы к изучению механизмов развития // *Российская детская офтальмология* // № 2, 2015.

- 1.324. Seang-Mei Saw, Beuerman R. W., Tan Donald T. H., Wong TienYin. Myopia: animal models to clinical trials. – World Scientific Comp., Singapore, 2010. – 390 p.
- 1.325. Luo T., Sakai Y., Wagner E. et al. Retinoids, eye development, and maturation of visual function // *Journal of Neurobiology*. – 2006. – Vol. 66, №7. – P. 677–686.
- 1.326. Кубена К., Галатик А., Смечка З. // *Материалы Международного симпозиума «Патогенез близорукости, профилактика ее прогрессирования и осложнений»*. – М., 1990. – С. 31–35.
- 1.327. Лейн Б. Алиментарные факторы риска развития фибриллярной и стекловидного ее тела при миопии и нефибриллярной дегенерации. Патогенез близорукости, профилактика прогрессирования осложнений // *Материалы международного симпозиума «Патогенез близорукости, профилактика ее прогрессирования и осложнений»*. – М., 1990. – С. 35–41.
- 1.328. McBrien N. A., Cornell L. M., Gentle A. Structural and ultrastructural changes to the sclera in a mammalian model of high myopia // *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* – 2001. – Vol. 42. – P. 2179–2187.
- 1.329. Norton T. T., Rada J. A. Reduced extracellular-matrix in mammalian sclera with induced myopia // *Vision Res.* – 1995. – Vol. 35. – P. 1271–1281.
- 1.330. Sellheyer K., Spitznas M. Development of the human sclera. A morphological study // *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.* – 1998. – Vol. 226. – P. 89–100.
- 1.331. Avetisov E. S., Savitscaya N. F., Vinetscaya M. I., Iomdina E. N. A study of biochemical and biomechanical qualities of normal and myopic eye sclera in humans of different age groups // *Metab. Pediatr. Syst. Ophthalmol.* – 1984. – Vol. 7. – P. 183–188.
- 1.332. Siegwart J. T., Norton T. T. The time course of changes in mRNA levels in tree shrew sclera during induced myopia and recovery // *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* – 2002. – Vol. 43. – P. 2067–2075.
- 1.333. Gental A., Liu Y., Martin J. E., et al. Collagen gene expression and the altered accumulation of sclera collagen during the development of high myopia // *J. Biol. Chem.* – 2003. – Vol. 278. – P. 16587–16594.
- 1.334. Chambon P. A decade of molecular biology of retinoic acid receptors // *The Journal of the Federation of American Societies for Experimental Biology* – 1996. – Vol. 10, №9. – P. 940–954.
- 1.335. Yan D. S., Zhou X. T., Chen X. Y. et al. Expression of retinoic acid receptors in human scleral fibroblasts and regulation of growth of fibroblasts by retinoic acid // *Zhonghua Yan Ke Za Zhi*. – 2007. – Vol. 43, №8. – P. 750–753.
- 1.336. Maden M. Vitamin A and pattern formation in the regenerating limb // *Nature*. – 1982. – Vol. 295, 5851. – P. 672–675.
- 1.337. Tickle C., Alberts B. M., Wolpert L. et al. Local application of retinoic acid to the limb bud mimics the action of the polarizing region // *Nature*. – 1982. – Vol. 296 (5857). – P. 564–566.
- 1.338. McFadden S. A., Howlett M. H., Mertz J. R. et al. Acute effects of dietary retinoic acid on ocular components in the growing chick // *Experimental Eye Research*. – 2006. – Vol. 83, №4. – P. 949–961.
- 1.339. Zhang M., Chen W. G., Smith S. M., Napoli J. L. Molecular characterization of a mouse short chain dehydrogenase/reductase active with all-trans-retinol in intact cells, mRDH1 // *Journal of Biology and Chemistry*. – 2001. – Vol. 276, №47. – P. 44083–44090.
- 1.340. Luo T., Sakai Y., Wagner E. et al. Retinoids, eye development, and maturation of visual function // *Journal of Neurobiology*. – 2006. – Vol. 66, №7. – P. 677–686.
- 1.341. Leenheer P., Lambert W. E., Claeys I. All-trans-retinoic acid: measurement of reference values in human serum by high performance liquid chromatography // *Journal of Lipid Research*. – 1982. – Vol. 23, №9. – P. 1362–1367.

1.342. Дейнего В. Н., Капцов В. А., Сорока А. И. Влияние света и физических полей на риск дисгармонизации синтеза мелатонина в шишковидной железе // Анализ риска здоровью. – 2014. – № 2. – С. 30–41.

1.343. Aging, circadian rhythms and depressive disorders: a review / I. Campos Costa, H. Nogueira Carvalho, L. Fernandes // *Am. J. Neurodegener Dis.* – 2013. – № 2. – P. 228–246.

1.344. Дейнего В. Н., Капцов В. А. Свет энергосберегающих светодиодных ламп и здоровье человека // *Гигиена и санитария.* – 2013. – № 6. – С. 81–84.

1.345. A New Concept for Melatonin Deficit: On Pineal Calcification and Melatonin Excretion / Dieter Kunz M., Stephan Schmitz MD, Richard Mahlberg MD, Anabelle Mohr, Christiane Stöter, Karl-Jürgen Wolf MD and Werner Martin Herrmann MD // *Neuropsychopharmacology.* – 1999. – № 21. – P. 765–772.

1.346. Calcite Microcrystals in the Pineal Gland of the Human Brain: First Physical and Chemical Studies/Simon Baconnier, Sidney B. Lang, Maria Polomska, Bozena Hilczer, Garry Berkovic, Guilia Meshulam // *Bioelectromagnetics.* – 2002. – № 23. – P. 488–495.

1.347. Degree of pineal calcification (DOC) is associated with polysomnographic sleep measures in primary insomnia patients / Richard Mahlberg, Thorsten Kienast, Sven Ha. del a, Jens Olaf Heidenreich Stephan Schmitz, Dieter Kunz. – URL: [www.melatonina.it/farma/download/degree of pineal calcification. pdf](http://www.melatonina.it/farma/download/degree%20of%20pineal%20calcification.pdf) (дата обращения: 09.04.2014).

1.348. Конкременты эпифиза человека при шизофрении / С. В. Савельев, Е. А. Ерофеева, Е. И. Фокин, В. И. Гулимова, Нору Де Клерк, А. А. Постнов // *Архив патологии.* – 2004. – № 4. – С. 13–16.

1.349. Морфогенез и пространственная организация конкрементов эпифиза человека при болезни Альцгеймера, шизофрении и алкоголизме / Е. И. Фокин, С. В. Савельев, В. И. Гулимова, Е. В. Асадчиков, Р. А. Сенин, А. В. Бузмаков // *Архив патологии.* – 2006. – № 5. – С. 20–22.

1.350. Фокин Е. И. Морфология шишковидной железы человека в позднем постнатальном онтогенезе, при болезни Альцгеймера и шизофрении: дис. ... канд. мед. наук. – М., 2008. – 157 с.

1.351. The Cause of Autism: A Hypothesis. Autism Viewed as a Consequence of Pineal Gland Malfunction / By Andrea Axt // Polish scientific journal “Farmakoterapia w Psychiatrii i Neurologii”. – № 98, 1. – P. 112–134

1.352. Chinoy N.J. Fluoride in the environment // Fluoride in medicine, biology and toxicology. – Warsaw, Poland: Katedra i Zaklad Biochemii i Chemii Pomorskiej Akademii Medycznej, 2003. – P. 5–33.

1.353. Luke J. Fluoride deposition in the aged human pineal gland/School of Biological Sciences, University of Surrey, Guildford, UK // *Caries Res.* – 2001. – № 35 (2). – P. 125–128.

1.354. Luke J.A. The effect of fluoride on the physiology of the pineal gland. A dissertation submitted to the School of Biological Sciences/University of Surrey, in fulfilment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy. – Guildford, 1997.

1.355. Сорока А. И., Джанджгава Г. И., Августов Л. И. Состояние разработок бортового гравиградиентного модуля для систем автономной навигации и контроля окружающей среды // Сборник трудов V Научно-практической конференции «Микротехнологии в авиации и космонавтике». – М., 2007.

1.356. Shishegar N., Boubekri M. Natural Light and Productivity: Analyzing the Impacts of Daylighting on Students' and Workers' Health and Alertness Int'l Journal of Advances in Chemical Engg., & Biological Sciences (IJACEBS). Vol. 3, Issue 1 (2016). ISSN 2349–1507. EISSN 2349–1515.

1.357. Bellia L., Bisegna F. and Spada G. Lighting indoor environment: visual and non-visual light sources with different spectral power distribution, *Building and Environment*, vol. 46, pp. 1984–1992, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.04.007>.

1.358. Heerwagen J.H. Green buildings, organizational success, and occupant productivity, *Building Research and Information*, vol. 28 (5), pp. 353–367, 2000. <http://dx.doi.org/10.1080/096132100418500>.

1.359. Vandewalle G., Maquet P. and Dijk D.J. Light as a modulator of cognitive brain function, *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 13, pp. 429–438, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tics.2009.07.004>.

1.360. Baker L. *A History of School Design and Its Indoor Environmental Standards, 1900 to Today*. Washington, DC: National Clearinghouse for Educational Facilities, 2011, pp. 39–45.

1.361. Kuller R., Lindsten C. Health and behavior of children in classrooms with and without windows. *Journal of Environmental Psychology*, vol. 12, pp. 305–17, 1992. [http://dx.doi.org/10.1016/S0272-4944\(05\)80079-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0272-4944(05)80079-9).

1.362. Heschong Mahone Group. *Windows and Classrooms: A Study Of Student Per-Formance And The Indoor Environment*. Sacramento, CA: California Energy Commission; 2003.

1.363. IES RP-5–13. *Recommended Practice for Daylighting Buildings*. Illuminating Engineering Society, 2013.

1.364. Boubekri M. *Daylighting, Architecture and Health*, NY: Architectural Press, 2008.

1.365. Sharp F., Lindsey D., Dols J., Coker J. The use and environmental impact of daylighting, *Journal of Cleaner Production*, vol. 85, pp. 462–471, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.092>.

1.366. Boyce P., Hunter C. and Howlett O. *The Benefits of Daylight through Windows*, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, New York, 2003.

1.367. Jusle H. and Tenner A. Mechanisms involved in enhancing human performance by changing the lighting in the indus.

1.368. C.L. Robbins, *Daylighting: Design and Analysis*, New York: Van Nostrand Reinhold, 1986. Trial workplace, *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 35, pp. 843–855, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2005.03.002>.

1.369. Robbins C.L. *Daylighting: Design and Analysis*, New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

1.370. Edwards L., Torcellini P.A. and N.R. E. A literature review of the effects of natural light on building occupants, *National Renewable Energy Laboratory*, 2002.

1.371. Romm J.J. and Browning W.D. *Greening the building and the bottom line – Increasing productivity through energy-efficient design*, Rocky Mountain Institute, 1994.

1.372. Borisuit A., Linhart F., Scartexxini J. and Munch M. Effects of realistic office daylighting and electric lighting conditions on visual comfort, alertness and mood, *lighting Res, Technol.*, [Online], vol. 0, pp. 1–18. Available: lrt.sagepub.com.

1.373. Boubekri M., Cheung L., Reid K., Wang C. and Zee P. Impact of windows and daylight exposure on overall health and sleep quality of office workers: A case-control pilot study, *Journal of Clinical Sleep Medicine*, vol. 10 (6), pp. 603–611, 2014. <http://dx.doi.org/10.5664/jcs.m.3780>.

1.374. Markussen S. and Røed K. Daylight and absenteeism – Evidence from Norway, *Economics and Human Biology*, vol. 16, pp. 73–80, 2014. 1-s².0-S1570677X 14000252-main.

1.375. Demir A. Impact of daylight on student and teacher performance, *Journal of Educational and Instructional Studies in the World*, vol. 3 (1), pp. 1–7, 2013.

1.376. Raymond Johnson, Leo J., Bernabei M. Green Building Design for Schools: The Next Time Around, Strategic Planning for Energy and the Environment, vol. 26 (2), pp. 56–77, 2006. <http://dx.doi.org/10.1080/10485230609509711>.

1.377. Dass M. Anselm, Ibrahim N., Lukman N. Evaluation of daylighting at public school classrooms in Ipoh, Perak, Alam Cipta, vol. 7 (1), pp. 27–34, 2014.

1.378. National Research Institute (National Research Council), Green Schools: Attributes for Health and Learning, Washington: The National Academies Press, 2007.

1.379. Heschong L., Roger L., Wright S. Daylighting impacts on human performance in school. Journal of Illuminating Engineering Society Summer, 101–114, 2002.

1.380. Taylor A. and Engass K. Linking Architecture and Education: Sustainable Design For Learning Environments. China: University of New Mexico Press, 2009.

1.381. Kim T., Hong W., Kim H. Daylight evaluation for educational facilities established in high-rise housing complexes in Daegu, South Korea, Building and Environment, vol. 78, pp. 37–144, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.04.026>.

1.382. Aggio D., Smith L., Fisher A. and Hamer M. Association of Light Exposure on Physical Activity and Sedentary Time in Young People, International Journal of Environmental Research and Public Health, vol. 12, pp. 2941–2949, 2015. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph120302941>.

1.383. Lockley S. W. et al. Short-wavelength sensitivity for the direct effects of light on alertness, vigilance, and the waking electroencephalogram in humans, Sleep Physiology, vol. 29, pp. 161–168, 2006.

1.384. Figueiro M. G., Rea M. S. Lack of short-wavelength light during school day delays dim light melatonin onset (DLMO) in middle school students, Neuroendocrinology Letters, vol. 31, pp. 92–96, 2010.

1.385. Vandewalle G. Brain responses to violet, blue, and green monochromatic light exposures in humans: prominent role of blue light and the brainstem, PLoS ONE, vol. 2, pp. 1239–1247, 2007. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0001247>.

1.386. Figueiro M. G. and Rea M. S. Evening daylight may cause adolescents to sleep less in spring than in winter, Chronobiology International, vol. 27, pp. 1242–1258, 2010a. <http://dx.doi.org/10.3109/07420528.2010.487965>.

1.387. Keis O., Helbig H., Streb J., Hille K. Influence of blue-enriched classroom lighting on students' cognitive performance, Trends in Neuroscience and Education, vol. 3, pp. 86–92, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tine.2014.09.001>.

1.388. Corbett R.W., Middleton B., Arendt J. An hour of bright white light in the early morning improves performance and advances sleep and circadian phase during the Antarctic winter, Neurocience Letters, vol. 525 (2), pp. 146–151, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neulet.2012.06.046>.

1.389. Smolders K. C., De Kort Y.A., Tenner A. D. and Kaiser F. G. Need for recovery in offices: Behavior-based assessment, Journal of Environmental Psychology, vol. 32, pp. 126–134, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvp.2011.12.003>.

1.390. Vandewall G. et al. Daytime light exposure dynamically enhances brain responses, Curr Biol, vol. 16 (16), pp. 1616–21, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2006.06.031>.

1.391. Leichtfried V. et al. Intense illumination in the morning hours improved mood and alertness but not mental performance, Applied Ergonomics, vol. 46, pp. 54–59, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2014.07.001>.

1.392. Kantermann T., Forstner S., Halle M., Schlangen L., Roenneberg T., Schmidt-Trucksass A. The stimulating effect of bright light on physical performance depends on internal time, PLoS ONE, vol. 7 (7), pp. 406–55, 2012. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0040655>.

1.393. Fracchini F.A., Cesarani D., Alpini D., Esposti D., Stankov B.M., Melatonin influences human balance, *Biol. Signals Recept.* Vol. 8 (1-2), pp. 111–119, 1999. <http://dx.doi.org/10.1159/000014578>.

1.394. Abdelatia Belal, Marenne Christian. Daylighting Strategy for Sustainable Schools: Case Study of Prototype Classrooms in Libya *Journal of Sustainable Development.* Vol. 3, No. 3; September 2010.

1.395. Mirrahimi Seyedehzahra, Lukman Nik, Ibrahim Nik, Surat M. Effect of daylighting on Computational Methods in Science and Engineering. www.wseas.us/e-library/conferences/2013/Malaysia/MACMESE/MACMESE-20.pdf.

1.396. Plympton P., Conway S. and Epstein K. Daylighting in Schools-Improving Student.

1.397. Wittkopf S.K., Yuniarti E. and Soon L.K. Prediction of energy savings with anidolic integrated ceiling across different daylight climates, *Energy and buildings*, vol. 38, 2006, pp. 1120–1129.

1.398. Baker N. and Steemers K. Daylight design of buildings, Earthscan / James & James, 2002.

1.399. Perkins B., Bordwell R. and Eastman P. Building type basics for elementary and secondary schools: John Wiley & Sons, INC., 2010.

1.400. Garcia-Hansen V.R. Innovative daylighting systems for deep-plan commercial buildings, 2006.

1.401. Boyce P., Hunter C. and Howlett O. The benefits of daylight through windows, Troy, New York: Rensselaer Polytechnic Institute, 2003.

1.402. Stevens R.G. and Rea M.S. Light in the built environment: potential role of circadian disruption in endocrine disruption and breast cancer, *Cancer causes and control*, vol. 12, 2001, pp. 279–287.

1.403. Woolner P. The design of learning spaces: Continuum, 2010.

1.404. Boubekri M. Daylighting, architecture and health: Routledge, 2012.

1.405. Heerwagen J., Heubach J., Montgomery J. and Weimer W. Environmental design, work, and well being: managing occupational stress through changes in the workplace environment, *Aaohn Journal*, vol. 43, 1995, pp. 458–458.

1.406. Maslach C. and Jackson S.E. Maslach Burnout Inventory: MBI: Consulting psychologists press, 1981.

1.407. Revicki D.D. A., Dr Harold J. and Whitley D.T. W. Reliability and validity of the workrelated strain inventory among health professionals, *Behavioral Medicine*, vol. 17, 1991, pp. 111–120.

1.408. Cooper C.L. and Payne R. Causes, coping, and consequences of stress at work vol. 18: John Wiley & Sons, 1988.

1.409. Djamila H., Ming C.C. and Kumaresan S. Estimation of exterior vertical daylight for the humid tropic of Kota Kinabalu city in East Malaysia, *Renewable Energy*, vol. 36, 2011, pp. 9–15.

1.410. Shameri M.A., Alghoul M., Sopian K., Zain M.F.M. and Elayeb O. Perspectives of double skin façade systems in buildings and energy saving, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, 2011, pp. 1468–1475.

1.411. Al-Mohaisen A. and Khattab O. Green Classroom: Daylighting-conscious Design for Kuwait Autism Center.

1.412. Atré U.V. Effect of daylighting on energy consumption and daylight quality in an existing elementary school, 2005.

1.413. Mirrahimi Seyedehzahra, Tawil N.M., Abdullah N.A. G., Surat M., and Usman I.M. S. Developing Conducive Sustainable Outdoor Learning: The Impact of Natural Environment on Learning, Social and Emotional Intelligence,"*Procedia Engineering*, vol. 20, 2011, pp. 389–396.

1.414. Edwards L., Torcellini P.A. and N.R. E. Laboratory. A literature review of the effects of natural light on building occupants: National Renewable Energy Laboratory, 2002.

1.415. Liberman J. Light: Medicine of the Future: how We Can Use it to Heal Ourselves Now: Bear & Co, 1990. [39] L. Heschong, Day lighting and student performance, ASHRAE J, vol. 44, 2002, pp. 65–67.

1.416. Heschong L. Day lighting and student performance, ASHRAE J, vol. 44, 2002, pp. 65–67.

1.417. Gelfand L. Sustainable school architecture: Design for elementary and secondary schools: Wiley, 2010. [25] A.E. Cakir, Light and Health, Influences of lighting on health and well-being of office and computer workers, Ergonomic Institute for Social and Occupational Sciences Research Co., Ltd., Berlin, 1991.

1.418. Heschong L., Mahone D., K. uttaiah K., Stone N., Chappell C., McHugh J., Burton J., Okura S., Wright R. and Erwin B. Skylighting and retail sales: an investigation into the relationship between daylighting and human performance, San Francisco, CA: Pacific Gas and Electric Co, 1999, pp. 12–13.

1.419. Atre U. V. Effect of daylighting on energy consumption and daylight quality in an existing elementary school, 2005.

1.420. Nicklas M. and Bailey G. Analysis of the performance of students in daylight schools in Proceedings of the National Passive Solar Conference, 1996, pp. 132–137.

1.421. Daylight and indoor climate in a renovated danish school by Jens Christoffersen, Anna Karina Hammelev Hansen, Karsten Andersen, Peter Foldbjerg, Thorbjørn Færing Asmussen, VELUX Group. <http://thedaylightsite.com/indoor-climate-in-a-renovated-danish-school/>.

1.422. Daylight velux educational Daylight, Energy and Indoor Climate Course web presentation for architects v-hu/2017.

1.423. Correlation between Kindergarten Test Scores and Adult Outcomes, evidence from Project Star Source: Chetty et al. (2010). <http://www.hks.harvard.edu/fs/jfriedm/STAR.pdf>.

1.424. How Does Your Kindergarten Classroom Affect Your Earnings? Evidence from Project STAR. Raj Chetty, Harvard John N. Friedman, Harvard Nathaniel Hilger, Harvard Emmanuel Saez, UC Berkeley Diane Schanzenbach, Northwestern Danny Yagan, Harvard May 2011. <https://slideplayer.com/slide/13331273/>.

1.425. Sunlight Does Explain the Protective Effect of Outdoor Activity Against Myopia Journal of Eye Diseases and Disorders Dharani R, J Eye Dis Disord 2018, 3: 3.

1.426. Myopia: A close look at efforts to turn back a growing problem. <https://optometry.osu.edu/news/2017-10-05/myopia-close-look-efforts-turn-back-growing-problem>.

1.427 CLEERE study: <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT00000169> (link is external).

1.428 Jones-Jordan L.A. et al. 2012. Time outdoors, visual activity, and myopia progression in juvenile-onset myopes. Clinical and Epidemiologic Research 53: 7169–7175.

1.429. Wu P. C. et al. 2013. Outdoor activity during class recess reduces myopia onset and progression in school children. Ophthalmology, 120 (5): 1080–5.

1.430. Morgan, IG. 2016. What public policies should be developed to deal with the epidemic of myopia? Optom Vis Sci 93: 1058–1060.

1.431. Lan W., Feldkaemper M., Schaeffel F. (2014). Intermittent episodes of bright light suppress myopia in the chicken more than continuous bright light. PloS one. 9: e110906.

1.432. Энергоэффективное электрическое освещение: учебное пособие / С. М. Гвоздев, Д. И. Панфилов, Т. К. Романова и др.; под ред. Л. П. Варфоломеева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 288 с.

1.433. Сидоров М. А. От лучины до электричества // Научно-популярная библиотека. Выпуск 56, под редакцией проф. Капцова Н. А. Государственное издательство технико-теоретической литературы. – Москва, 1953. – С. 70. <http://docplayer.ru/45054034-Ot-luchiny-do-elektrichestva.html>.

1.434. Электричество в древнем Египте. Опубликовано 03.05.2019. <https://kuhniliona.ru/elektrichestvo-v-drevnem-egipte/>.

1.435 Here are six science experiments for cold winter days you should definitely try at home. <https://www.pri.org/stories/2015-01-12/here-are-six-science-experiments-cold-winter-days-you-should-definitely-try-home>.

1.436. Jwo-Huei Jou et al. Sunlight-style color-temperature tunable organic light-emitting diode. Applied Physics Letters 95, 013307 (2009).

1.437. Миронов В. Б. Древняя Греция. Система образования: школы и учителя в античном мире. <https://history.wikireading.ru/133413>.

1.438. Милетский гимнасий. Стадион в Милете. Гимнасий в Приене. Пергамская библиотека. Мусейон в Александрии. <https://archisto.info/dr-grecya-ellinizm-gimnasy.html>.

1.439. Эрисман Ф. Ф. Избранные произведения / Ф. Ф. Эрисман. – М.: Медгиз, 1959. – Т. 1. – 390 с.

1.440. Medvedev A. V. Hygienic methods of prevention of emergence and progressing of school. The journal of scientific articles “Health & education millennium”, 2013, vol. 15, № 1–4, short-sightedness.

1.441. Дейнего В. Н., Капцов В. А., Балашевич Л. И., Светлова О. В., Макаров Ф. Н., Гусева М. Г., Кошиц И. Н. Профилактика глазных заболеваний: светобиологическая безопасность и гигиена энергосберегающих источников света // Глаз. – № 1 (107). – 2016. С. 18–33.

1.442. Капцов В. А., Дейнего В. Н. Нарушение меланопсिनного эффекта сужения зрачка – фактор риска заболевания глаз // Анализ риска здоровью. – 2017. – № 1. – С. 132–148. DOI: 10.21668/health.risk/2017.1.15.

1.443. Капцов В. А., Дейнего В. Н., Уласюк В. Н. Полупроводниковые источники белого света с биологически адекватным спектром излучения // Глаз. – № 1 (119). – 2018. – С. 25–38.

1.444. Капцов В. А., Дейнего В. Н. Фотобиологическая безопасность и техническая политика на светодиодном рынке // Энергосовет. – № 4 (46), 2016.

1.445. Лобатовкина Е. Г. Поповский Ю. Б. Становление российской светотехники в области нормирования естественного освещения в конце XIX – начале XX / Е. Г. Лобатовкина, Ю. Б. Поповский // Светотехника. – 2014. – № 3. – С. 34–39.

1.446. Кучма В. Р. Вопросы истории гигиены и охраны здоровья детей в России (250-летний юбилей научного центра здоровья детей РАМН) // Вопросы школьной и университетской медицины и здоровья. – № 3, 2013.

1.447. Эрисман Ф. Влияние школ на происхождение близорукости. – СПб., 1870.

1.448. Инж. Фрюлинг. Основы расчета и измерений дневного освещения внутри зданий / перевод с немецкого инж. И. Николаева // Современная архитектура. – 1929. – № 2. – С. 51–55.

1.449. Эрисман Ф. Ф. Избранные произведения / Ф. Ф. Эрисман – М.: Медгиз, 1959. – Т. 1. – 390 с.

1.450. <https://www.siemens.com/global/en/home/company/about/history/technology/home-appliances-and-lighting-technology/lighting-technology.html>.

1.451. Гвоздев С. М., Панфилов Д. И., Романова Т. К. и др.; Энергоэффективное электрическое освещение: учебное пособие / Под ред. Л. П. Варфоломеева. – М. Издательский дом МЭИ, 2013. – 288 с.

1.452. By Arthur A. Bright, Jr. The electric-lamp and Economic Development from 1800 to 1947. Massachusetts Institute of Technology Studies of Innovation. The macmillan company-New York 1949. – С. 513. <http://www.edisontechcenter.org/ArcLamps.html>.

1.453. Шемаев А. М. Новые источники света // Электричество. – № 4. – Госэнергоиздат, 1941. – С. 4–8. <http://docplayer.ru/26798696-1941-g-o-s-e-n-e-r-g-o-i-z-d-a-t.html>.

1.454. Kruihof A. A. Tubular Luminescence Lamps for General Illumination, Philips Technical Review 6, pp. 65–96 (1941).

1.455. Исследования производительности труда и утомления при различных условиях освещения // Светотехника. – № 3, 1957. – С. 28–29.

1.456. Untersuchungen über Leistung und Ermüdung des Menschen bei verschiedenen Lichtbedingungen. Lichttechnik, 1956, № 7.

1.457. Борисова Л. А., Жилон Ю. Д., Ноарова Е. Н., Сидорова Т. Н., Спичкина Э. П. Обоснование оптимальных уровней освещенности для учебных помещений школ // Светотехника. – № 11, 1978. – С. 4–6.

1.458. Жилон Ю. Д. К механизму развития миопической рефракции // Гигиена и санитария. – 1972, № 2. – С. 45–48.

1.459. Кейдель В. Физиология органов чувств (пер. с нем.). – М.: Медицина, 1975. – 216 с.

1.460. Милнер П. Физиологическая психология (пер. с англ.). – М.: Мир, 1973. – С. 647.

1.461. Мешков В. В., Епанешников М. М. Осветительные установки. – М.: Энергия, 1972.

1.462. Скобарева З. А., Текшева Л. М. Биологические аспекты гигиенической оценки естественного и искусственного освещения // Светотехника. – № 4, 2003. – С. 7–13.

1.463. Гончаров Н. П., Киреев Н. Н. Зрительная работоспособность при естественном и искусственном освещении // Светотехника. – 1977. – № 9. – С. 5–7.

1.464. Маркова Е. Ю., Пронько Н. А., Аминулла Л. В., Венедиктова Л. В., Безмельницына Л. Ю. К вопросу о школьной близорукости // Офтальмология. 2018; 15 (1): 87–91. DOI: 10.18008/1816-5095-2018-1-87-9.

1.465. <http://yablor.ru/blogs/prezidentskaya-komissiya-menyayet-orientaciyu/378345>.

1.466. Шевченко А. С. Энергоэффективное освещение в школах – путь к сохранению здоровья учащихся // Энергосовет. – Выпуск № 6 (19), 2011.

1.467. Долин Е. В., Звездина И. В., Надеждин Д. С., Текшева Л. М., Шмаров И. А. Сравнительная гигиеническая оценка условий освещения люминесцентными лампами и светодиодными источниками света // Светотехника. – 2011, № 1. – С. 48–52.

1.468. Амеликина С. А., Железникова О. Е., Сеницына Л. Д. Об эффективности освещения светодиодами по зрительной работе // Светотехника. – № 2, 2018. – С. 6–10.

1.469. Железникова О. Е., Амеликина С. А., Сеницына Л. Д., Куликова М. П. Исследования условий светодиодного освещения // Вестник Мордовского университета. – 2014. – № 1–2. – С. 89–97.

1.470. By Professor John Marshall The Blue Light Paradox: Problem or Panacea² CPD in Australia | 0.5G in New Zealand | 27 July 2017.

1.471. <http://greenbelarus.info/articles/10-03-2016/mezhdu-dvuh-ogney-primenenie-svetodiodyh-lamp-v-shkolah-mozhet-sokratit>.

- 1.471. Ильина И. У., Частухина Т. Н. Методика контроля освещения рабочих мест в промышленности // Новости светотехники. – Выпуск 1 (39), под редакцией Айзенберга Ю. Б. – М.: Дом Света, 2004. – С. 32.
- 1.472. Мельников Д. А. О школьном освещении // Светотехника. – № 2, 2018. – С. 15–17.
- 1.473. Su-Kyung Jung, Jin Hae Lee, Hirohiko Kakizaki, and Donghyun Jee Prevalence of Myopia and its Association with Body Stature and Educational Level in 19-Year-Old Male Conscripts in Seoul, South Korea. IOVS, August 2012, Vol. 53.
- 1.474. Капцов В. А., Дейнего В. Н. Фотобиологическая безопасность и техническая политика на светодиодном рынке // Энергосовет. – № 4 (46), 2016.
- 1.475. WELL Building Standard® Version 1.0 October 20th 2014. С. 214.
- 1.476. Капцов В. А., Дейнего В. Н. Уласюк В. Н. Полупроводниковые источники белого света с биологически адекватным спектром излучения // Глаз. – № 1 (119). – 2018. – С. 25–38.
- 1.477. <https://d2caх41o7ahm5l.cloudfront.net/cs/pdfs/pediatric-ophthalmology-2018-23511final-resolution-of-the-3rd-global-pediatric-congress-london-201846825.pdf>.
- 1.478. Кошиц И. Н., Эгембердиев М. Б. О научных итогах III Глобального конгресса по детской офтальмологии // Поле зрения. – № 3/2018. – С. 24–25.
- 1.479. <http://energosoвет.ru/news.php?zag=1526641773>.
- 1.480. Долин Е. В. Экспертная справка. К проекту «Стратегия развития фотоники – научно-технологической отрасли, производящей продукцию лазерных, оптических и оптоэлектронных технологий на среднесрочную (до 2025 г.) и долгосрочную (до 2035 г.) перспективу». https://yadi.sk/i/wGOхOBNT-T_тхА.
- 1.481. Сидоров М. А. От лучины до электричества // Научно-популярная библиотека. – Выпуск 56, под редакцией проф. Капцова Н. А. Государственное издательство технико-теоретической литературы. – Москва, 1953. – С. 70. <http://docplayer.ru/45054034-Ot-luchiny-do-elektrichestva.html>.
- 1.482. <https://milaap.org/fundraisers/neonatal-baby>, <http://retinopathyofprematurity.org/index.html>.
- 1.483. Parag K. Shah, Vishma Prabhu, Smita S. Karandikar, Ratnesh Ranjan, Venkatapathy Narendran and Narendran Kalpana Retinopathy of prematurity: Past, present and future. World J Clin Pediatr. 2016 Feb 8; 5 (1): 35–46.
- 1.484. Hans Peter Aleff. Baby-blinding retinopathy of prematurity and intensive care nursery lighting April 1991. https://www.researchgate.net/publication/257656572_Baby-blinding_retinopathy_of_prematurity_and_intensive_care_nursery_lighting.
- 1.485. Reynolds James D., Hardy Robert J., Kennedy Kathleen A., Spencer Rand, Fielder Alistair R. For the Light Reduction in Retinopathy (LIGHT-ROP) Cooperative Group. Lack of efficacy of light reduction in preventing retinopathy of prematurity.
- 1.486. http://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescent_lamp.
- 1.487. Требования СанПиН к естественному и искусственному освещению медицинских учреждений. <http://org.company-era.ru/services/sanpin-dlya-meduchrezhdeniy/osveshchenie-po-sanpin-v-meduchrejdjeniyah/>.
- 1.488 A comparison of traditional and high colour temperature lighting on the near acuity of elementary school children SM Bermans Phd, M Navvabb Phd FIES, Lighting Res. Technol. 38, 1 (2006), pp. 41–52.
- 1.489. Piepenbrock C., Mayr S., Buchner A. Smaller pupil size and better proofreading performance with positive than with negative polarity displays. Ergonomics. 2014; 57 (11): 1677. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25135324>.
- 1.490. Басманова Е. Д., Перевошикова Н. К., Кальмова С. Е. Выпускник интернатного учреждения: медико-социальные проблемы, возможности выбора жизненного пути // Мать и дети в Кузбассе. – № 2 (29), 2007.

- 1.491. <http://www.k-to.ru/ru/interesting/obor/detail.php?ID=683&print=Y>.
- 1.492. Association for the Conservation of Energy A. report for Megaman Mapping knowledge on low energy lamps and health» 21 May, 2009.
- 1.493. Здоровый свет. Жестокая плата за зрение. <http://newsland.com/community/1805/content/zdorovyi-svet-zhestokaia-plata-za-zrenie/751448>.
- 1.494. Флуоресцентные лампы «Philips»: экологичное решение (<http://www.magazine-svet.ru/blogs/gossips/?category=82>).
- 1.495. CELMA_ELC_LED_WG (SM) 011_ELC_CELMA_position_paper_optical_safety_LED_lighting_Final_1st_Edition_July2011.pdf. <http://www.lightin-europe.org/uploads/files/>.
- 1.496. Лосев О.В. Детектор – генератор; детектор – усилитель. («Телеграфия и телефония без проводов», 1922, № 14].
- 1.497. Полубарьева О.С., Михайлова Т.Л. Судьба О.В. Лосева, изобретателя полупроводниковой техники, в контексте российского сценария развития науки. <https://scienceforum.ru/2013/article/2013008343>.
- 1.498. Бугров В.Е., Виноградова К.А. Оптоэлектроника светодиодов: учебное пособие. – 2013.
- 1.499. Капцов В.А., Сосунов Н.Н., Викторов В.С., Шищенко И.И., Тулушев В.Н., Дейнего В.Н., Бухарева Е.А., Мурашова М.А., Шищенко А.А. Функциональное состояние зрительного анализатора при использовании традиционных и светодиодных источников света // Гигиена и санитария. – 2014. – Т. 93, №4. – С. 120–123.
- 1.500. Zhi-Chun Zhao,1,2 Ying Zhou,2 Gang Tan,2 and Juan Li1 Research progress about the effect and prevention of blue light on eyes Int J Ophthalmol. 2018; 11 (12): 1999–2003.
- 1.501. Abhishek S. Prayag, Mirjam Münch, Daniel Aeschbach, Sarah L. Chellappa and Claude Gronfier Light Modulation of Human Clocks, Wake and Sleep Clocks&Sleep 2019, 1, 193–208. DOI: 10.3390/clockssleep1010017. www.mdpi.com/journal/clocks-sleep.
- 1.502. Arnault E., Barrau C., Nanteau C. et al. Phototoxic action spectrum on a retinal pigment epithelium model of age-related macular degeneration exposed to sunlight normalized conditions. PLoS ONE. 2013; 8 (8): e71398.
- 1.503. Капцов В.А., Дейнего В.Н. Восприятие цвета при светодиодном освещении – риски здоровью // Анализ риска здоровью. – 2017. – №2. – С. 16–25. DOI: 10.21668/health.risk/2017.2.02.
- 1.504. Теория Юнга – Гельмгольца [Электронный ресурс] // Справочник химика 21: химия и химическая технология. – URL: <http://chem21.info/info/279269/> (дата обращения: 03.07.2016).
- 1.505. Бакуткин В.В., Киричук В.Ф., Кузнецова Э.В. Влияние динамической электронной стимуляции на аккомодационные способности глаза человека // Проблемы оптической физики и биофотоники: материалы XIII Междунар. молодежной научной школы по оптике, лазерной физике и биофотонике. – Саратов: Новый век, 2009. – 219 с.
- 1.506. Берман С.М., Клиер Р.Д. Недавно открытый фоторецептор человека и предыдущие исследования в области зрения // Светотехника. – 2008. – №3. – С. 49–53.
- 1.507. Дейнего В.Н., Иванов В.Ф. Радуга цветов изоляции проводов в свете светодиодного освещения [Электронный ресурс] // Кабель-news. – 2013. – №2. – URL: http://www.ruscable.ru/article/Raduga_cvetov_izolyacii_provodov_v_svete_svetodiodnogo_osveshheniya (дата обращения: 18.06.2016).
- 1.508. Клиническая анатомия органа зрения: части цилиарного тела [Электронный ресурс] // StudFiles: файловый архив студентов. – URL: <http://www.studfiles.ru/preview/2243441/page:7/> (дата обращения: 15.10.2016).

1.509. Navarro R., Santamaría J., Bescós J. Accommodation-dependent model of the human eye with aspherics // Journal of the Optical Society of America A. – 1985. – Vol. 2, № 8. – P. 1273–1280. DOI: 10.1364/JOSAA. 2.001273.

1.510. Plainis S., Ginis H. S., Pallikaris A. The effect of ocular aberrations on steady-state errors of accommodative response // J. Vis. – 2005. – Vol. 5, № 7. – P. 466–477.
16. Tarrant J., Roorda A., Wildsoet C. F. Determining the accommodative response from wavefront aberrations // Journal of Vision. – 2010. – Vol. 10, № 5. – P. 4.

1.511. Tarrant J., Roorda A., Wildsoet C. F. Determining the accommodative response from wavefront aberrations // Journal of Vision. – 2010. – Vol. 10, № 5. – P. 4.

1.512. Исследования визуального восприятия красных железнодорожных светофоров на основе светоизлучающих диодов / Д. Р. Агафонов, М. А. Мурашова, С. Г. Никифоров, О. П. Пинчук, Р. И. Столяревская [Электронный ресурс] // Светотехника. – 2003. – № 6. – URL: www.led-e.ru/assets/files/pdf/Svetodiode-svetofor.pdf.

1.513. Effects of turn-signal color on reaction times to brake signals / Ju. Luoma, M. J. Flannagan, M. Sivak, M. Aoki, E. C. Traube. – Michigan, 1995. – 19 p.

1.514. Flannagan M. J., Blower D. F., Devonshire J. M. Effects of Warning Lamp Color and Intensity on Driver Vision: Report of work on Non-Blinding Emergency Vehicle Lighting (NBEVL). – Michigan, 2008. – 54 p.

1.515. Müller cells separate between wavelengths to improve day vision with minimal effect upon night vision [Электронный ресурс] / A. M. Labin, Sh. K. Safuri, E. N. Ribak, I. Perlman // Nature Communications. – 2014. – № 4319. – URL: <http://www.nature.com/articles/ncomms5319>. DOI: 10.1038/ncomms5319.

1.516. Huth G. C. A Modern Explanation for Light Interaction with the Retina of the Eye Based on Nanostructural Geometry: Rethinking the Vision Process [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ghuth.com/>.

1.517. Medeiros J. A. The Cone Spectrometer Model (CSM) [Электронный ресурс] // Color Vision: A New Understanding. – URL: http://conesandcolor.net/_F_CSM.html.

1.518. История появления уличного освещения. <http://articleland.ru/istoriya-royavleniya-ulichnogo-osveshheniya/>.

1.519. В Москве появилось первое уличное освещение. <http://www.by-time.ru/events/detail.php?ID=2304>.

1.520. Trafford council Report to: Executive 18th November 2013. <https://democratic.trafford.gov.uk/.../Report%20of%20the%2...> 30 October 2013 Ref: C398-151-R01 revA.

1.521. Is a 4000 Kelvin LED street light like the moon? 20. April 2018. <http://www.nachhaltig-beleuchten.de/blog/en/is-a-4000-kelvin-led-street-light-like-the-moon/>. <https://www.youtube.com/watch?v=rpCnnZ233BA>.

1.522. «DigitEYEd: The Daily Impact of Digital Screens on the eye health of Americans». The vision council (2013). <http://www.thevisioncouncil.org/sites/default/files/TVCDigitEYEdReport2013>.

1.523. LCD with LED backlight; LCD with CCFL backlight; Plasma; FED (very limited); CRT (still used in broadcast applications); OLED. <http://www.jeti.com/cms/index.php/color-adjustment/monitors>.

1.524 http://www.displaymate.com/Spectrum_6.html. Light Spectra for the iPads and iPhone 4. <http://dot-color.com/2012/03/22/apples-new-ipad-boasts-better-colors-how-did-they-do-it/>.

1.525. Blue light presentation – SlideShare. <https://www.slideshare.net>.

1.526. Coralie barrau, Amélie Kudla, Mélanie Tessiere. Eye protect system™ lenses: from research to harmful light filtering white paper published in points de vue, international review of ophthalmic optics online publication, may 2016.

1.527. Arnault E., Barrau C., Nanteau C. et al. Phototoxic action spectrum on a retinal pigment epithelium model of age-related macular degeneration exposed to sunlight normalized conditions. PLoS ONE. 2013;8 (8):e71398.

1.528. Mattison M. (2012). Controlling Blue Light with Ophthalmic Lenses. White paper. Teens and Technology 2013. Pew Research Center. <http://www.pewinternet.org/2013/03/13/teens-and-technology-2013/>.

1.529. Капцов В. А., Дейнего В. Н. Риски влияния света светодиодных панелей на состояние здоровья оператора // Анализ риска здоровью. – 2014. – № 4. – С. 37–46.

1.530. Дейнего В. Н., Капцов В. А. Современная парадигма восприятия света и гигиена зрения при светодиодном освещении // Материалы пленума Научного совета по экологии человека и гигиене окружающей среды, 12–13 декабря 2013 г. – М., 2013.

1.531. Интеллектуальное управление риском при эксплуатации сложных технологических систем / О. Л. Шестопалова, Е. И. Бессонов, П. Е. Бессонов, Д. А. Чагин; под ред. профессора А. Н. Миронова. – СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2008. – 523 с.

1.532. Организация мониторинга функционального состояния операторов информационно-управляющих систем / В. Л. Гузенко, А. В. Клепов, А. Н. Миронов, Е. А. Миронов, О. Л. Шестопалова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. – URL: www.science-education.ru/116-12364.

1.533. Акимова Г. П., Соловьев А. В., Пашкина Е. В. Методологический подход к определению влияния человеческого фактора на работоспособность информационных систем // Труды ИСА РАН. – 2007. – Т. 29. – С. 102–112.

1.534. Дейнего В. Н. Выбор концепции построения безопасной и энергосберегающей системы // Кабельnews. – 2012. – № 2. – С. 50–64.

1.535. Kennedy A., Murray W. S. The effects of flicker on eye movement control // Q. J. Exp. Psychol A. – 1991. – Vol. 43 (1). – P. 79–99.

1.536. Shady S., MacLeod D. I. A., Fisher H. S. Adaptation from invisible flicker // Proceedings of the National Academy of Sciences U. S. A. – 2004. – Vol. 101. – P. 5170–5173.

1.537. Evening exposure to a light emitting diodes (LED) – backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance / Ch. Cajochen, S. Frey, D. Anders, J. Spati, M. Bues, A. Pross, R. Mager, A. WirzJustice, O. Stefani // Articles in PresS. J. Appl. Physiol. – 2011. – March, 17.

1.538. Кириленко А. Г. Светофоры и светофорная сигнализация / Рекомендовано учебно-методическим объединением в качестве учебного пособия для студентов вузов железнодорожного транспорта. – Хабаровск: Издательство ДВГУПС, 2013.

1.539. Дейнего В. Н. Курышев В. А. Безопасность перевозок пассажиров в условиях световой среды энергосберегающего освещения // «Metropointernational». – № 1, 2014.

Глава 2. Механизмы воздействия искусственной световой среды на основные физиологические системы человека

*Чудеса не противоречат законам природы,
чудеса противоречат нашим представлениям о них.
Августин Блаженный*

Современные ученые изучают влияние света и цвета не только на психологическое поведение, но и на физиологические системы организма. Современная гигиеническая наука определяет эту проблему как влияние световой среды на зрительный анализатор и здоровье человека.

Оценка параметров световой среды осуществляется в соответствии с Руководством Р 2.2.2006–05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда» [2.1], которое включает гигиенические критерии оценки факторов рабочей среды, тяжести и напряженности трудового процесса и гигиеническую классификацию условий труда по показателям вредности и опасности.

Световая среда определяется как среда естественного и искусственного освещения.

Естественное освещение – освещение помещений светом неба (прямым или отраженным), проникающим через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях.

Искусственное освещение – это освещение помещений светом, создаваемым светотехническими приборами. Искусственное освещение может быть двух типов: общее освещение и комбинированное освещение.

Общее освещение – это освещение, при котором светильники размещаются в верхней зоне помещения равномерно или применительно к расположению оборудования.

Комбинированное освещение – это освещение, при котором к общему освещению добавляется местное, создаваемое светильниками непосредственно на рабочих местах.

Оценка параметров световой среды по естественному и искусственному освещению проводится по критериям, приведенным в табл. 2.1, и в соответствии с методическими указаниями «Оценка освещения рабочих мест».

Дополнительные параметры световой среды, регламентируемые СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 и отраслевыми (ведомственными) нормативными документами по освещению, оцениваются по табл. 2.2.

Данные ограничения сформированы исходя из принятой оценки влияния освещения на организм человека. Недостаточное освещение влияет на функционирование зрительного аппарата (определяет зрительную работоспособность), на психику человека, его эмоциональное состояние, вызывает утомление, расстройство центральной нервной системы, возникающее в результате прилагаемых усилий для опознания четких или сомнительных сигналов.

Таблица 2.1

Классы условий труда в зависимости от параметров световой среды

Фактор, показатель	Класс условий труда			
	допустимый	вредный		
	2	3.1	3.2	
1	2	3	4	
Естественное освещение:				
Коэффициент естественной освещенности КЕО, %	≥0,5*	0,1–0,5*	<0,1	
Искусственное освещение:				
Освещенность рабочей поверхности (Е, лк) для разрядов зрительных работ:	I-III, А, Б1	Е**	0,5Е _н ≤ < Е _н	<0,5Е _н
	IV-XIV, Б2, В, Г, Д, Е, Ж	Е _н **	<Е _н	
Прямая блескость***		Отсутствии	Наличие	
Коэффициент пульсации освещенности (Кл.%)	К _{пв} **	К _{пв}		
<p>Независимо от группы административных районов по ресурсам светового климата.</p> <p>** Нормативные значения: освещенности – Е_н, коэффициента пульсации освещенности – К_{пв} в соответствии со СНиП 23-05-95*, СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03, отраслевыми и ведомственными нормативными документами по освещению.</p> <p>*** Контроль прямой блескости проводится визуально. При наличии в поле зрения работников слепящих источников света, ухудшения видимости объектов различения и жалоб работников на дискомфорт зрения условия труда по данному показателю относят к классу 3.1.</p>				

Таблица 2.2

Классы условий труда в зависимости от параметров световой среды.

Фактор, показатель	Класс условий труда	
	допустимый	вредный
1	2	3.1
Яркость ¹⁾ (L, кд/м ²)	L _н	>L _н
Отраженная блескость ²⁾	Отсутствии	Наличие
Освещенность поверхности экрана ВДТ, лк	S _н	>S _н
Неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя ПЭВМ ³⁾ (С, отн. ед.)	≤300	>300
Визуальные параметры ⁴⁾ ВДТ:		
яркость белого поля (L _з , кд/м ²)	35	<35
неравномерность яркости рабочего поля (δL _з , %)	±20	> 20
контрастность для монохромного режима (К _к , отн. ед.)	3	<3
пространственная (дрожание) и временная (мелькание) нестабильность изображения	Не должна визуально фиксироваться	Фиксируется визуально
<p>¹⁾ Показатель «яркость» определяется в тех случаях, когда в нормативных документах имеется указание на необходимость ее ограничения (например, ограничение яркости светлых рабочих поверхностей при местном освещении; ограничение яркости светящихся поверхностей, находящихся в поле зрения работника, в частности, при контроле качества изделий в проходящем свете и т. п.)</p> <p>²⁾ Показатель «отраженная блескость» определяется при работе с объектами различения и рабочими поверхностями, обладающими направленно-рассеянным и смешанным отражением (металлы, пластмассы, стекло, глянцевая бумага и т.п.). Контроль отраженной блескости проводится визуально. При наличии слепящего действия бликов отражения, ухудшения видимости объектов различения и жалоб работников на дискомфорт зрения условия труда по данному показателю относят к классу 3.1</p> <p>³⁾ Контроль показателя «неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя ПЭВМ» проводят для рабочих мест, оборудованных ПЭВМ (в соответствии с требованиями СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03). Класс и степень вредности по этому показателю устанавливаются только для работ III категории трудовой деятельности в соответствии с классификацией СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03</p> <p>⁴⁾ Контроль визуальных параметров ВДТ на рабочем месте следует проводить только при наличии субъективных визуальных данных о необходимости их инструментальных измерений и оценки степени вредности. При этом контроль и измерение визуальных параметров проводятся в соответствии с методикой, изложенной в методических указаниях «Оценка освещения рабочих мест».</p>		

Данные ограничения сформированы исходя из принятой оценки влияния освещения на организм человека. Недостаточное освещение влияет на функционирование зрительного аппарата (определяет зрительную работоспособность), на психику человека, его эмоциональное состояние, вызывает утомление, расстройство центральной нервной системы, возникающее в результате прилагаемых усилий для опознания четких или сомнительных сигналов.

Световая среда, помимо обеспечения зрительного восприятия, воздействует на нервную оптико-вегетативную систему, систему формирования иммунной защиты, рост и развитие организма и влияет на многие основные процессы жизнедеятельности, регулируя обмен веществ и устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды.

Сравнительная оценка естественного и искусственного освещения по его влиянию на работоспособность показывает преимущество естественного света.

Важно отметить, что не только уровень освещенности, но и все остальные аспекты качества освещения играют роль в предотвращении несчастных случаев. Неравномерное освещение может создавать проблемы адаптации, снижать видимость.

Работая при освещении плохого качества или низких уровней, люди могут ощущать усталость глаз и переутомление, что приводит к снижению работоспособности. В ряде случаев это может привести к головным болям. Причинами во многих случаях являются или слишком низкие уровни освещенности, либо слепящее действие источников света и соотношение яркостей. Головные боли также могут быть вызваны пульсацией освещенности.

Раздел 2.1. Восприятие света и цвета зрительным анализатором

2.1.1. Современная парадигма восприятия света

Современная парадигма воздействия света на человека основывается на следующих фактах:

- экспериментально на клеточном, биологическом и психофизиологическом уровнях доказана биологическая неадекватность естественного и искусственного света равной интенсивности, которая сохраняется и при повышении уровня освещенности от искусственных источников света;
- экспериментально доказан механизм «световолоконного» проникновения света в тело человека и разработана 3D-модель такого взаимодействия;
- экспериментально доказано, что свет с различным спектральным составом влияет на динамику синтеза мелатонина;
- экспериментально доказано, что спектр света с различным спектральным составом влияет на реакцию зрачка глаз и развитие близорукости (при солнечном свете скорость ее развития меньше, чем при искусственном освещении).

Для человека эталоном является наш природный источник света – Солнце. Спектр Солнца непрерывный и практически равномерный. На рис. 2.1 приведены спектры солнечного света и лампы накаливания.

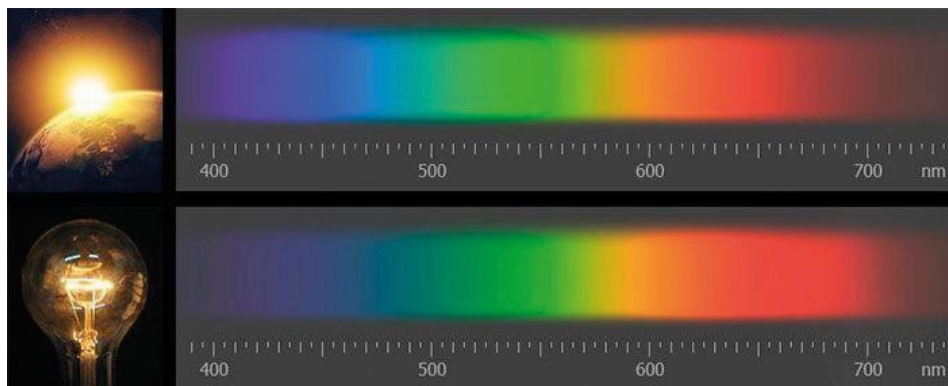


Рис. 2.1. Спектр солнечного света и света лампы накаливания (2.2)

Лампы накаливания также имеют непрерывный спектр. Единственное, что при равной цветовой температуре и уровне освещенности в желто-красной зоне он более интенсивный, а в голубой наоборот. Поэтому свет этих ламп для нас кажется желтоватым. Спектр лампы накаливания *подобен солнечному свету* в диапазоне 380–780 нм.

На рис. 2.2 приведена спектрально-энергетическая характеристика лампы накаливания.

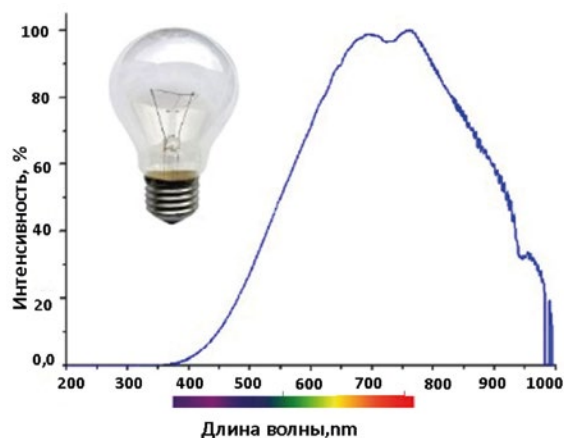


Рис. 2.2. Спектрально-энергетическая характеристика света лампы накаливания

Эта характеристика, как и спектр солнечного света, имеет вначале монотонно возрастающий характер, а потом монотонно спадающий характер. Для сравнения на рис. 2.3 приведен спектр лампы накаливания и светодиодных ламп от различных производителей, а также указаны области ближнего ультрафиолета (БУФ) и зоны ближнего инфракрасного света (БИК).

Свет этих областей (БУФ и БИК) находится за пределами границ видимого света, и кривой видности из-за этого они выпадают из зоны интересов светотехников. Вопрос влияния этих диапазонов света на здоровье человека остается открытым и нуждается в дополнительных исследованиях.

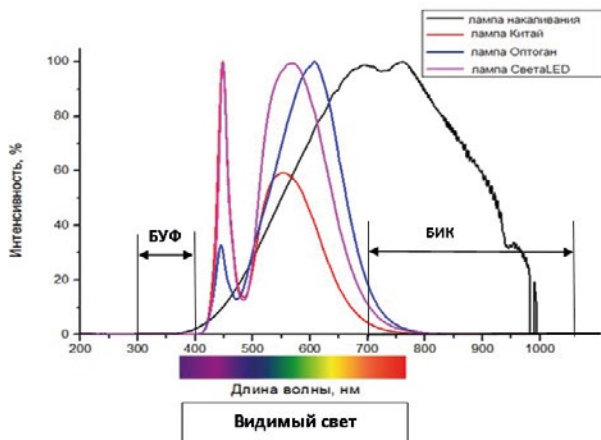


Рис. 2.3. Спектрально-энергетические спектры лампы накаливания и светодиодных ламп от различных производителей

Ближний инфракрасный (БИК), ограниченный с одной стороны видимым светом 700 нм, а с другой — *прозрачностью воды*, которая значительно ухудшается при 1,45 мкм IR-A: 700–1400 нм (0,7–1,4 мкм) энергия фотонов 0,9–1,7 эВ [2.3].

Электромагнитный спектр ультрафиолетового излучения может быть по-разному поделен на подгруппы. Стандарт ISO по определению солнечного излучения (ISO-DIS-21348) [2] дает следующие определения: Ближний ультрафиолет (NUV) 400–300 нм, энергия фотона 3,10–4,13 эВ [2.4].

Биологические эффекты излучения в трёх спектральных участках ультрафиолетового света различны, поэтому биологи иногда выделяют, как наиболее важные в их работе, следующие диапазоны: ближний ультрафиолет, УФ-А-лучи (UVA, 315–400 нм, которые практически не вызывает эритемы (покраснение из-за расширения мелких кровеносных сосудов) и загара.

В настоящем подразделе рассмотрим влияние ближнего инфракрасного света и ближнего ультрафиолетового света на человека и общую закономерность механизмов воздействия света видимого диапазона, которые изложены в предыдущих разделах.

В работе [2.5] нами был обобщен ряд циклических механизмов воздействия света на биологическую ткань и сформулированы для них общие Q-законы.

К современным светотехникам приходит осознание, что свет, кроме визуального эффекта, имеет не визуальное воздействие на глаза и здоровье человека в целом. Это приводит к необходимости пересмотра стандартов по освещению, в которых должны учитываться не только интересы бизнеса, но доводы гигиенистов и офтальмологов по защите здоровья человека от вредного воздействия света энергосберегающих источников. «Мы находимся в такой волнительный момент в истории освещения — не только с точки зрения технологии, но и с точки зрения исследований, связанных с не визуальными эффектами освещения», — говорит *Ширли Коул*, *новый президент Светотехнического общества Северной Америки (IES) и прези-*

дент Cree Канады (фирма Cree – производитель светодиодов). Она также отмечает: «Мы начали новую эру с нашим отделом по стандартам, с новым руководством и дополнительным персоналом. Отдел готовит долгосрочный план по разработке новых стандартов». Это значит, что будет скорректирована техническая политика производителей светодиодного освещения с учетом факторов незрительного влияния энергетического спектра света на глаза и здоровье человека.

Через некоторое время «ветер перемен» подует и в нашей стране в области стандартизации освещения. Хотелось, чтобы разработчики стандартов учитывали мнения не только бизнеса, но врачей-офтальмологов и гигиенистов, которые обязаны заботиться о здоровье человека [2.6].

Исходя из этого, должны быть сформированы гигиенические требования к световой среде, сводящие к минимуму риск глазных заболеваний, таких как миопия и глаукома, из-за воздействия световой зрительной нагрузки.

Хочется еще раз напомнить, что в 1887 году великий гигиенист Ф. Ф. Эрисман отмечал, что «...неминуемой точкой отправления при всех гигиенических исследованиях является стремление найти те законы, которые управляют здоровьем человека, и исследовать как при помощи эксперимента, так и путем *статистических* наблюдений все те общественные и частные явления, понимание которых непосредственно может содействовать открытию этих законов, так что все явления окружающей среды интересуют гигиенистов лишь настолько, насколько они могут отражаться на здоровье человека».

Исходя из этого посыла, рассмотрим некоторые общие закономерности взаимодействия энергии света с клетками функциональных структур глаза (роговицы и сетчатки) с позиции гигиениста.

Свет – не только носитель зрительной информации, но и потенциально опасный повреждающий фактор. Этот эффект двуликого бога Ра академик М. А. Островский определяет как фотобиологический парадокс зрения [2.7, 2.8].

«Суть его в том, – объясняет Михаил Аркадьевич, – что свет выступает в двух прямо противоположных ипостасях. С одной стороны, он необходимый для жизни носитель зрительной информации, а с другой – весьма опасный, повреждающий глазные структуры фактор. Для глаза опасен слишком яркий свет, который может его просто сжечь: попробуйте посмотреть на солнце... Но особенно опасны ультрафиолетовые и, в значительной мере, синие лучи солнечного спектра. Долгое время синий свет считался целебным, в быту им лечили простуду. Но оказалось, что в клетках сетчатки и лежащего за ней пигментного эпителия с возрастом накапливаются вредные вещества, которые обильно поглощают синий свет, генерируя при этом свободные радикалы – исключительно активные токсичные формы кислорода, которые приводят к последствиям разрушительным, подчас необратимым. К таким вредным веществам относится так называемый "пигмент старости" – липофусцин».

До работ академика М. А. Островского и его сотрудников начала 90-х годов считалось, что липофусцин – это безвредные, инертные шлаки, накапливающиеся с возрастом. Оказалось, что они далеко не инертны, а под действием синего света становятся активными источниками *всеразрушаю-*

щих свободных радикалов. Более того, выяснилось, что развитие тяжелых заболеваний сетчатки, приводящих в итоге к полной слепоте, сопровождается повышенным накоплением в клетках пигментного эпителия как раз «пигмента старости» со всеми вытекающими отсюда последствиями. Основатель современного экологического сознания В.И. Вернадский говорил: «Нет неизлечимых заболеваний, есть недостаток знаний. И старение – это болезнь, которую можно лечить».

К таким общим критическим закономерностям, которые способствуют повышению рисков возникновения болезней и глазных болезней, в частности, относятся:

- петли SCN-мелатонина;
- циклические процессы разрушения и восстановления коллагена в роговице глаза и накопление деструктивного коллагена;
- циклические процессы разрушения и восстановления пигментов в фоточувствительных клетках сетчатки с накоплением А2Е поглощающих 450 нм [2.8] и ретиновой кислоты, которая влияет на коллаген задней склеры глаза [2.9].

При рассмотрении этих процессов гигиенисту важно понимать, какая часть спектра и доза света наибольшим образом влияет на формирование деструктивного остатка как в зоне видимого света, так и областях, близких к ней (БУФ и БИК). Рассмотрим общие схемы этих процессов.

На рис. 2.4 приведена петля SCN-мелатонина, которая включает в себя меланопсинсодержащие ганглиозные клетки сетчатки (MRGC), ретино-гипоталамический тракт (RHT), SCN (СХЯ) – супрахиазматические ядра гипоталамуса, паравентрикулярное ядро (PVN), столбец промежуточных латеральных клеток, симпатические шейные ганглии (SCG), шишковидную железу, ритм мелатонина, обратная связь которого влияет на SCN.

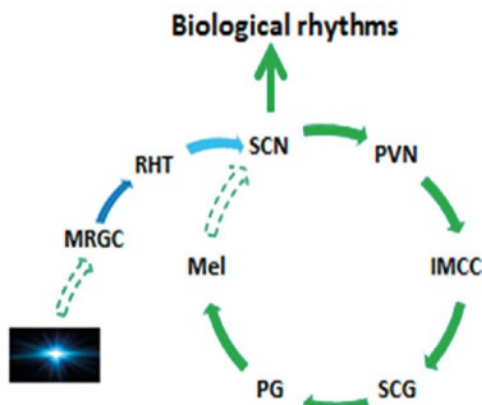


Рис. 2.4. Иллюстрация петли SCN-мелатонина. Сплошные стрелки указывают нейронные связи и направление нейронных проекций. Пунктирные стрелки указывают входные сигналы

SCN – это основные часы, которые определяют биологические ритмы, а также циркадный ритм мелатонина. Его внутренний циркадный интервал длиннее 24 часов. Естественный фотопериод служит входным сигналом для

вовлечения мелатонина в циркадный ритм до 24 часов; В свою очередь, мелатонин действует как сигнал фотопериода для повторного вовлечения биологического ритма SCN в течение 24 часов. MRGC: меланопсинсодержащие ганглиозные клетки сетчатки; RHT: ретино-гипоталамический тракт; SCN: супрахиазматическое ядро; ПВН: паравентрикулярное ядро; IMCC: колонка промежуточных боковых клеток; СКГ: симпатический шейный ганглион; ПГ: шишковидная железа; Mel: мелатонин [2.10].

Учитывая, что мелатонин синтезируется из серотонина, а он, в свою очередь, из триптофана, который поступает только с пищей, в работе [2.11] рассматривается вопрос управления биоритмами через продукты питания.

На рис. 2.5 приведена схема восстановления и разрушения коллагена и образование деструктивного остатка (нерастворимого коллагена).

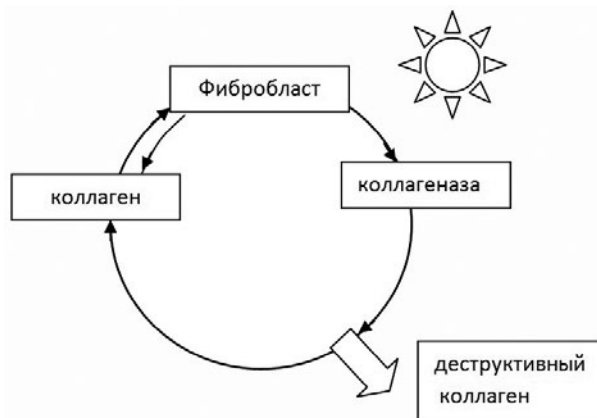


Рис. 2.5. Общая схема восстановления и разрушения коллагена и образование деструктивного остатка (коллагена)

Свет, точнее красная часть его спектра, повышает активность фибробласта роговицы по восстановлению коллагена через разрушение его сшивок с помощью коллагеназы, но не во всех случаях это разрушение происходит с эффективностью, равной 100%. Деструктивный коллаген накапливается, изменяя форму и оптические свойства роговицы, что негативно влияет на качество зрения человека.

На рис. 2.6 приведена схема восстановления и разрушения фоточувствительных пигментов колбочек и палочек сетчатки.

Во время зрительного цикла в колбочках и палочках происходит синтез ретиновой кислоты, которая влияет на коллагеновую матрицу задней стенки склеры глаза, изменяя ее механические характеристики и удлиняя главную ось глаза при световой нагрузке.

На рис. 2.7 приведена общая схема зрительного цикла по схеме академика М. А. Островского с образованием фототоксичного остатка [2.8].

Фототоксичный остаток накапливается и под воздействием синего света 450 нм является генератором активных форм кислорода [2.8] с негативными последствиями для сетчатки глаз, если их концентрация превышает оптимальную величину.

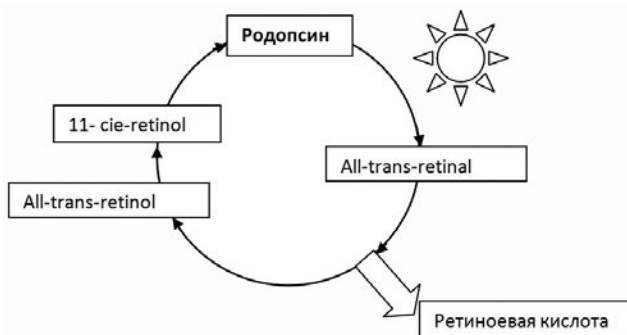


Рис. 2.6. Общая схема восстановления и разрушения фоточувствительных пигментов колбочек и палочек сетчатки и образование деструктивного остатка (ретиновой кислоты)

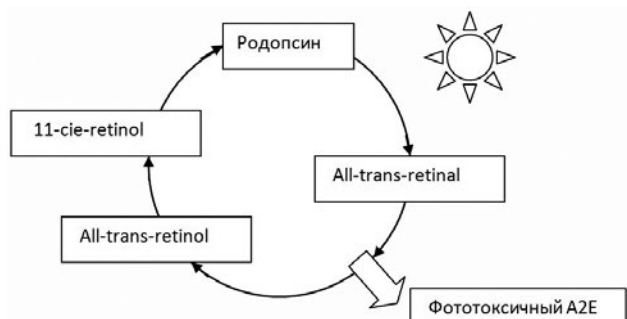


Рис. 2.7. Общая схема восстановления и разрушения пигментов и образование деструктивного остатка (фототоксичного А2Е)

Активные формы кислорода (АФК) образуются и при облучении красным светом митохондрий фибробласта. При превышении оптимальной дозы света деструктивный эффект от АФК преобладает над эффектом повышения активности митохондрии и приводит к разрушению клетки.

В контексте этого раздела рассмотрим следующие диапазоны длин волн для четырех пиков в спектре света применяемого в светотерапии [2.12]:

- 1) 613,5–623,5 нм;
- 2) 667,5–683,7 нм;
- 3) 750,7–772,3 нм;
- 4) 812,5–846,0 нм.

Для примера рассмотрим диапазон 667,5–683,7 нм. Для повышения устойчивости клеток сетчатки к окислительному стрессу необходимо, чтобы в спектре искусственных источников света содержался красный свет с длиной волны 670 нм. В работе [2.13] показано, что облучение сетчатки глаза красным светом 670 нм повышает устойчивость митохондрий, клеток Мюллера, фоторецепторов и популяции фибробласта 2 к воздействию АФК.

Все вышеприведенные закономерности объединяет общий принцип цикличности разрушения и восстановления при высвобождения деструктивного остатка (биологического мусора).

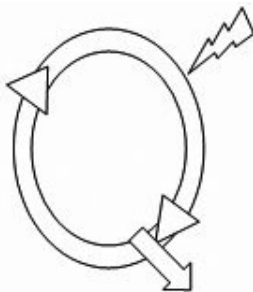


Рис. 2.8. Общая схема циклического процесса разрушения и восстановления с формированием деструктивного остатка

Такой вид схемы протекания процесса, разрушения и восстановления с формированием деструктивного остатка напоминает букву **Q**. Исходя из этой общности схем, обозначим такие процессы как **Q-законы** воздействия света на ткани глаз.

Q-законы воздействия света на ткани глаз определяют как фотобиологические, так и циклические процессы с образованием деструктивных остатков.

Накопление деструктивного остатка создает предпосылки (риски) для возникновения болезней глаз. С точки зрения гигиены света очень важно выявлять процессы, протекающие в соответствии с **Q-законами** для отработки мероприятий по обеспечению минимального ущерба для глаз и здоровья человека. При этом важно отметить, что у каждого процесса имеются свои критические частоты.

Совокупность процессов взаимодействия света и клеток функциональных структур глаза с образованием деструктивных остатков можно описать как множество **Q-законов** восприятия света. *Это множество может дополняться по мере открытия новых циклических процессов с деструктивным остатком.*

Из **Q-законов** вытекают интересные и полезные для нормотворчества гигиенистов следствия по формированию требований к адекватному спектральному составу световой среды по критерию динамической устойчивости таких процессов.

Например, для восстановления и разрушения коллагена и образования деструктивного остатка (коллагена) [2.14].

Предназначение коллагеназы состоит в том, чтобы «расшивать» коллагеновые нити, способствуя процессу их обновления, так как коллагеназа совместно с протеолитическими ферментами деструктурирует коллагеновую молекулу до низкомолекулярных пептидов, которые вновь в качестве исходного материала возвращаются в фибробласты, в которых и происходит синтез новых предшественников коллагена. За счет этого процесса коллаген постоянно обновляется с периодом жизни (τ) около 30 суток [2.15].

Для такого рода процессов в норме характерно **обязательное наличие равенства скоростей:**

$$V_{\text{синт.}} = V_{\text{дестр.}}$$

Это равенство определяет наличие устойчивого динамического равновесия. Естественно предположить, что при увеличении скорости синтеза или снижении скорости деструкции коллагеновых фрагментов может наступать состояние организма, связанное с излишней коллагенизацией дермы, и наоборот, при снижении скорости синтеза и увеличении скорости деструкции может наступить деколлагенизация. Величины абсолютных значений скоростей синтеза и деструкции должны определять время жизни коллагеновой нити (τ). Чем выше равновесные скорости синтеза и деструкции, тем ниже значение τ , и наоборот.

Критерии устойчивости этих фотобиологических процессов и зависимость скорости накопления деструктивных остатков от световой нагрузки глаза могут стать основой для дополнительных гигиенических требований к солнцеподобной световой среде и уровню освещенности в ней.

В работе [2.16] показано, что искусственные источники света характеризуются повышенной дозой синего света на определенных длинах волн, чем имеет солнечный свет при одинаковом уровне освещенности.

Возможные механизмы последствия чрезмерного освещения на сетчатку рассмотрены в обзоре [2.17].

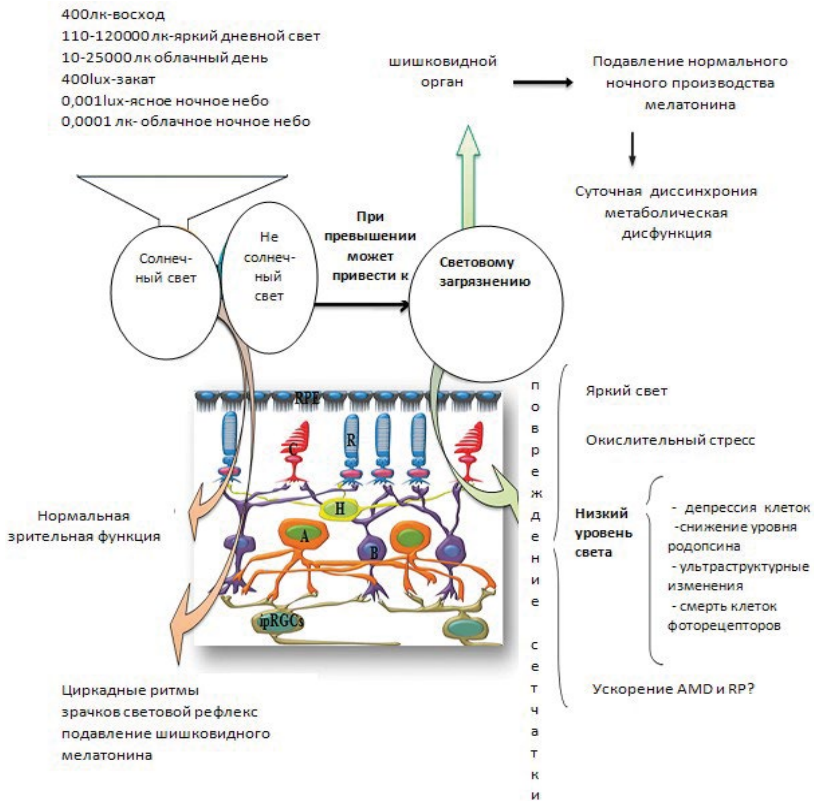


Рис. 2.9. Влияние светового загрязнения на сетчатку (R – палочки; C – колбочки; H – горизонтальные, B – биполярные; A – амакриновые; ipRGCs – внутренние светочувствительные ганглиозные клетки сетчатки; RPE – пигментный эпителий сетчатки)

Фоторецепторы, пигментный эпителий сетчатки глаза и внутренняя светочувствительная область сетчатки глаза – ганглиозные клетки, могут пострадать от высокой или длительной низкой искусственной освещенности в помещении, света в ночное время. Эти события могут повлиять на общую физиологию сетчатки глаза или ускорять некоторые генетические заболевания, заканчивающиеся слепотой. Эти явления, обусловленные световым загрязнением, стали реалиями современной жизни, где изменился циркадный цикл ЛД. Кроме того, в результате гибели клеток фоторецепторов (палочки, колбочки и внутренние светочувствительные ганглиозные клетки сетчатки глаза); световое загрязнение может неблагоприятно влиять на шишковидную железу, производя десинхронизацию циркадных систем, изменяя зрачковый световой рефлекс и метаболические процессы, угрожающие здоровью человека. Авторы обзора [2.17] считают, что как интенсивное, так и длительное воздействие света, которое является результатом современного образа жизни, может повлиять на палочки, колбочки, эпителий сетчатого пигмента, а также светочувствительные ганглиозные клетки сетчатки. Кумулятивный эффект, длительное воздействие и высокая освещенность светодиодными источниками может влиять на физиологию сетчатки, приводя к гибели клеток и, как следствие, к слепоте.

Для сравнения, на рис. 2.10 приведены спектры излучения солнца (А) и обычной лампочки накаливания (В).

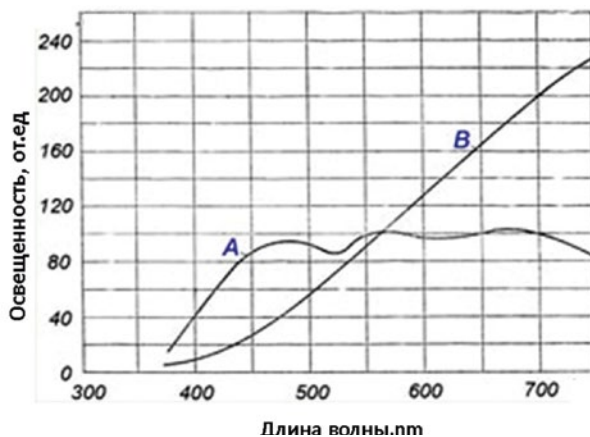


Рис. 2.10. Сравнение спектра лампы накаливания (В) с солнечным спектром (А) в диапазоне 380–750 нм

Спектр лампы накаливания, как и солнечный спектр, относится к непрерывным спектрам, которые полностью заполняют видимый спектральный диапазон электромагнитного излучения (400–700 нм) [2.18].

Считается, что солнечный спектр благотворно влияет на восстановление зрения и приостановку миопии. Поэтому детям рекомендуется больше времени проводить на свежем воздухе при солнечном свете. Это подтверждают и рекомендации Научного комитета по новым и вновь выявленным рискам для здоровья (SCENIHR) – *«рассмотреть меры по уменьшению злоупотребления искусственным освещением в целом»*.

Ранее не обращалось внимание на тот факт, что спектр лампы накаливания имеет значительный выброс в красной области света и, в частности, на длине волны 633 нм – на 44% больше, чем в спектре солнечного света. Эта длина волны красного света при определенной дозе может влиять на процесс синтеза коллагена. В работах [2.12, 2.14] показано, что стимуляция активности фибробласта по синтезу коллагена зависит от дозы облучения на оптимальной длине волны 633 нм.

Оптимальный уровень дозы может быть определен по кривой Арндта – Шульца (рис. 2.11).

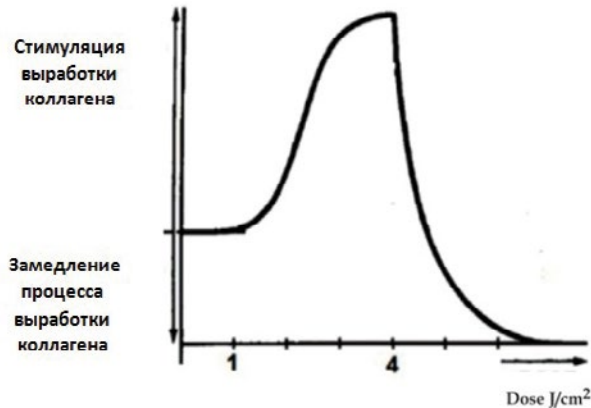


Рис. 2.11. Кривая Арндта – Шульца [2.19]

Кривая Арндта – Шульца имеет две области:

- область стимуляции выработки коллагена;
- область уменьшения скорости выработки коллагена (область с эффектом заторможенности).

При малых дозах облучения отсутствует эффект стимуляции, а при больших проявляется эффект заторможенности. Кривая Арндта – Шульца для воздействия света вытекает из закона Арндта – Шульца. В 1883 г. профессор психиатрии Грейфсвальдского университета Рудольф Арндт на основании отвлеченных соображений распространил положения закона Пфлюгера о влиянии на мышцу гальванического тока (восходящего) на все раздражения, придав впоследствии этим положениям значение основного биологического закона, согласно которому слабые раздражения пробуждают деятельность живых элементов, средние – ее усиливают, сильные – тормозят, и очень сильные – парализуют. В настоящее время закон Арндта – Шульца является биофизической основой квантовой медицины при определении оптимальных доз светового воздействия [2.19].

При оптимальных дозах красного света 633 нм идет процесс стимуляции митохондрий фибробласта и выработка коллагена и эластина. Оптимальный уровень может быть определен по уровню красного света 633 нм в солнечном свете, при котором тормозится развитие миопии. В спектре ламп накаливания уровень красного света 633 нм намного больше (на 44%), чем при солнечном свете при равных уровнях освещенности. Это говорит о том, что

при освещении окружающей среды лампами накаливания по закону Арндта – Шульца увеличиваются риски угнетения функционирования фибробласта по выработке коллагена и эластина. Снижение скорости восстановления коллагена по нашей модели восстановления и разрушения коллагена в роговице может привести к развитию деструктивных процессов.

В ряде исследований показано, что выращивание животных (обезьяны, морские свинки, цыплята) от рождения до зрелого возраста приводит при синем освещении к развитию дальновзоркости (+ 4 D), в случае красного освещения – к развитию миопии (- 6 D) [2.20].

Итак, по академику М. А. Островскому, при избыточной дозе синего света в сетчатке глаза протекают деструктивные процессы, а по вышеприведенным доводам при избыточной дозе красного света такие процессы протекают в коллагенной матрице роговицы. Это говорит о том, что в современных требованиях по освещению должны быть оговорены требования к спектру света, который должен быть солнцеподобным и не нарушать оптимальные нормы протекания биохимических процессов в клетках ткани глаза.

Требования к спектру искусственного источника света могут быть сформулированы с учетом множества Q-законов воздействия света, которые определяют перечень критических длин волн, а по закону Арндта – Шульца – дозы для этих длин волн.

Раздел 2.2. Окислительный стресс и антиоксиданты: проявление Q-закона

Одной из общих форм проявления Q-законов является баланс между процессом образования активных форм кислорода и антиоксидантами (рис. 2.12).

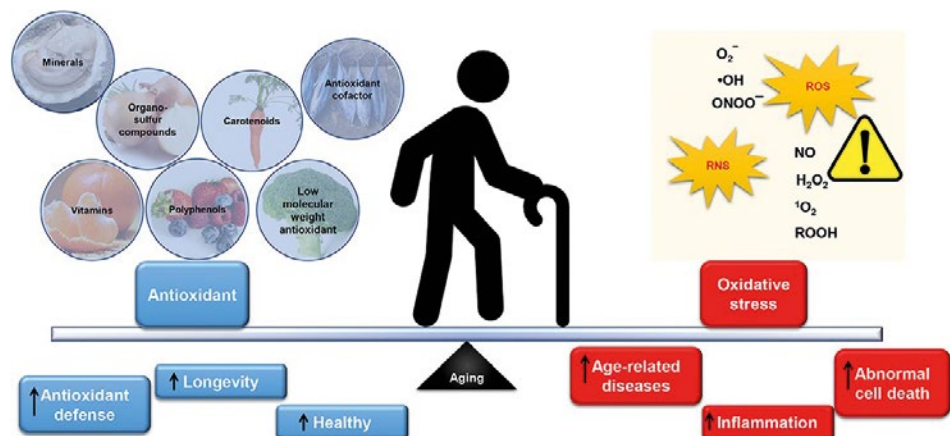


Рис. 2.12. Баланс антиоксидантов и окислительного стресса при старении (2.21)

Неизбежный побочный продукт от аэробного дыхания, активных форм кислорода (АФК) на соответствующем уровне полезен и необходим для нормальной передачи сигналов клетки и клеточного иммунитета. Точно так

же активные формы азота (RNS) могут быть физиологически полезными. В нормально функционирующей клетке антиоксиданты могут адекватно нейтрализовать избыток АФК/RHS [2.21].

Окислительный стресс считается дисбалансом между про- и антиоксидантами, что приводит к молекулярному и клеточному повреждению. Окислительный стресс играет решающую роль в развитии возрастных заболеваний. Появляются новые данные, свидетельствующие о том, что антиоксидант может контролировать самоокисление, прерывая распространение свободных радикалов или ингибируя образование свободных радикалов и, следовательно, уменьшая окислительный стресс, улучшая иммунную функцию и увеличивая продолжительность жизни. Действительно, повреждение от окисления в значительной степени зависит от унаследованных или приобретенных дефектов в ферментах, участвующих в окислительно-восстановительных путях передачи сигналов. Поэтому стоит обсудить роль молекул с антиоксидантной активностью, которые способствуют здоровому старению и противодействуют окислительному стрессу. Особый интерес представляют молекулярные механизмы антиоксидантов, участвующие в профилактике возрастных заболеваний. В целом, лучшее понимание роли антиоксидантов, участвующих в окислительно-восстановительной модуляции воспаления, обеспечило бы полезный подход для потенциальных вмешательств и, следовательно, способствовало бы здоровому долголетию (рис. 2.13).

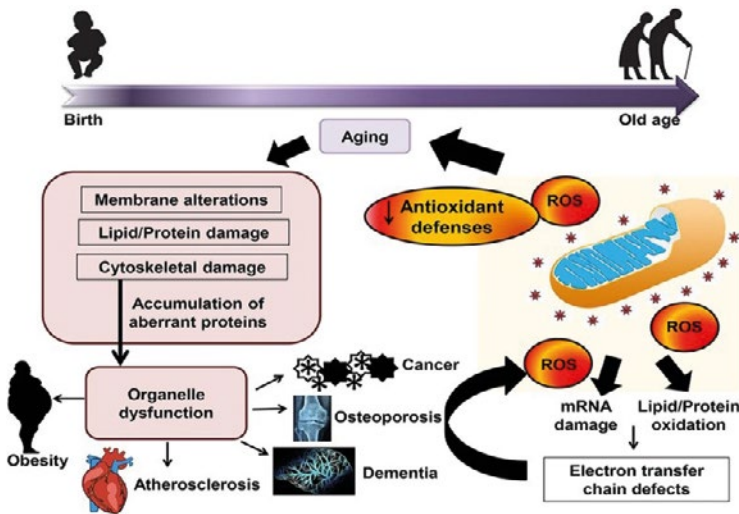


Рис. 2.13. Влияние окислительного стресса, взаимодействие старения и возрастных заболеваний [2.21]

Накопление активных форм кислорода (АФК) приводит к повреждению мРНК и окислению липидов/белков и, как следствие, к снижению митохондриальной функции и, в конечном итоге, вызывает больше окислительного стресса. Снижение функции митохондрий и реакция окислительного стресса при старении могут впоследствии способствовать возрастным заболеваниям.

Несмотря на то что большая часть литературы посвящена накоплению и происхождению АФК, современные антиоксидантные методы лечения не обладают специфичностью для дисфункциональных тканей, клеток и органелл, и, следовательно, могут не достигать эффективной концентрации в целевом сайте патологического окислительного стресса. Кроме того, антиоксиданты нацелены на огромное количество реакционноспособных промежуточных звеньев кислорода и не способны модулировать специфические промежуточные звенья в окислительной реакции, и, следовательно, ведущие терапевтические стратегии не сформулированы. Антиоксиданты, нацеленные на митохондрии, обладают большими перспективами и могут быть полезными для облегчения возрастных заболеваний. Тем не менее необходимы дальнейшие исследования для повышения эффективности антиоксидантной терапии. Кроме того, стоит подчеркнуть необходимость изучения роли опосредованного железом окислительного повреждения посредством реакции Фентона для дальнейшего выяснения вклада дисфункции митохондрий и накопления железа в прогрессирование и патологическое развитие возрастных заболеваний. Доступные данные о взаимодействиях между хелатирующими агентами и антиоксидантами ограничены, и дальнейшие исследования могут привести к разработке сильнодействующих терапевтических агентов и новых биомаркеров, нацеленных на ткани определенных заболеваний, а также для выявления нижестоящих медиаторов окислительных путей.

Известно, что мелатонин является антиоксидантом на уровне клеток, и он синтезируется в митохондриях [2.22].

2.2.1. Синтез и функция мелатонина: эволюционная история у животных и растений [2.22]

Мелатонин – это древняя молекула, историю которой можно проследить до происхождения жизни. Первоначальная функция мелатонина была, вероятно, в качестве поглотителя свободных радикалов. Мелатонин предположительно развился в бактериях; он был измерен как у α -протеобактерий, так и у фотосинтезирующих цианобактерий. В ранней эволюции бактерии подвергались фагоцитозу примитивными эукариотами из-за их питательной ценности. Согласно эндосимбиотической теории, проглоченные бактерии, в конечном итоге, развивали симбиотическую связь с эукариотами-хозяевами. Поступившие в организм α -протеобактерии эволюционировали в митохондрии, в то время как цианобактерии превратились в хлоропласты, и эти органеллы сохранили свою способность продуцировать мелатонин. Поскольку они сохранились до наших дней, все виды, которые когда-либо существовали или существуют в настоящее время, могут иметь или могут продолжать синтезировать мелатонин в своих митохондриях (животных и растений) и хлоропластах (растениях), где он действует в качестве антиоксиданта. Другие функции мелатонина, включая его множественные рецепторы, развились позже в эволюции. В настоящее время у животных с помощью рецепторно-опосредованных средств мелатонин функционирует в регуляции сна, модуляции циркадных ритмов, повышении иммунитета в качестве многофункционального онкостатического агента, сохраняя при этом свою способность снижать окислительный стресс. У растений мела-

тонин продолжает функционировать в снижении окислительного стресса, а также в стимулировании прорастания и роста семян, улучшении стрессоустойчивости, стимулировании иммунной системы и модулировании циркадных ритмов; у наземных растений был идентифицирован единственный рецептор мелатонина, где он контролирует закрытие устьиц на листьях. Путь синтеза мелатонина несколько варьирует между растениями и животными. Аминокислота триптофан является необходимым предшественником мелатонина во всех таксонах. У животных триптофан первоначально гидроксилируется до 5-гидрокситриптофана, который затем декарбоксилируется с образованием серотонина. Серотонин либо ацетируется до N-ацетилсеротонина, либо метилируется с образованием 5-метокситриптамина; эти продукты являются либо метилированными, либо ацетилованными, соответственно, с образованием мелатонина. У растений триптофан сначала декарбоксилируется до триптамина, который затем гидроксилируется с образованием серотонина. Начиная с триптофана, биосинтез мелатонина включает четыре ферментативных стадии во всех организмах. За время его эволюции, длившейся миллиарды лет, характер синтеза мелатонина стал более разнообразным (рис. 2.14).

В зависимости от организма, не все события обязательно происходят в хлоропластах или митохондриях каждого вида. Для исследованных видов растений и животных опубликованные данные дают убедительные доказательства того, что эти органеллы критически связаны с выработкой мелатонина.

Связь мелатонина с митохондриями прогнозируется на основе происхождения этих органелл. Текущие данные свидетельствуют о том, что мелатонин синтезируется в некоторых видах в митохондриальной матрице, как показано на рис. 2.15. Кроме того, экзогенно вводят мелатониновые концентраты в митохондриях [2.23], т. е. *мелатонин является митохондриево-целевым агентом*.

Функции мелатонина в качестве антиоксиданта особенно важны в митохондриях, поскольку эти органеллы являются основным местом свободного радикального поколения. В дополнение к непосредственной нейтрализации реактивных видов кислорода, *мелатонин также стимулирует антиоксидантный фермент супероксида дисмутазы (SOD2)*, действие, которое включает в себя повышенный уровень сиртуина 3 (SIRT3) [2.24].

Мелатонин может попадать в митохондрии через олигопептидные транспортеры, PEPT1/2 [2.25]. Мелатонин также влияет на потенциал митохондриальной мембраны, влияя на разобщающий белок (UCP). Кроме того, мелатонин матрицы может вытекать из митохондрий для взаимодействия с рецепторами мелатонина, MT1 и MT2, чтобы контролировать высвобождение цитохрома C.

Приобретение дополнительных функций мелатонином, который, как полагают, изначально эволюционировал для обеспечения молекулярной защиты от свободных радикалов, происходило в течение очень длительного эволюционного периода. Предполагается, что мелатонин впервые появился в бактериях около 3,0–2,5 миллиардов лет назад. За свою очень долгую эволюционную историю мелатонин приобрел другие важные функции, которые были сохранены этой физиологически разнообразной молекулой.

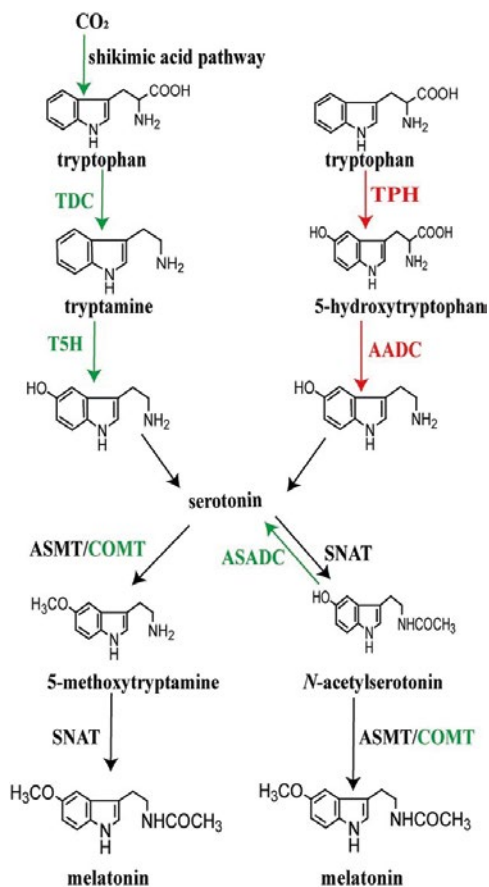


Рис. 2.14. Пути синтеза мелатонина в различных растительных (слева) и животных (справа) таксонах

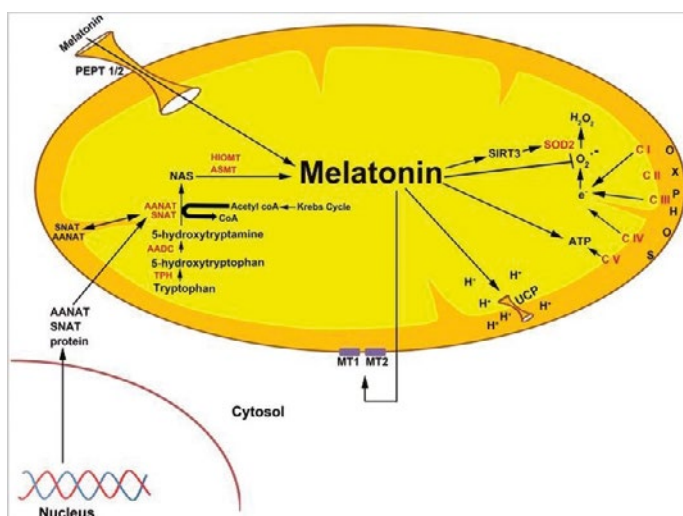


Рис. 2.15. Общая схема синтеза мелатонина в митохондри

Триптофан является исходной молекулой для производства мелатонина в клеточных видах. Последовательность ферментативных стадий, которые превращают триптофан в мелатонин, однако, варьирует среди видов. Эти стадии включают гидроксилирование, декарбоксилирование, ацетилирование и метилирование. У некоторых видов растений мелатонин не может быть конечным продуктом; по крайней мере, в одной разновидности риса мелатонин может быть гидроксилирован в 2, 4 или 6 положении с 2-гидроксимелатонном, обладающим значительной антиоксидантной активностью, как и сам мелатонин. В то время как синтетический путь мелатонина менялся на протяжении всей эволюции и различался среди видов растений и животных, структура мелатонина сохраняется, как первоначально было разработано бактериями миллиарды лет назад. Тем не менее отмечается: то, что сегодня известно о синтезе мелатонина, было получено главным образом от млекопитающих, и путь других позвоночных был тщательно исследован. Кроме того, путь производства мелатонина у беспозвоночных еще предстоит изучить.

Мелатонин в ходе антиоксидантной активности отдает электроны. Процессы переноса электронов и их захвата находятся в области активной научной проработки [2.26–2.33].

В обзоре [2.33] отмечается, что в клетках прикрепление электронов к неестественным акцепторам электронов, вероятно, будет первым шагом каскадных процессов, которые составляют молекулярные механизмы управляемых электронами биологических процессов.

Проблемы взаимодействия низкоэнергетических электронов с мелатонином и родственными соединениями рассмотрены в работе [2.34].

Свойства присоединения электронов и фрагментации временных отрицательных ионов мелатонина и его биосинтетического предшественника триптофана изучают в вакууме с использованием спектроскопии. Спектры диссоциативного присоединения указывают на то, что этот механизм, вероятно, присутствует в большинстве форм жизни, учитывая наличие электронов низкой энергии в живых системах в царствах растений и животных. При этом образуется радикальный мусор (рис. 2.16).

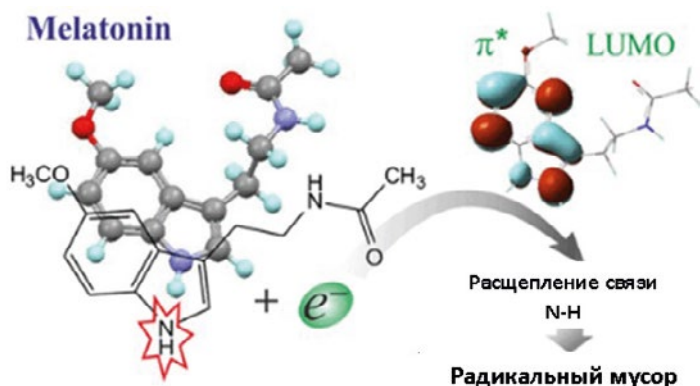


Рис. 2.16. Образование радикального мусора при диссоциативном присоединении электронов в мелатонине

Некоторые из многочисленных процессов, с помощью которых мелатонин функционирует как прямой поглотитель свободных радикалов и косвенный антиоксидант, приведены на рис. 2.17.

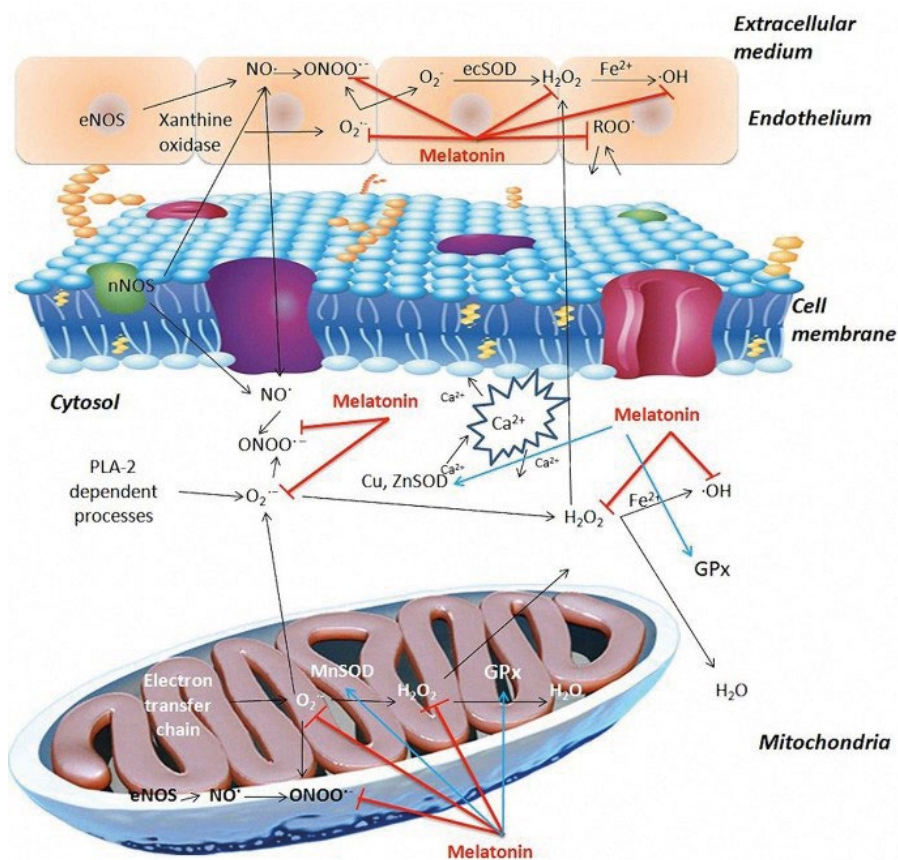


Рис. 2.17. Общая схема процессов, с помощью которых мелатонин функционирует как прямой поглотитель свободных радикалов и косвенный антиоксидант. Полноцветная версия этого рисунка доступна по адресу <http://dx.doi.org/10.1530/JOE-16-0117> (2.35)

Прямой эффект мелатонина – красные линии, а синие линии указывают на косвенный эффект. Мелатонин и его метаболиты являются поглотителями АФК. Мелатонин, находящийся во внеклеточной среде и митохондриях, также является поглотителем ONOO , образующимся в результате доступности NO благодаря активности eNOS и nNOS . Кроме того, реакции O_2 с внеклеточной супероксиддисмутазой (ecSOD) приводят к образованию H_2O_2 , которая подвергается восстановлению с образованием $\text{Fe}^{2+} \cdot \text{OH}$. Мелатонин нейтрализует эти АФК. В цитозоле и митохондриях подобные процессы происходят под действием MnSOD и Cu/ZnSOD . Глутатионпероксидаза (GPx) восстанавливает H_2O_2 до H_2O и O_2 . Мелатонин повышает активность этого фермента, а также активность COI , которые являются важными антиоксидантными ферментами.

2.2.2. Антиоксидантная система защиты ганглиозных клеток сетчатки глаз: мелатонин – глутамат – свет

Мелатонин проявляет сильные антиоксидантные свойства, которые predisполагают его защитную роль при многих патологиях человека, связанных с окислительным стрессом, включая преждевременное старение и дегенеративные заболевания. Следовательно, мелатонин может играть роль в возрастной дегенерации желтого пятна (AMD) – заболевании, затрагивающем фоторецепторы, и пигментном эпителии сетчатки (RPE) с установленной ролью окислительного стресса в его патогенезе. Несколько исследований показали, что мелатонин может оказывать защитное действие против повреждения клеток RPE, вызванного активными формами кислорода (ROS), но также сообщается, что оно увеличивает вызванное ROS повреждение фоторецепторов и RPE. Мелатонин ведет себя как синтетические антиоксиданты, нацеленные на митохондрии, которые концентрируются в митохондриях на относительно высоком уровне. Таким образом, мелатонин может предотвратить повреждение митохондрий при AMD. Сетчатка содержит теломеразу, фермент, участвующий в поддержании длины теломера, и окислительный стресс препятствует синтезу теломера, в то время как мелатонин преодолевает этот эффект. Эти особенности подтверждают необходимость рассматривать мелатонин в качестве профилактического и терапевтического средства при лечении AMD [2.36].

Здоровье глаза зависит от работы антиоксидантной защиты его клеток, эффективность которой определяет уровень мелатонина, который зависит от работы ретинально-дофаминового тракта. Мелатонин защищает ткани глаз и мозга от глутамата. Глутамат является самой распространенной аминокислотой в центральной нервной системе. Глутамат играет роль в синтезе белков и пептидов. Также глутамат является одним из важнейших нейромедиаторов в мозге и в глазу [2.37–2.38].

Несмотря на его важность в организме, он может оказывать негативное влияние на нейроны, вызывая оксидативный стресс [2.39].

Исследования показали, что мелатонин более эффективен в качестве антиоксиданта, чем глутатион, маннитол и витамин Е. Ученые провели исследование, в котором подвергали нейроны токсичному воздействию глутамата, вызывая их смерть. Определенная доза глутамата вызывала смерть 38,7% нейронов. Когда вместе с глутаматом нейроны получали дозу мелатонина, то это значительно повышало их выживаемость. Уровень мелатонина падает с возрастом. Поэтому с возрастом у человека снижается защита от нейротоксичности глутамата, что является одной из причин развития таких старческих болезней, как болезнь Альцгеймера [2.40–2.42].

По данным предварительного моделирования повреждения культур нейронов глутаматом, было выявлено дозозависимое токсическое влияние глутамата на выживание нейронов (рис. 2.18). Выбор концентрации глутамата в каждом опыте осуществлялся таким образом, чтобы выживаемость культивируемых зернистых нейронов составляла 30–80% от интактного контроля (что соответствует умеренному глутаматному стрессу). При выживаемости нейронов менее 30% (сильный глутаматный стресс) или более 80% (слабый глутаматный стресс) нейропротективные свойства веществ не так наглядны.

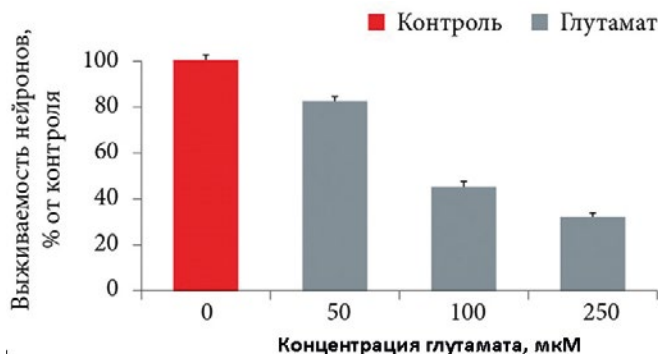


Рис. 2.18. Влияние глутамата на выживаемость нейронов (подсчет морфологически неизмененных нейронов на фиксированных окрашенных трипановым синим препаратах) (2.43)

В настоящем докладе [2.44] показано, что мелатонин способен обеспечивать нейропротекцию против нейротоксичности, вызванной глутаматом и тремя антагонистами глутаматных рецепторов.

Мелатонин участвует в различных физиологических функциях посредством активации специфических рецепторов, связанных с GTP-связывающим белком. Мелатонин и его рецепторы распространены в сетчатке. В работе [2.45] впервые показано, что мелатонин модулирует глутаматергическую синаптическую передачу от колбочек к горизонтальным клеткам (НСs) в сетчатке карпа. Регистрация целых клеток дополнительно показала, что мелатонин физиологической концентрации потенцировал индуцированные глутаматом токи из изолированных НСs (клеток Н1) дозозависимым образом, повышая эффективность и кажущееся сродство глутаматного рецептора.

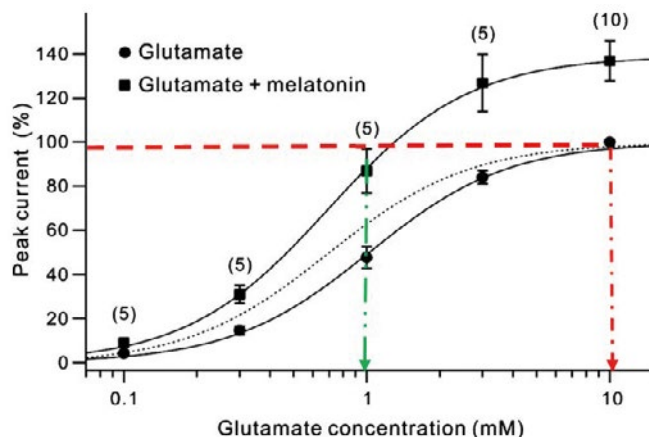


Рис. 2.19. Зависимость пика отклика ганглиозных рецепторов глаза карпа на оптический стимул $5,5 \times 10^{13}$ квантов $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$ (пунктирная кривая – нормализованное отношение доза-ответ в присутствии 10 нМ мелатонина, которое в нормальном растворе Рингера ясно показывает, что мелатонин сдвинул кривую влево. Значения в скобках указывают количество клеток, протестированных для каждой дозы)

Из представленной зависимости следует, что при заданном уровне отклика концентрация глутамата в системе глутамат-мелатонин на порядок меньше, чем в системе глутамат без мелатонина. Итак, мелатонин повышает функциональную эффективность рецептора при малых дозах глутамата, что значительно уменьшает риски возникновения глутаматного стресса.

Как было показано в работах [2.46, 2.47], ретиальная дофаминовая система управляет уровнем мелатонина как в основных функциональных структурах глаза, так и в клетках сетчатки. Общая схема рецепторов мелатонина и дофамина приведена на рис. 2.20 и рис. 2.21.

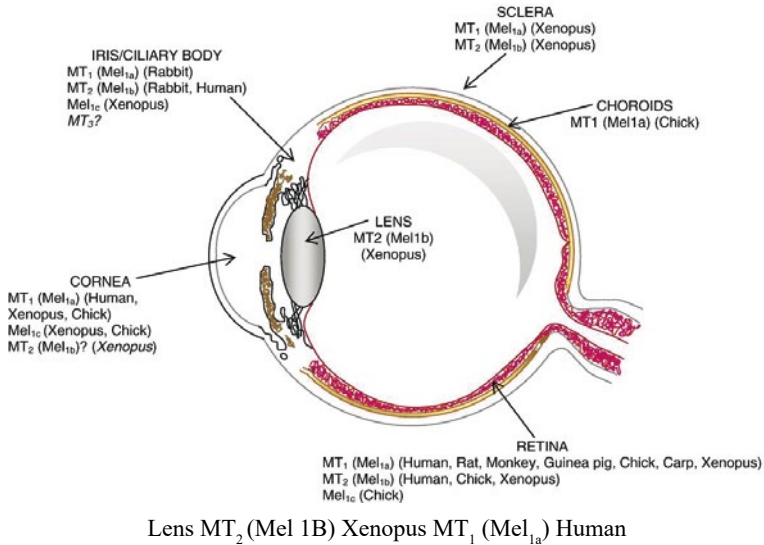


Рис. 2.20. Размещение подтипов рецепторов мелатонина в функциональных структурах глаза [2.46]

В обзоре [2.47] обобщены современные знания о подтипах рецепторов мелатонина с акцентом на те рецепторы, которые были идентифицированы в тканях глаза, и их возможную роль в биохимических и физиологических процессах в глазу.

Многие биологические процессы проявляют циркадные ритмы, которые предположительно действуют для координации клеточных функций с ежедневными колебаниями окружающей среды. Суточные изменения в освещении передаются сетчаткой в мозг для включения циркадных ритмов всего тела. Многие ткани глаза сами проявляют циркадные ритмы активности для оптимизации специфических процессов, которые требуют координации с циклом свет-темнота. Циркадная сигнальная молекула, мелатонин, секретируется в кровоток из шишковидной железы, а также вырабатывается в определенных глазных клетках, таких как фоторецепторы сетчатки, цилиарные эпителиальные клетки и, возможно, клетки хрусталика. По-видимому, мелатонин захватывает многие аспекты биологических часов посредством активации специфических мембранных рецепторов мелатонина, связанных с G-белком. Циркадная ритмичность некоторых функций различных тканей

глаза, возможно, соотносится с экспрессией специфических рецепторов мелатонина, связанных с G-белком, который участвует в регуляции циркадной активности в ткани глаза.

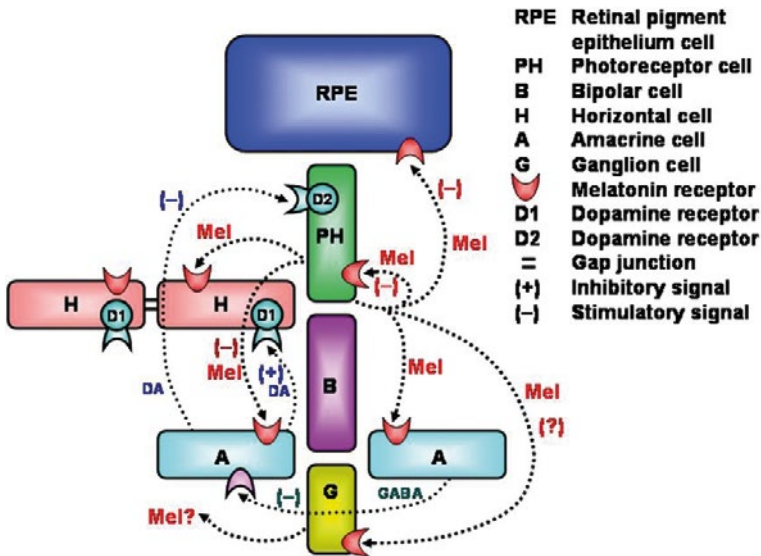


Рис. 2.21. Размещение подтипов рецепторов дофамина и мелатонина в функциональных клетках сетчатки (2.47)

Рабочая гипотеза паракринной передачи сигналов мелатонина в сетчатке. Мелатонин вырабатывается фоторецепторами ночью и диффундирует к клеткам-мишеням в сетчатке, которые имеют рецепторы мелатонина. Мелатонин может связываться с ГАМКергическими и/или дофаминергическими амакриновыми клетками, чтобы стимулировать высвобождение ГАМК (гамма-аминомасляная кислота синтезируется из глутаминовой кислоты) или ингибировать высвобождение дофамина. ГАМК ингибирует высвобождение дофамина из амакриновых клеток. Более низкая скорость высвобождения дофамина из амакриновых клеток приводит к меньшей стимуляции D1-рецепторов на горизонтальных клетках, что приводит к усилению связывания горизонтальных клеток через щелевые соединения, что приводит к увеличению размера рецептивного поля и повышенной чувствительности к свету. Более низкое связывание дофамина с D2-рецепторами на фоторецепторных клетках приводит к увеличению синтеза мелатонина. Мелатонин может связываться с горизонтальными клетками, чтобы напрямую ингибировать клеточный ответ на связывание с рецептором D1. Мелатонин также может связываться с рецепторами, расположенными на фоторецепторной мембране, которые могут непосредственно увеличивать чувствительность палочек к свету и/или регулировать синтез мелатонина.

В структурах глаза мелатонин синтезируется из триптофан-серотонина при участии дофамина и функционировании амакриновых клеток и осуществляет антиоксидантную защиту клеток глаза от воздействия световых нагрузок от солнечного и искусственных источников света (2.48).

2.2.3. Амакриновые клетки и свет

При попадании света на сетчатку амакриновые клетки выделяют вещества, которые замедляют рост склеры. Фактор роста действует на хондроциты в склере, и сетчатка может «выключить» рост глаз. Это явление подтверждается экспериментально. Выращивание цыплят в темноте приводило к усиленному росту глаз [2.49]. Также в работе отмечается, что в темноте появляется выпячивание роговицы и увеличение глубины передней камеры. Механизмы требуют уточнения и дополнительных исследований.

2.2.4. Защитная роль мелатонина и ганглионарные клетки сетчатки

Окислительный стресс вызывает глазные нейродегенеративные заболевания, такие как глаукома или дегенерация желтого пятна. Увеличение количества активных форм кислорода и азота в ганглиозных клетках сетчатки (RGCs) вызывает повреждение структуры и функции аксонов, составляющих зрительный нерв, что приводит к гибели клеток в результате апоптоза, некроза или аутофагии в RGCs. *Использование антиоксидантов для предотвращения зрительных нейродегенеративных патологий является новой и, возможно, ценной терапевтической стратегией.* Для исследования нейропротективной эффективности мелатонина (MEL) *in vitro* и *in vivo* в RGCs в работе [2.50] использовали модель (рис. 2.22) токсичности окислительного глутамата (GLUT) в сочетании с l-бутионином-S, R-сульфоксимином (BSO), который вызывает гибель клеток в результате апоптоза через цитотоксичность и механизмы окислительного стресса.

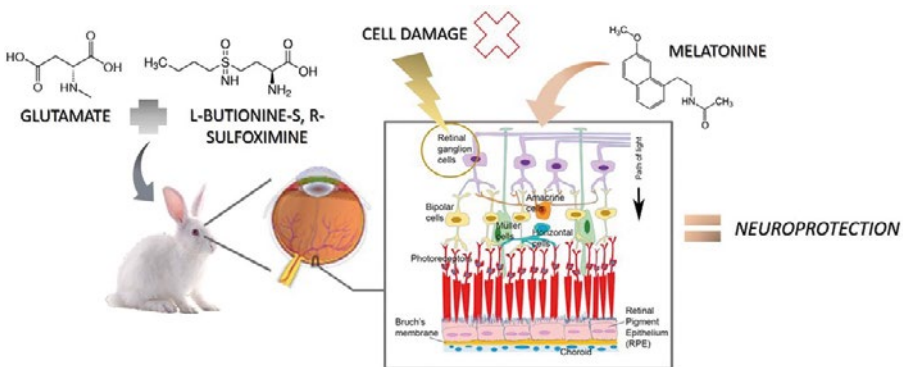


Рис. 2.22. Мелатонин как антиоксидант глутамата

Гистологические срезы и иммуногистохимические анализы с использованием техники TUNEL были выполнены для определения повреждения, генерируемого в пораженных клетках, и для наблюдения за процессом гибели RGCs. Результаты выявили прогрессирующую смерть RGCs без каких-либо существенных признаков снижения функции сетчатки после 9 дней лечения. Таким образом, BSO-GLUT не может оказывать окислительное действие на клетки, чтобы противодействовать эффекту MEL. Эти результаты показывают, что MEL обладает нейропротекторным и антиапоптотическим эффектом, о чем свидетельствует уменьшение повреждения от окислитель-

ного стресса. MEL, продемонстрированный на этой модели, делает его перспективным нейропротекторным средством для лечения нейродегенеративных заболеваний глаз при локальном введении.

2.2.5. Влияние ближнего инфракрасного облучения и оптика человеческого тела

С точки зрения изучения влияния света на организм человека представляют интерес общие вопросы нового направления 3D-оптики человеческого тела и то, как она расширяет наши представления о влиянии света на здоровье человека. Основы этого подхода изложены в обзоре «Мелатонин и оптика человеческого тела» [2.51].

В настоящее время миллиарды долларов расходуются на исследования, разработку продуктов и маркетинг, основанный на воздействии видимого света на мелатонин, вырабатываемый шишковидной железой. В настоящее время показано, что митохондрии продуцируют мелатонин во многих клетках в количествах, которые на несколько порядков выше, чем в шишковидной железе. Этот *субклеточный мелатонин* не обязательно колеблется с нашими циркадными часами или выбросом в систему кровообращения, но вместо этого было предложено употреблять его локально в ответ на плотность свободных радикалов в каждой клетке, в частности, в ответ на воздействие ближнего инфракрасного излучения (БИК). Автор предполагает, что субклеточный мелатонин вырабатывается в ответ на фотоны БИК, которые составляют большую часть естественного солнечного света. Учитывая количество клеток и количество субклеточного мелатонина, идентифицированного на сегодняшний день, разумно предположить, что организм производит и поддерживает мелатониновый резервуар, который отделен от циркулирующего мелатонина, вырабатываемого шишковидной железой. Чтобы понять, как солнечный свет может поддерживать или стимулировать этот антиоксидантный резервуар, необходимо определить количество свободных радикалов в различных частях человеческого тела. Чтобы сделать это, необходимо отказаться от двумерных эмпирических подходов и разработать трехмерные биооптические модели, основанные на основных биологических процессах. Трехмерные механистические биооптические модели (МБМ) кожи, глаза и мозга, основанные на непоследовательной трассировке оптических лучей и данных электронного спинового резонанса (ESR), четко указывают на то, что БИК-часть естественного солнечного света обеспечивает основной стимул во время дня для большинства клеток в организме человека, воздействуя более чем на 60% клеток во взрослом организме и 100% клеток у плода и детей младшего возраста. Также показано, что человеческое тело, в предположении естественного солнечного света, разработало оптические механизмы для сбора и локализации БИК-фотонов в наиболее чувствительных областях человеческого тела: кровеносных сосудах, сетчатке, мозге, коже и даже в плоде беременной женщины. При таком подходе роль циркуляторного мелатонина, вырабатываемого шишковидной железой, заключается в обеспечении эффективного способа доставки дополнительного мелатонина в периоды низкой клеточной активности и солнечного раздражения к поврежденным или стареющим клеткам как у суточных, так и у ночных животных.

Как было предложено Tan et al. [2.52] и впоследствии подтверждено, мелатонин продуцируется и обнаруживается в митохондриях во многих клетках, а также обнаруживается в экстракринальных тканях, включая головной мозг, сетчатку, хрусталик, улитку, эпителий дыхательных путей, кожу, желудочно-кишечный тракт, печень, почки, щитовидную и поджелудочную железу, тимус, селезенку, клетки иммунной системы, репродуктивный тракт и клетки эндотелия в количествах, которые могут быть на несколько порядков выше уровня циркулирующего мелатонина, вырабатываемого шишковидной железой. Гипотеза авторов заключается в том, что в отличие от циркулирующего мелатонина, вырабатываемого в шишковидной железе, субклеточный мелатонин (наряду с другими антиоксидантами) *продуцируется в митохондриях как локальный ответ на локальную плотность свободных радикалов в большинстве наших клеток*. Исследователи продемонстрировали биосинтез мелатонина в митохондриях различных видов и различных типов клеток [2.53–2.55].

Odinokov и Hamblin [2.56] предположили, что БИК-фотоны стимулируют биосинтез субклеточного или экстракринального мелатонина посредством циклического аденозинмонофосфата (АМР) или активации NF-kB или, альтернативно, путем стимуляции стволовых клеток костного мозга. В общем, образование свободных радикалов посредством абсорбции БИК в различных хромосомах является механизмом действия, который составляет основу фототерапии БИК для лечения ран, деменции, дегенерации желтого пятна [2.57–2.61].

Известно, что мелатонин и его метаболиты являются высокоэффективными поглотителями свободных радикалов [2.61] и могут также действовать в качестве непрямых антиоксидантов, стимулируя другие антиоксидантные ферменты [2.62–2.65].

На клеточном уровне разумно утверждать, что свободные радикалы должны быть нейтрализованы антиоксидантами со скоростью, достаточной для поддержания клеточного здоровья и предотвращения *накопления молекулярного мусора* [2.66].

В частности, в этой работе говорится: «В биологии старения существуют два общеизвестных понятия. Согласно первому, существует программа старения. Альтернативная концепция утверждает, что старение происходит стохастически. В этой области исследований теория радикального старения, предложенная Денхамом Харманом в 50-х годах XX века, определила наиболее эвристическую линию. На этой основе естественным образом объясняются универсальные особенности старения, такие как экспоненциальный рост смертности во времени и корреляция продолжительности жизни с видоспецифичным метаболизмом покоя. Стохастические неисправности митохондриальных электронно-транспортных нанореакторов, которые производят кислородные анион-радикалы ($O^2 \cdot -$) в качестве побочных продуктов дыхания, по-видимому, имеют первостепенное значение. Как восстановитель, $O^2 \cdot -$ влияет на соотношение $NAD(P)H/NAD(P)^+$ и, изменяя активность сиртуинов (семейство эволюционно консервативных НАД-зависимых белков, обладающих деацетилазной или АДФ-рибозилтрансферазной активностью), замедляет обновление биомолекулярных структур.

Как следствие, *продукты окислительного стресса и другие метаболические шлаки накапливаются* с последующим импульсом к аутофагической или апоптотической гибели клеток, сопровождаемой возрастными клиническими расстройствами. Основываясь на этом подходе теории надежности, можно оценить, что долговечность человеческого мозга может достичь 250 лет, если антиоксидантная защита от сбоев свободных радикалов будет идеальной. Таким образом, свободнорадикальный окислительно-восстановительный таймер служит эффективным стохастическим механизмом реализации запрограммированного дефицита надежности биомолекулярных конструкций.

В этом сценарии здоровые клетки обычно содержат избыток антиоксидантов.

$$\sum \text{Antioxidants} = \alpha \sum \text{Free Radicals}$$

где $\alpha > 1$

Исходя из этой гипотезы, каждая здоровая клетка будет постоянно пополнять свои собственные запасы антиоксидантов в ответ на количество свободных радикалов, генерируемых производством энергии, солнечным светом, болезнетворными микроорганизмами. В течение дня высокая клеточная активность и воздействие солнечного света потребуют антиоксидантных реакций с постоянными времени в диапазоне секунд при изменении внутренних и внешних условий в каждой ячейке. Предполагается, что совокупное качество этих антиоксидантных резервуаров может объяснить, почему было показано, что фототерапия БИК улучшает то, как мы спим, сколько циркулирующего мелатонина извлекается из крови во время сна и насколько хорошо мы функционируем на следующий день [2.67].

Эта гипотеза, в отличие от существующей циркадной теории, также согласуется с ночными животными, вырабатывающими мелатонин с высоким кровообращением в течение ночи. Принято считать, что SCN сигнализирует о высвобождении циркулирующего мелатонина из шишковидной железы в ответ на отсутствие синих и зеленых фотонов на сетчатке. Тот факт, что ночные животные и ночные рабочие продолжают вырабатывать высокий уровень циркулирующего мелатонина в периоды высокой клеточной активности [2.68], указывает на то, что антиоксидантные свойства мелатонина имеют первостепенное значение для млекопитающих. По мере того как антиоксиданты и свободные радикалы сражаются, *образуется молекулярный мусор*. Известно, что накопление мусора в результате этого постоянного сражения связано со старением [2.69].

Таким образом, субклеточный мелатонин может быть лучшим биомаркером для здоровья клеток, чем мелатонин в кровообращении. Предполагается также, что основной функцией шишковидной железы является обеспечение дополнительного мелатонина (циркуляторного мелатонина) в периоды низкой клеточной активности у суточных существ с использованием градиента химической концентрации через клеточную мембрану для эффективной доставки мелатонина только в те клетки, которые нуждаются в добавке, как дополнение к предоставлению циркадной информации. Исходя из этой перспективы, если бы количество свободных радикалов, генерируемых в каждой клетке, было известно, антиоксидантный ответ можно было бы

оценить вместе с вероятностью накопления мусора. Профиль поглощения фотонов в каждом диапазоне длин волн можно рассчитать по непоследовательным оптическим трассам, что, в свою очередь, приводит к трехмерному распределению свободных радикалов с использованием данных электронного спинового резонанса. Из этих распределений можно рассчитать оценку трехмерного распределения антиоксидантов, необходимых для здоровых клеток. *Оценки молекулярного мусора/накопления воспаления также могут быть рассчитаны.* Учитывая, что практически все исследования в этой области были основаны на двухмерных эмпирических данных, трехмерный механистический подход обеспечивает существенное понимание некоторых самых основных биологических процессов организма. Чтобы продолжить, необходимо сначала взглянуть на проблему с точки зрения оптики.

Раздел 2.3. Оптика человеческого тела

Солнечный свет на протяжении миллионов лет является самым большим внешним стимулом для человеческого организма (до 60 МДж/день). Солнце – это широкополосный излучатель с преобладанием ближнего инфракрасного излучения, который подвергает нас воздействию фотонов с длинами волн от 250 до 4000 нм. Активный диапазон циркулирующего мелатонина простирается от 420 до 500 нм. Предполагается, что субклеточный мелатонин стимулируется БИК-фотонами от 650 до 1200 нм. БИК представляет 70% всего солнечного спектра с точки зрения фотохимии (фотонов в секунду). При этом отмечается, что коэффициенты как поглощения, так и рассеяния существенно различаются в зависимости от длины волны. Как было показано, уровень циркулирующего мелатонина и существующие циркадные ритмы зависят только приблизительно от 2% спектра, испускаемого Солнцем. По мнению хронобиологов, отсутствие воздействия на сетчатку фиолетовыми, синими и зелеными фотонами запускает SCN, чтобы стимулировать шишковидную железу к выделению циркулирующего мелатонина. Этот узкий диапазон длин волн (фиолетовый, синий и зеленый) соответствует голубому цвету неба. Таким образом, современные системы видимого освещения (CBO VOL) в настоящее время разрабатываются таким образом, чтобы иметь высокое содержание синего в течение дня, чтобы сделать людей более внимательными (подавлять циркулирующий мелатонин) и низкое содержание синего в ночное время для лучшего сна (не подавляющего циркулирующий мелатонин). Исходя из глубины оптического проникновения фотонов в БИК, большинство клеток человеческого тела «видят» фотоны БИК только в том, что называется «терапевтическим или биологическим окном». При естественном солнечном свете более 70% фотонов, падающих на тело, являются фотонами ближнего света. Светодиодное, OLED и CFL освещение и дисплеи испускают нулевые БИК-фотоны, поэтому их можно назвать «только видимыми» излучателями в отличие от источников солнечного света, огня, лунного света и ламп накаливания, которые излучают в основном БИК-фотоны. Наши тела не приспособлены к CBO, как показано на рисунке 2.23, и, с точки зрения дозировки или фотохимии, не существует эквивалентности между спектрами, испускаемыми CBO и дисплеями, и тем, с чем мы сталкиваемся в природе.

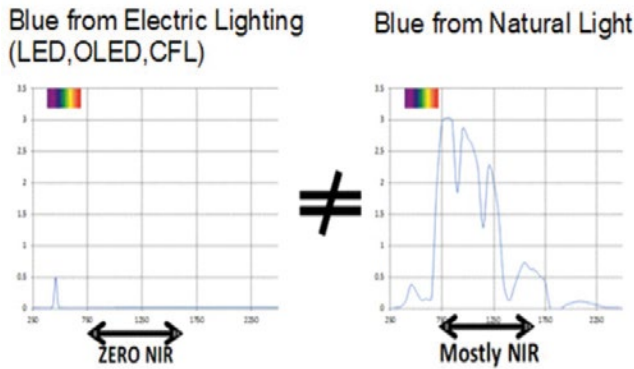


Рис. 2.23. Сравнение искусственного синего света и синего света в природе

Источники освещения и индикации LED, CFL, OLED излучают нулевой БИК. Солнце является преимущественно излучателем БИК, что в сочетании с отрагательной способностью нашего окружения гарантирует, что наши клетки всегда подвергаются воздействию избытка БИК-фотонов по сравнению с ультрафиолетовыми или видимыми фотонами. В природе цвета, которые мы видим, создаются путем сильного поглощения видимых фотонов; однако, фактически все наше окружение сильно рассеивает фотоны БИК. Как показано на рисунке, неправильно просто использовать только спектр Солнца при сравнении излучателей только видимого спектра с естественным солнечным светом. Трава, облака и даже грязь поглощают видимые фотоны и сильно отражают фотоны БИК. Учитывая скорректированный спектр источника, становится возможным моделировать, как фотоны на каждой длине волны поглощаются в теле человека. БИК-фотоны рассеиваются на несколько дюймов в теле даже через череп из-за низкого оптического поглощения и анизотропной природы рассеяния в теле человека. Это приводит к тому, что 100% клеток плода и детей младшего возраста подвергаются воздействию большего количества фотонов БИК по сравнению с примерно 60% клеток у взрослых, как показано на рисунке 2.24.

Биологические окна, которые существуют в БИК, приводят к тому, что большинство наших клеток подвергаются воздействию только БИК-фотонов. Короткие фотоны с более высокой энергией (UV, HEV, VIS) локализованы оптически на внешних поверхностях нашей кожи и глаз. Чтобы понять, как это происходит, необходимо посмотреть на разницу между тем, как фотоны передаются в прозрачных и полупрозрачных материалах. Характеристика даже тонких слоев полупрозрачных материалов представляет собой одно из самых сложных измерений в оптике из-за негамильтоновой природы рассеяния. К сожалению, отсутствие понимания того, как правильно измерять полупрозрачные материалы, привело к ряду неверных оптических измерений в литературе и недооценке того, как далеко в тело могут проникать фотоны всех длин волн. Известно, что человеческое тело является неоднородной средой, чьи оптические свойства сильно зависят от длины волны при воздействии источников, которые сильно различаются, особенно в современную эпоху искусственного освещения и дисплеев. Полупрозрач-

ные материалы не могут быть точно измерены с использованием стандартных методов источник/детектор, как описано Tirpak и Young [2.70], обычно используемых для прозрачных материалов, поскольку детектор пропускает большинство рассеянных фотонов. Даже метод двойного пучка, упомянутый в ссылке, ограничен тонкими однородными полупрозрачными материалами из-за потерь света на краях образца. Вместо этого необходимо использовать оптические модели и методы визуализации для правильной оценки распределения фотонов в сложных рассеивающих неоднородных средах, таких как человеческое тело. На рисунке 2.25 также показано сравнение между передачей через руку 6-летнего ребенка и 60-летнего взрослого с использованием того же белого светодиодного источника света на ладони.

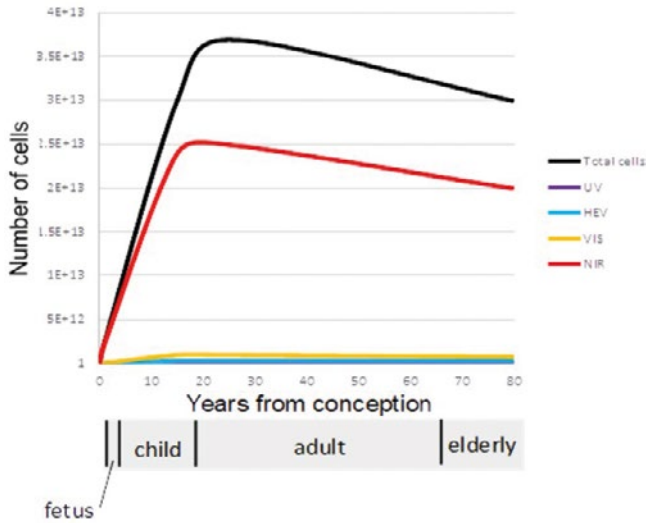


Рис. 2.24. Сравнение количества клеток в организме человека под воздействием длин волн ультрафиолетового излучения, HEV, VIS и NIR

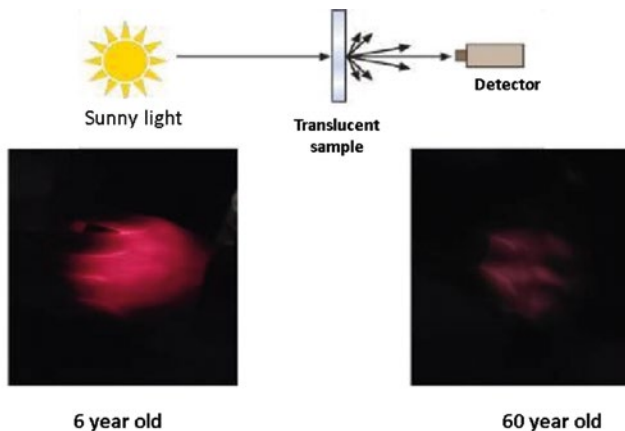


Рис. 2.25. Типичная методика измерения детектора источника и фотографии относительной видимой передачи через руку 6-летнего по сравнению с 60-летним

При этом хочется отметить, что с возрастом меняется количество воды в теле человека, что и уменьшает прозрачность для ближнего инфракрасного излучения.



Рис. 2.26. Динамика изменения воды в теле человека [2.71]

Учитывая, что коэффициент оптического поглощения в красной области намного больше, чем в БИК, этот эффект будет еще более выраженным в БИК. Как показано на рисунке 2.27, мозг представляет собой прекрасный пример как элегантности, так и сложности оптики человеческого тела, и почему чрезмерно упрощенные методы измерения, используемые в литературе, в лучшем случае вводят в заблуждение. Оптически цереброспинальная (CSF) *жидкость*, окружающая мозг, имеет минимальное оптическое поглощение и рассеяние в БИК, образуя очень эффективный, по существу, *прозрачный световод*, охватываемый рассеивающими поверхностями.

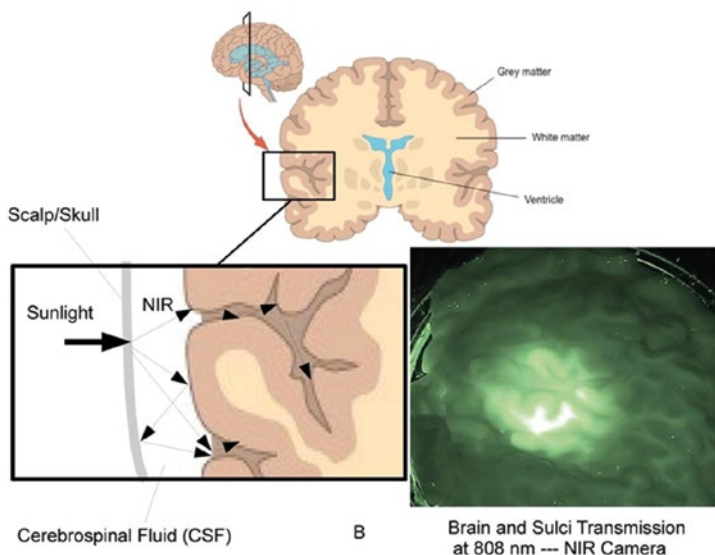


Рис. 2.27. Срез мозга и световодное проникновение фотонов ближнего инфракрасного света

На рисунке видны эффекты световодного и оптического распределения CSF, а также NIR-изображение среза свежего человеческого мозга толщиной 1 дюйм (25 мм), освещенного источниками БИК. Скальп и череп блокируют ультрафиолетовые/видимые фотоны, но передают БИК-фотоны в эту по существу прозрачную область, окружающую мозг жидкость CSF, окружающий мозг, *оптически действует как световод*, распределяя БИК-фотоны, рассеивающие их даже глубоко в складки мозга. Таким образом, мозг, по-видимому, оптически предназначен для распределения БИК-фотонов в сером веществе даже вниз в складки мозга, как показано на разрезе. Интересно, что серое вещество локализуется на внешней поверхности мозга таким образом, чтобы это соответствовало гипотезе о том, что БИК полезен для серого вещества. Эта область, как представляется, требует дальнейших исследований, связанных с влиянием БИК на нейромеланин и кровоток в сером веществе, особенно в свете исследований дневного освещения, которые показали, что естественный солнечный свет (богатый БИК) улучшает показатели обучения детей, по сравнению с искусственным освещением с дефицитом БИК [2.72].

Измерение полупрозрачных материалов легко вводит в заблуждение из-за эффектов рассеяния. Однако легко показать относительно более высокую передачу телу ребенка по сравнению с взрослым. Мозг, глаз и матка женщины имеют дополнительную сложность, *основанную на сформированных оптических световодных элементах*, которые эффективно направляют БИК-фотоны способом, подобным *световым трубам*, используемым в большинстве автомобильных и авиационных приборов, даже в борозды мозга. В общем, оптическое моделирование и визуализация необходимы для правильной оценки количества клеток, подверженных воздействию различных длин волн в неоднородных полупрозрачных биологических материалах. Основываясь на 3D-оптической модели, рассчитано, что значительное количество БИК-фотонов проникает в кожу минимум на 8 см в среднем. Это грубое приближение затем использовалось для расчета количества клеток, на которые воздействовал БИК, у взрослых, детей, плода и пожилых людей, как показано ранее на рисунке 2.25. Аналогичный расчет был использован для ультрафиолетовых и видимых спектров. Это приблизительные значения, но они четко указывают на то, что БИК уникально взаимодействует с большинством наших клеток на протяжении всей жизни.

Читателю рекомендуется наблюдать за этим эффектом лично, поместив большой палец на фонарик своего мобильного телефона в затемненной комнате. Синие и зеленые фотоны сильно поглощаются, тогда как красные фотоны, излучаемые светодиодом, равномерно распределены по объему большого пальца. Следует отметить, что это преобразование из локализованного источника в практически равномерное освещение в большом объеме происходит в любой рассеивающей среде, которая имеет низкие коэффициенты оптического поглощения и анизотропного рассеяния. Предполагается, что этот эффект происходит во всем теле человека, чтобы обеспечить практически равномерную стимуляцию для наших кровеносных сосудов, серого вещества, сетчатки и митохондрий. Из-за их меньшего физического размера, но схожих коэффициентов оптического поглощения и рассеяния, моде-

ли показывают, что дети и плод имеют более высокий уровень воздействия на мозг и внутренние органы, чем взрослые. Этот оптический эффект необходимо учитывать в любой когнитивной или учебной ситуации. Интересно, что у детей, богатых меланином, уровень пигментации уже через 6 месяцев после рождения достигает своих взрослых значений. Одна из возможностей заключается в том, что значение БИК в матке было недооценено и что уровни меланина в матке подавляются, чтобы максимизировать воздействие БИК до рождения. Исходя из этого приближения, с возрастом примерно 20 триллионов из 37 триллионов клеток, составляющих наше тело, подвергаются воздействию БИК-фотонов в естественном солнечном свете [2.74]. Еще раз отмечается, что современные источники видимого освещения (LED, OLED и CFL) излучают нулевой БИК.

С оптической точки зрения человеческое тело разработало несколько удивительных механизмов, которые, по-видимому, активно собирают БИК-фотоны и направляют их в наши самые чувствительные области. Как показано на рисунке 2.28, глаз имеет большее окно передачи БИК, чем в видимой области.

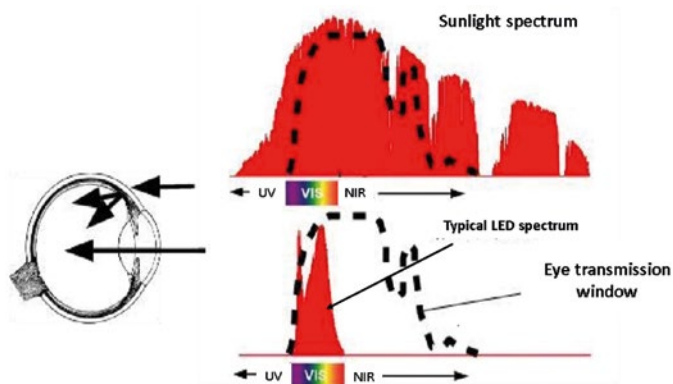


Рис. 2.28. ИК-окна для передачи ближнего инфракрасного излучения в глаз и его склеру

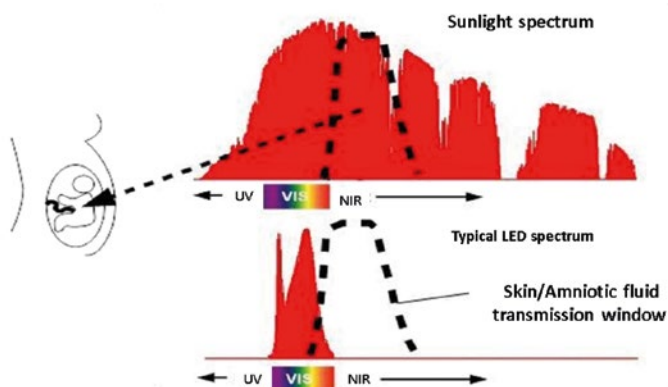


Рис. 2.29. ИК-окна для передачи ближнего инфракрасного излучения на матку с плодом ребенка

Глаз оптически является визуализирующим элементом для видимого света и не визуализирующим элементом для БИК, при этом большинство фотонов БИК попадают на сетчатку, проникая через веко и склеру. Точно так же плод окружен амниотической жидкостью, которая имеет максимальную передачу в БИК, образуя интегрированную с диэлектриком сферу, окружающую плод, обеспечивая равномерное воздействие фотонов БИК, падающих на живот матери. Веки, склера и сосуды (в зависимости от уровня меланина) передают БИК таким образом, что большинство фотонов, падающих на сетчатку, на самом деле не проникают через зрачок, а проходят через склеру, наполняя сетчатку фотонами БИК даже с закрытыми веками. Еще более впечатляющей является оптика плода. Амниотическая жидкость имеет пик передачи, похожий на жидкость CSF вокруг мозга, и составляет около 850 nm. Амниотическая жидкость в сочетании с передачей кожи матери купала плод в фотонах БИК в начале беременности.

БИК-фотоны были показаны для уменьшения MCP-1 белков [2.75], в то время как в отдельном исследовании высокие белки MCP-1 (связанные с воспалением) в амниотической жидкости были связаны с аутизмом [2.76].

Как обсуждалось ранее, CSF вокруг мозга также имеет пик передачи в БИК, и некоторые исследователи использовали БИК для лечения посттравматического стрессового расстройства (ПТСР), деменции и Паркинсона [2.77]. После разработки 3D-моделей оптического отслеживания лучей можно оценить трехмерное распределение свободных радикалов с помощью данных Electron Spin Resonance, предоставленных Застроу [2.78].

Застроу измерил количество свободных радикалов, генерируемых в коже, как функцию длины волны. Очевидно, что УФ-фотоны более эффективны при генерации свободных радикалов, но все длины волн генерируют значительное количество свободных радикалов. Вот почему исходный спектр и трехмерные оптические распределения, обсуждаемые ранее, имеют значение для этой проблемы. Хотя УФ-фотоны могут более вероятно создавать свободный радикал, но есть много синих фотонов в большинстве источников света, особенно светодиодов, включая Солнце. И наоборот, синие фотоны проникают глубже в кожу, поэтому они генерируют более низкую плотность свободных радикалов, чем УФ-фотоны. При естественном солнечном свете ультрафиолетовые фотоны (менее 430 nm) и видимые фотоны (более 430 nm) генерируют равное количество свободных радикалов, как это было впервые реализовано Застроу и др. [2.78, 2.79].

Однако они не объединили свои данные ESR с оптическими данными для создания трехмерного свободного радикального распределения, упустив фундаментальное различие между типом создаваемых свободных радикалов. Предполагается, что трехмерная плотность свободных радикалов и расположение определяют степень повреждения фотонов, генерируемого в биологических системах. Очевидно, что в отличие от УФ-фотонов, синие фотоны (400–500 nm) образуют свободные радикалы в жировых слоях кожи и сетчатки. УФ-фотоны генерируют в основном реактивные виды кислорода и азота во внешних слоях кожи, которые заменяются каждые 20–24 дня. Синие фотоны NEV генерируют большое количество липидных свободных радикалов в клетках, которые имеют жизненный цикл несколько месяцев.

Это первый шаг в понимании того, как фотоны взаимодействуют с нашими ячейками. Требуется более подробное исследование, чтобы определить, какие свободные радикалы генерируются, их местоположение и реакцию организма на каждый тип свободных радикалов [2.80].

Солнечный ожог – это естественная реакция организма, которая предупреждает нас о том, что мы должны спрятаться от Солнца, блокируя ультрафиолетовое излучение, чтобы избежать рака кожи [2.81]. Было показано, что при естественном солнечном свете NIR-фотоны обеспечивают защиту от повреждения, вызванного как ультрафиолетовыми, так и видимыми фотонами *in vivo*.

Существует общее заблуждение, что искусственное освещение является более мягким с уровнями потока, слишком низкими, чтобы вызвать повреждение. Основываясь на данных из Zastrow [2.80], сравнивается количество свободных радикалов, генерируемых 750 люксами в офисе, с 76000 люксами на пляже за 30 минут. *С точки зрения дозы, 8 часов в офисе генерируют такое же количество свободных радикалов, как и 30 минут при нахождении на солнце в соответствии с теорией взаимности, используемой в фотохимии.* Основываясь на личном непреднамеренном опыте, можно получить Blueburn от воздействия светодиодного освещения в течение длительных периодов времени. В результате слой кожи толщиной около 1 мм отмирает и отшелушивается.

В общем, скорость генерации свободных радикалов видимыми фотонами была значительно недооценена. Данные ESR и МБМ иллюстрируют то, что видимые фотоны не являются доброкачественными и могут быть основным фактором риска при некоторых видах рака кожи. Большая часть литературы от светотехнического сообщества основана на неточных двумерных единицах измерения, таких как люкс, что делает практически невозможным определение применяемой дозы. Застроу не предоставляет спектр, но указывает тип используемого источника таким образом, что доза может быть рассчитана приблизительно. В целом, все биооптические процессы в организме являются фотохимическими по своему характеру и, как таковая, доза имеет значение. Существует большой объем исследований, который использует фотоны БИС с измеренной дозировкой для лечения с использованием таких терминов, как Photobiomodulation (PBM), низкоуровневое лазерное лечение (LLLT), и БИК фототерапия. Основное внимание, однако, сосредоточено на разработке методов лечения, на основе краткосрочных воздействия БИК (20 минут или меньше).

Hamblin et al. [2.82] показали, что производство АТФ стимулируется не-термальными воздействиями БИК продолжительностью несколько минут. Следует отметить, что распространенное заблуждение заключается в том, что инфракрасное излучение приравнивается к теплу. Учитывая, что энергия обратно пропорциональна длине волны, термически один мВт/см² из 450 нм (синих) фотонов и один мВт/см² из 900 нм (БИК) генерирует одинаковое повышение температуры, если оптические коэффициенты абсорбции одинаковы на обеих длинах волн. Однако с точки зрения фотохимии один мВт/см² фотонов БИК доставляет в тело в два раза больше фотонов по сравнению с одним мВт/см² синих фотонов. Учитывая, что второй за-

кон фотохимии гласит, что есть один фотон на одну молекулярную связь, появляется необходимость перехода **к более точным единицам**, которые согласуются с основными биологическими процессами [2.83].

А. Keszler et al. (2017) показали, что фотоны БИК стимулируют расширение кровеносных сосудов, что приводит к высвобождению связанных с оксидом азота соединений. Wang et al. [2.84] использовали широкополосную инфракрасную спектроскопию для измерения воздействия лечения БИК. В целом, полный солнечный спектр, предоставляемый солнечным светом в течение миллиардов лет, оказывает как положительное, так и отрицательное влияние на здоровье клеток. Возвращение рахита у некоторых детей на основе блокирования УФ-фотонов из-за проблем рака кожи является недавним примером того, как воздействие и отсутствие воздействия солнечного света имеет как хорошие, так и плохие аспекты. Учитывая разнообразие и количество известных хромофоров и биологических процессов, которые реагируют на различные диапазоны длин волн солнечного света, необходимо проявлять осторожность, прежде чем мы изменим спектр и интенсивность профилей от солнечного света. Другие оптические исследования показали, что только видимые излучатели негативно влияют на здоровье. Предварительные результаты исследования [2.85, 2.86] показывают, что дети, которые проводят более 7 часов, подвергаясь воздействию искусственных видимых источников света, демонстрируют истончение коры головного мозга.

Статьи по внеклеточному или субклеточному мелатонину становятся все более распространенными в литературе, что связано с влиянием субклеточного мелатонина на старение [2.87]. Стимуляция субклеточного мелатонина с использованием лечения БИК даже была предложена в качестве механизма для продления продолжительности жизни [2.56]. В целом, субклеточный мелатонин является основным кандидатом для местного контроля и реагирования на свободные радикалы, либо генерации во время нормального производства энергии внешними свободными радикальными источниками генерации, как солнечный свет. Возможность количественной оценки числа, местоположения и типа генерируемых свободных радикалов требуется, чтобы понять, как субклеточный мелатонин используется в организме.

Как показано на рис. 2.30, необходимо понимать оптику человеческого тела, чтобы количественно оценить воздействие свободных радикалов и антиоксидантную реакцию. В природе наши самые чувствительные органы ежедневно подвергаются воздействию преимущественно БИК-фотонов. Мелатонин представляет два уникальных биомаркера эндокринного и аутокринного действия. Исключительное использование кровеносного мелатонина в качестве биомаркера должно быть использовано с осторожностью и, как представляется, привело к разработке и производству источников света, которые увеличивают окислительный стресс в сетчатке, коже, мозге. Существует потребность в точных биомаркерах клеточного антиоксидантного здоровья для разработки продуктов, которые оптимизируют субклеточный мелатонин.

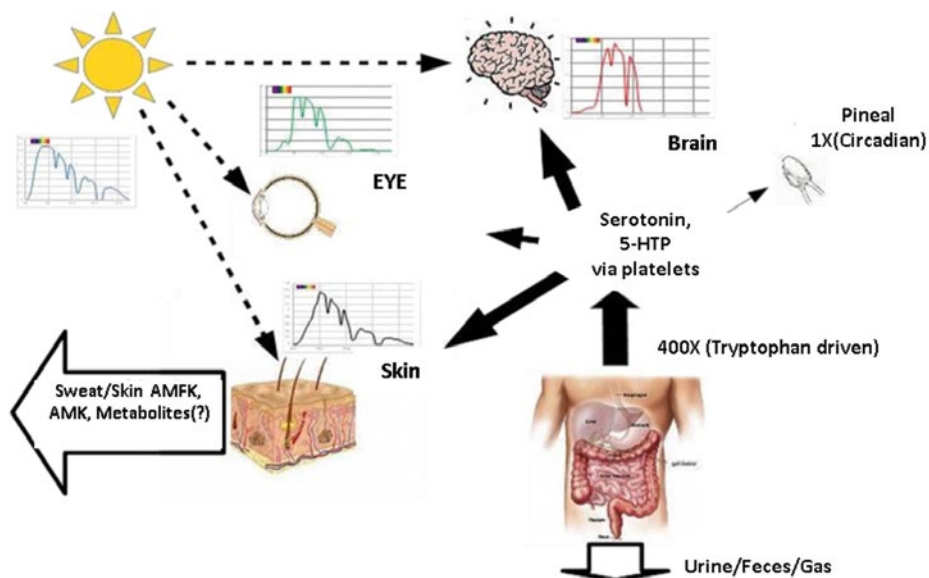


Рис. 2.30. Взаимосвязь спектров для кожи, сетчатки и головного мозга с производством мелатонина и продуктами жизнедеятельности

Как было показано, БИК однозначно взаимодействует с большинством наших клеток. Даже окружающие жидкости мозга имеют пик передачи БИК, образуя оптический светоканал влияния. Это в сочетании с более высоким поглощением БИК нейромеланином в сером веществе по сравнению с основным белым веществом мозга создает интересный механизм сбора информации с точки зрения оптики. Показано, что субклеточный мелатонин продуцируется на порядок в больших количествах, чем в шишковидной железе. Предполагается, что организм генерирует антиоксидантный резервуар, частично стимулируемый воздействием солнечного света в течение дня. Днём субклеточный мелатонин вырабатывается в избытке, по существу выступая в качестве резервуара или батареи, сохраняющей избыток антиоксидантной емкости в течение ночи, циркулирующий мелатонин из шишковидной железы обеспечивает эффективную доставку дополнительного мелатонина только наиболее нуждающимся клеткам. Как указывалось ранее, было показано, что БИК-фотоны стимулируют расширение и увеличивают кровоток в коже, сетчатке, мозге, плоде, поскольку они уникальным образом проникают вглубь тела и организм стимулируется выделять связанные с оксидом азота соединения, увеличивающие кровоток и скорость выведения отходов. Это пример того, как устроено тело, исходя из предположения, что мы подвержены воздействию преимущественно ближнего инфракрасного излучения. Тело предполагает, что ультрафиолетовые и видимые фотоны локализованы в наших внешних слоях кожи, вызывая повреждение, основанное на плотности свободных радикалов, где плотность свободных радикалов определяется оптическими свойствами нижележащих клеток. При естественном солнечном свете очевидно, что NIR обеспечивает пропорциональный и локальный ответ, который увеличивает

скорость удаления отходов и стимулирует антиоксидантную реакцию. Как обсуждено Slominski et al. [2.88], мелатонин также обеспечивает иммуномодулирующие, терморегуляторные и противоопухолевые свойства. NIR и субклеточный мелатонин, кажется, работают вместе. Рисунок 2.30 дополнительно иллюстрирует, почему оптические свойства должны быть приняты во внимание, чтобы понять биологические процессы. Кровеносные сосуды наблюдаются в БИК из-за низкого оптического NIR-поглощения кожи по сравнению с высоким оптическим БИК гемоглобина в крови. Связанное с этим рассеяние и низкое поглощение окружающих тканей локализует фотоны БИК в кровеносных сосудах. В видимом диапазоне длин волн кровеносные сосуды не видны. В диапазоне длин волн БИК кровеносные сосуды хорошо видны. Учитывая, что NIR-фотоны проникают в тело на несколько сантиметров, существуют и другие оптические механизмы, о которых даже не думалось, что они могут быть открыты.

Человеческое тело постоянно подвергается изменениям окружающей среды. Было показано, что NIR-фотоны обеспечивают защиту кожи до уровня SPF 15 [2.89], если кожа подвергается предварительной обработке перед воздействием ультрафиолетовых фотонов. В целом, эта работа иллюстрирует необходимость сотрудничества с медицинскими исследователями со стороны сообщества освещения. Возможно трехмерное количественное определение влияния фотонов на биологические системы. Как показано ранее, существуют огромные различия в коэффициентах оптического поглощения и рассеяния в зависимости от длины волны в теле человека. Простое изменение длины волны от 630 до 670 нм радикально увеличивает количество пораженных ячеек. Пока мы продолжаем использовать неточные единицы измерения и двумерные эмпирические подходы, мы не сможем найти решение. Большая часть беспорядка в области освещения просто основана на непонимании оптики человеческого тела. Более широкий взгляд на циркуляторную теорию учитывает как циркуляторный, так и субклеточный мелатонин. Циркуляторный мелатонин стимулируется отсутствием света. Но субклеточный мелатонин может стимулироваться присутствием света.

Что сегодня происходит в современном обществе. Обычный день начинается с подъема под излучателями только видимого света, проведение дня в офисе с аналогичными излучателями и окнами, покрытыми, чтобы блокировать проникновение фотонов в ближнем ИК-диапазоне при просмотре контента с высоким показателем информации, и возвращение после наступления темноты в дом, заполненный только видимыми излучателями (освещение и дисплей), которые подавляют циркулирующий мелатонин и препятствуют хорошему сну. Разумно утверждать, что в течение многих лет это приводит к накоплению молекулярного мусора и множеству заболеваний.

Следует отметить, что все обсуждения на данный момент игнорировали влияние пигментации кожи. В настоящее время неизвестно, как скорость образования свободных радикалов зависит от цвета кожи. Ким и др. [2.90] измерили разные уровни мелатонина и его метаболитов в клетках кожи в разных этнических группах под воздействием только ультрафиолета, при этом самые высокие уровни мелатонина были у молодых афроамерикан-

цев и пожилых кавказцев. Как обсуждалось ранее, данные ЭПР показывают, что в естественном солнечном свете ультрафиолетовая и видимая части генерируют одинаковое количество свободных радикалов, но с различной плотностью из-за глубины оптического проникновения. При достаточном совместном исследовании возможно количественно оценить различия и создать оптимизированные световые решения для всех.

Кроме того, не обсуждается важная тема импульсных и фиксированных излучателей. В то же время, когда спектральный диапазон сокращается, содержание информации радикально увеличивается, подвергая особенно детей высокочастотному импульсному свету. По сути, мы получаем этот высокий уровень информативности от устройств отображения в виде импульсных потоков фотонов. Возможны значительные исследовательские возможности в отношении частотного отклика биологических систем. Как показали Barolet и Boucher [2.91], импульсная эмиссия увеличивает биологическую активность в зависимости от возбужденного процесса. Цепь переноса электронов (ЕТС) и производство АТФ – это биомеханический процесс с частотой вращения более 600 оборотов в секунду. Было также показано, что кохлеарное возбуждение с помощью лазерных диодов связано с микросекундным временем отклика. В общем, необходимы дополнительные исследования, чтобы понять частотную характеристику биологических систем, поскольку мы стремимся к более высокому содержанию информации. Учитывая недавние исследования, показавшие истончение коры головного мозга у детей, которые проводят перед дисплеями более 7 часов, представляется целесообразным изучить, как излучатели с высокой частотой влияют на физиологию клеток. Как прямое воздействие, так и эффекты замещения должны быть приняты во внимание. Основными стимулами, вызывающими эти изменения в структуре мозга, являются импульсные фотоны. Предполагается, что *освещение с широтно-импульсной модуляцией*, в частности, является ненужным источником окислительного стресса и что повторное введение БИК-фотонов в нашу искусственную среду может обеспечить значительный уровень защиты, особенно для детей, от негативного воздействия более высокого информационного содержания.

Мелатонин и солнечный свет тесно связаны. Эти отношения любовь/ненависть еще более усугубляются наличием, по крайней мере, двух форм мелатонина, кровеносной и субклеточной. Предполагается, что один производится в ответ на отсутствие солнечного света, а другой производится в ответ на его присутствие. Циркуляторный мелатонин и его источник, шишковидная железа, действуют системно (эндокринно) на основе узкополосного стимула в фиолетовой, синей и зеленой области видимого спектра. Предполагается, что субклеточный мелатонин вырабатывается в гораздо больших количествах в большинстве клеток организма, и его функции имеют аутокринный/паракринный характер [2.92].

Для дальнейшего понимания этой области исследований важно, чтобы дисциплины работали вместе. Рисунки 2.31, 2.32 контрастируют между работой Хилла и др. [2.93] и Чжана и др. [2.94]. Хилл и его коллеги показали, что даже очень низкий уровень синего света может привести к более высокой скорости роста опухоли рака молочной железы, подавляя мелатонин,

в то время как Чжан, изучая оптическую абсорбцию клеток рака молочной железы, обнаружил, что они *содержат больше воды*, чем здоровые клетки молочной железы, и поэтому сильно поглощают в инфракрасном спектре, возможно, вызывая селективный нагрев раковых клеток. Биолог и специалист по оптике работают на противоположных концах солнечного спектра, борясь с одной и той же болезнью. Представьте, что они могли бы сделать, работая вместе.

Growth rate versus light intensity for human breast cancer xenografts

Estimated tumor weight (g)

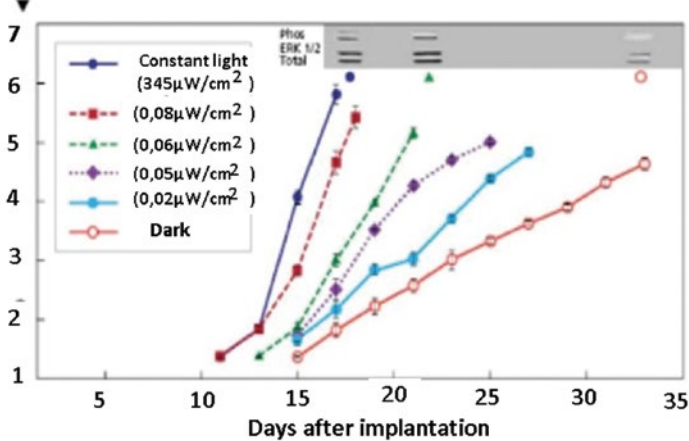


Рис. 2.31. Скорость роста ксенотрансплантатов рака молочной железы человека в зависимости от интенсивности света

Absorption Coefficients Breast Cancer Cells

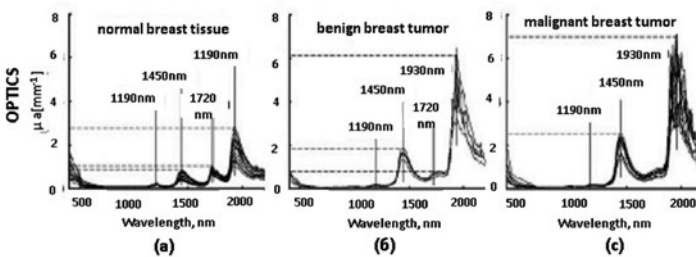


Рис. 2.32. Воздействие синих фотонов на раковые клетки и увеличение оптического поглощения инфракрасных фотонов в тех же раковых клетках

Скорость роста клеток рака молочной железы резко возрастает при воздействии фотонов NEV (синий свет), в то время как на другом конце солнечного спектра клетки рака молочной железы сильно поглощают инфракрасные фотоны по сравнению со здоровыми клетками из-за более низкого уровня липидов в раковых клетках. Под естественным солнечным светом происходят оба явления, но в нашем современном обществе только первое происходит из-за удаления NIR/IR из нашей искусственной среды.

Подавляет ли инфракрасное излучение раковые клетки? Солнечный свет и оптические свойства нашего окружения гарантировали, что в течение миллионов лет большинство клеток человеческого тела, особенно у детей, всегда подвергались воздействию преимущественно фотонов с ближним ИК-излучением в течение дня, и в течение 600 000 лет, когда вечером у костра собирались группы людей перед сном. Это продолжалось в течение последних 150 лет из-за чрезмерного количества БИК, испускаемого лампами накаливания. Пятьдесят лет назад люминесцентные лампы начали выводить БИК из искусственной среды, но лампы накаливания продолжали обеспечивать БИК, особенно в домах.

Недавние правительственные мандаты начали процесс, который впервые в истории нашего вида устранил большую часть воздействия БИК, которое когда-то доминировало. Эти изменения обусловлены правительственными постановлениями и будут внедрены повсеместно в течение следующих нескольких десятилетий. Благодаря тому, что 90% времени мы проводим под искусственным освещением и перед дисплеями, излучающими нулевой БИК, а также с помощью БИК-блокирующей обработки окон, препятствующей проникновению БИК в наши офисы, школы и дома, современные общества создали пещеры БИК. Большинство исследователей знают, что мы устраним ночь, подвергая себя чрезмерному количеству видимого излучения в наших указателях, уличных фонарях, фарах, освещении, экранах компьютеров и дисплеях. Большинство исследователей не осознают, что впервые 70% спектра, излучаемого Солнцем (БИК), исчезает из нашей жизни в течение дня. Мелатонин может стать ключом к улучшению здоровья, если будет выявлен точный субклеточный биомаркер мелатонина. Отношения мелатонина и солнечного света продолжают в течение нескольких миллионов лет в гоминидах. В течение прошлого столетия современное общество постепенно устранило ночь из нашей жизни. Большинство исследователей сходятся во мнении, что повышенное воздействие синих фотонов в ночное время от современных источников света подавляет циркулирующий мелатонин, что приводит к уменьшению количества сна и косвенно к множеству заболеваний. Современное общество, устраняющее БИК в офисах, домах и школах, напрямую влияет на процессы сотовой связи. Оптически показано, что БИК-фотоны уникальным образом взаимодействуют с большинством наших клеток. С оптической точки зрения тело, по-видимому, предназначено для локализации БИК-фотонов в некоторых наиболее чувствительных областях, включая сетчатку, мозг и плод. На основании обзора биологической и оптической литературы и результатов трехмерных механистических биооптических моделей было предположено, что БИК стимулирует каждую клетку генерировать избыток антиоксидантов локально, включая биосинтез мелатонина в коже.

Было показано, что мелатонин контролирует другие антиоксиданты и антиоксидантные ферменты, он может представлять ключевой биомаркер для определения того, как создать лучшую искусственную среду. Как ясно показывают судебные процессы Roundup™, существует дополнительный уровень ответственности, связанный с глобальным изменением окружающей среды. Как показано выше, человеческое тело развило

и адаптировало процессы, основанные на предположении, что оно ежедневно подвергается воздействию одного широкополосного фиксированного излучателя (ближнего инфракрасного диапазона) (Солнца). Это предположение больше не действует. В течение следующих нескольких десятилетий правительство преобразует все источники освещения в излучатели только видимого типа, практически не понимая долгосрочных последствий для здоровья.

В природе человеческое тело никогда не подвергается воздействию ультрафиолетовых или видимых фотонов без избытка БИК-фотонов. Казалось бы, есть множество причин, почему. Индустрия освещения, демонстрации и архитектуры должна быть сосредоточена на разработке продуктов, которые увеличивают количество субклеточного мелатонина в максимально возможном количестве наших клеток. Для этого общественность должна получать больше того, что Солнце обеспечивало миллиарды лет. По иронии судьбы, этот урок уже усвоен промышленностью каннабиса, где они вынуждены вновь вводить ближний инфракрасный свет для производства здоровых цветковых растений. Организм человека заслуживает наилучшей искусственной среды, чтобы дети могли учиться быстрее, и мы все жить более здоровой жизнью.

2.3.1. Критический порог содержания синего света ночью

Различные медицинские организации продолжают поиск критического порога содержания синего света в ночное время. В частности, в работе [2.95] сообщается следующее: «Синие световые волны оказывают наибольшее влияние на синхронизацию циркадной системы человека в дневное время, а также на нарушение циркадного ритма и связанные с этим нарушения здоровья ночью. Поэтому для поддержания здоровья и работоспособности человека крайне важно контролировать время и дозировку синего содержимого белого света в ночное время, особенно для тех, кто работает в соответствии с рекомендуемой освещенностью стола 200–1 000 люкс. Есть два барьера для установления стандартов.

Во-первых, светотехнической промышленности необходимо достичь консенсуса в отношении того, какой диапазон длин волн составляет синий свет, влияющий на циркадную систему человека (то есть «биологически активный синий цвет»).

Во-вторых, пороговый уровень содержания биологически активного синего, который вызывает циркадные нарушения ночью, точно не определен. Мы сообщаем о прямом измерении циркадных кривых спектральной чувствительности у здоровых людей во время ночной смены рекомендуемых IES уровней полихроматического белого света. Результаты дают эмпирическое доказательство того, что для предотвращения циркадных сбоев в ночное время светодиодные светильники должны излучать менее 2% общего видимого света в диапазоне 440–490 нм между закатом и восходом солнца. Использование порога содержания синего цвета 2% обеспечивает простой показатель, который спецификаторы освещения могут использовать, чтобы гарантировать, что свет в ночное время не оказывает вредного влияния на здоровье и производительность».

2.3.2. Ближний ультрафиолет и детское зрение

Из всего многообразия типов фотонных потоков солнечного спектра фотонные потоки ближнего ультрафиолета (2,5% от потока фотонов 320 нм) тоже попадают на сетчатку глаза (рис. 2.33).

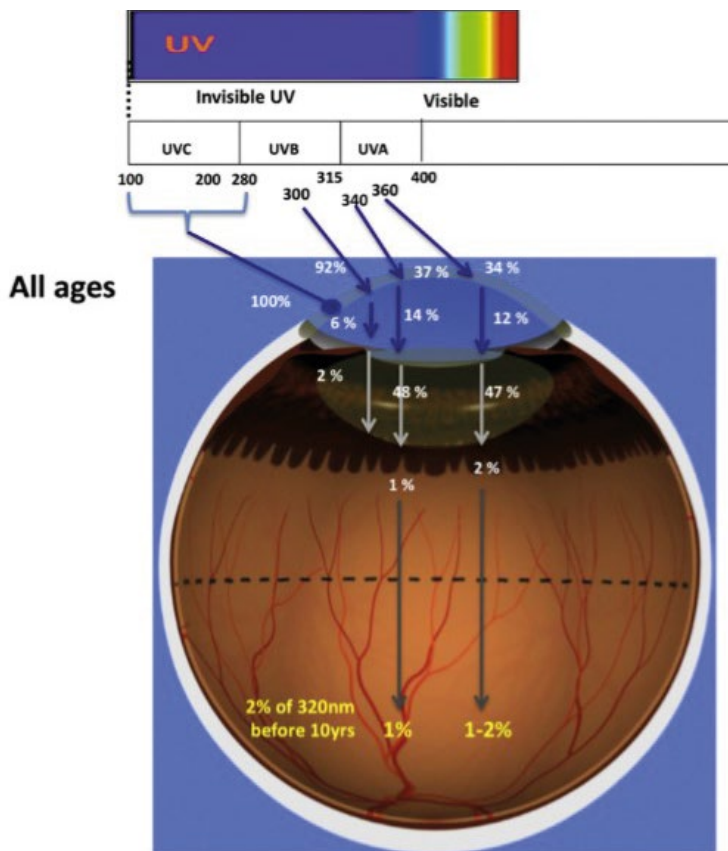


Рис. 2.33. Взаимодействие светового потока ближнего ультрафиолета с сетчаткой глаза ребенка до 9 лет [2.96]

Потоки фотонов ближнего ультрафиолета необходимы в процессах преобразования форм витамина А. Характерной особенностью большинства цис-изомеров каротиноидов служит появление абсорбционного максимума в ультрафиолетовой области спектра между 320 и 380 нм (в частности, цис-изомер бета-каротина имеет максимум при 320 нм). Итак, ближний ультрафиолет в обоснованной дозе необходим для нормального функционирования сетчатки глаза человека.

В работе [2.97] говорится, как световая терапия может помочь недоношенным детям избежать проблем со зрением. Ученые обнаружили светозависимый молекулярный путь, который регулирует, как кровеносные сосуды развиваются в глазу. По данным исследователей из Медицинского центра детской больницы Цинциннати, результаты исследований в клеточной биологии при-

роды позволяют использовать световую терапию, чтобы помочь недоношенным детям, у которых все еще развиваются глаза, избежать проблем со зрением. Новый молекулярный процесс, называемый опсин-5-дофаминовым путем, помогает обеспечить надлежащее сбалансированное развитие кровеносных сосудов в глазу, чтобы подготовить его к зрительной функции. Процесс может быть выведен из равновесия у недоношенных новорожденных с медицинской точки зрения. Исследователи ищут способы профилактики или лечения глазных заболеваний, ретинопатии недоношенных и близорукости (тяжелой близорукости), которые могут возникнуть. «Наше исследование показало, что путь опсина 5-дофамина, вероятно, является частью процесса заболевания, зависящего от света, при таких состояниях, как миопия, которая в настоящее время является всемирной эпидемией», – сказал Ричард А. Ланг, доктор философии, директор Visual Systems Group в Cincinnati Children's. «Возникает интересная возможность того, как мы сможем использовать воздействие света для лечения таких состояний, как ретинопатия недоношенных после рождения недоношенного ребенка или у людей с миопией». Исследование представляет собой сотрудничество научно-исследовательских учреждений Соединенных Штатов и Чешской Республики во главе с командой Ланга в Цинциннати. Исследователи использовали различные научные методы для изучения развития глаз и влияния пути опсина 5-дофамина у постнатальных мышей. Ланг сказал, что опсин-5 высоко консервативен в цепи эволюции видов, что повышает потенциальную значимость данных для человека.

Результаты проведенных исследований приведены в работе [2.98].

Во время постнатального развития глаза у мыши эмбриональная гиалоидная сосудистая сеть регрессирует из стекловидного тела для остроты зрения. Этот процесс происходит с точно контролируемым временем. Было показано, что опсин-5 (OPN5; также известный как нейропсин) – зависимый световой ответ сетчатки регулирует развитие сосудов в постнатальном глазу. У Opn5-нулевых мышей гиалоидные сосуды регрессируют преждевременно. Доказано, что световая стимуляция 380 нм с помощью OPN5 и VGAT (везикулярный ГАМК/глициновый транспортер) в клетках ганглия сетчатки усиливает активность внутреннего DAT сетчатки (также известного как SLC6A3; транспортер обратного захвата дофамина) и, таким образом, подавляет дофамин витреала. В свою очередь, дофамин воздействует непосредственно на гиалоидные эндотелиальные клетки сосудов, подавляя активность рецептора 2 фактора роста эндотелия сосудов (VEGFR2) и способствуя регрессии гиалоидных сосудов. При потере функции OPN5 уровень дофамина в стекловидном теле повышается и приводит к преждевременной регрессии гиалоида.

Эти исследования идентифицируют фиолетовый свет как сигнал синхронизации развития, который через путь OPN5-дофамин регулирует направление зрительной оси при подготовке к зрительной функции [2.99].

Особенности воздействия фиолетового света:

- Фиолетовый свет (длина волны 360–400 нм) подавлял удлинение осевой длины, как на модели миопии цыплят, так и на людях.
- Ген подавления близорукости EGR1 был усилен воздействием фиолетового света.

- Фиолетовый свет, один из факторов, подавляющий близорукость в условиях окружающей среды, является недостатком нашего современного общества.

Близорукость увеличивается во всем мире, особенно за последние 50 лет. Исследования на цыплятах и людях показали, что фиолетовый свет (длина волны 360–400 нм) подавляет прогрессирование миопии. На молекулярном уровне было обнаружено, что фиолетовый свет усиливает экспрессию гена EGR1, известного как предотвращающий миопию. Интересно, что в современном обществе фиолетового света недостаточно, потому что различные продукты, защищенные от ультрафиолета, не пропускают фиолетовый свет, а источники света, такие как светодиоды, не излучают фиолетовый свет. Защита от ультрафиолета важна для здоровья глаз, но чрезмерная защита от ультрафиолета, включая фиолетовый свет, должна быть пересмотрена с точки зрения контроля близорукости.

Распространенность миопии увеличивается во всем мире. Было проведено ретроспективное клиническое исследование, чтобы сравнить удлинение осевой длины у детей с миопией, которые носили очки (блокировка VL) и два типа контактных линз (частично блокировка и передача VL). Данные показали, что передающие контактные линзы VL подавляли прогрессирование миопии больше всего. Эти результаты свидетельствуют о том, что ультрафиолет является одним из важных факторов внешней среды для контроля близорукости. Поскольку VL может быть исключен из нашего современного общества из-за чрезмерной защиты от ультрафиолетового излучения, его воздействие может быть профилактической стратегией против прогрессирования миопии.

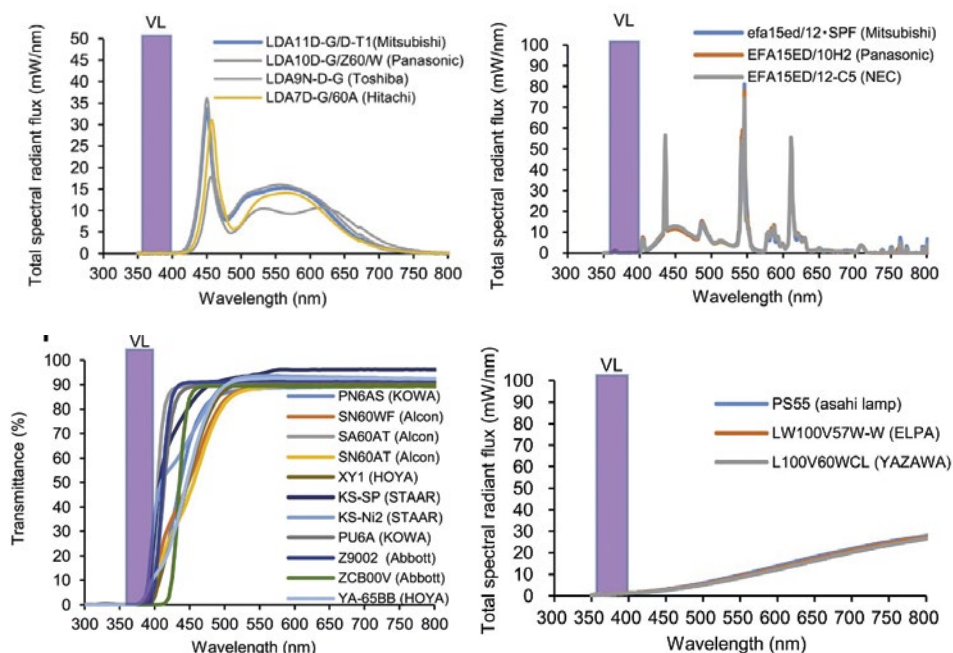


Рис. 2.34. Дефицит фиолетового света (VL) в современном обществе

Сцена под открытым небом, сфотографированная с помощью (справа) и без (слева) обыкновенного очкового объектива с высокой пропускной способностью 400 нм. (б) Спектр цветовой полосы сцены, который ясно показывает отсутствие света ниже 400 нм. (в) Сцена под открытым небом, сфотографированная с помощью срезанного фильтра высотой 400 нм. (д) Спектр цветовой полосы сцены. Линия, расположенная ниже 400 нм, является VL, который дефицитен в современном обществе. Яркость и контрастность были скорректированы до + 60% и + 30% соответственно, чтобы более четко визуализировать изначально тусклую фиолетовую линию. Рисунки 4а и 4с были получены цифровой однообъективной зеркальной камерой (DSLR) EOS-550D (Canon Inc., Токио, Япония) около TOKYO TOWER около полудня 14 июля 2016 г. Рисунки 4б и 4д были сделаны той же камерой через самодельный спектрометр из картона и дифракционной решетки, которая имеет 500 решеток на 1 мм.

2.3.3. Защитный эффект солнечного света и активного отдыха в профилактике близорукости

Недавние публикации предполагают, что увеличение времени на открытом воздухе является важным фактором окружающей среды для профилактики близорукости. В обзоре [2.100] обсуждается потенциальная роль солнечного света как защитного фактора в развитии миопии. «Держитесь подальше от близорукости! Выйдите на улицу и поиграйте!» Это лозунг для детей 21-го века, так как во всем мире бремя миопии накапливается. И генетика, и окружающая среда играют свою роль. Время, проведенное на открытом воздухе, стало защитным фактором от миопии, которая изучалась более десяти лет (см. обзоры 2.101–2.108), когортные исследования [2.109–2.111], а также рандомизированные контролируемые испытания [2.112, 2.113].

Результаты этих исследований, в частности когортных исследований и рандомизированных контролируемых испытаний, были посвящены вопросу защитной роли увеличения времени на открытом воздухе для профилактики близорукости. Время на свежем воздухе и близорукость – факты перекрестных исследований. Так, Rose et al. [2.104] сообщили, что увеличение времени, проведенного на открытом воздухе, было в значительной степени связано с большей гиперметропической ошибкой рефракции и более низкой распространенностью миопии у 12-летних австралийских детей. Они также сообщили о значительном взаимодействии между работой и временем, проведенным на открытом воздухе. С повышением уровня активности на открытом воздухе рефракционная ошибка была более гиперметропической у детей с низким и средним уровнями работы вблизи. У детей с высоким уровнем активности на работе и низким уровнем активности на открытом воздухе близорукость была в 2,6 раза выше по сравнению с детьми с низким уровнем работы и высокой активностью на открытом воздухе. Dirani et al. [2.105] показали снижение миопической рефракции и меньшую осевую длину у сингапурских подростков в возрасте 11–20 лет с увеличением времени на открытом воздухе. Кроме того, дети с увеличенным количеством часов активного отдыха реже страдали близорукостью, что свидетельствует о защитном эффекте активного отдыха. В недавнем перекрестном исследо-

вании среди 681 китайского ребенка в Пекине время, проведенное на открытом воздухе, было в значительной степени связано с миопией (скорректированное ОШ = 0,32, 95% ДИ: 0,21, 0,48, $P < 0,001$) [2.106].

У китайских детей ($n = 370$) с низким уровнем активности на открытом воздухе была значительно больше миопическая ошибка рефракции ($-1,34 \pm 2,45D$) по сравнению с лицами с умеренным ($-0,29 \pm 2,11D$) и более высоким уровнем активности на открытом воздухе ($-0,25 \pm 2,06D$; $P_{trend} = 0,003$) [2.107].

Время, проведенное на открытом воздухе, и близорукость – факты из когортных исследований и рандомизированных интервенционных исследований. В популяционном когортном исследовании британских детей в возрасте от 7 до 15 лет [2.109] увеличение времени на открытом воздухе было связано с более низким риском развития миопии по сравнению с меньшим временем на открытом воздухе (ЧСС = 0,75, 95% ДИ: 0,60, 0,96, $P = 0,023$). В еще одном популяционном когортном исследовании [2.110] среди детей 6 и 12 лет Австралии низкий и умеренный уровень активности на открытом воздухе был связан с более высокими шансами развития близорукости по сравнению с увеличением активности на открытом воздухе у обоих младших (скорректированные ОШ = 2,84, 95% CI: 1,56, 5,17 и 1,14, 95% CI: 0,59, 2,21, соответственно, для групп с низким и средним, $P < 0,0001$) и более старых когорт (скорректированные OR = 2,15, 95% CI: 1,35, 3,42 и 2,00, 9, 95% CI: 1,28, 3,14 $P < 0,001$). Ранее рандомизированное контролируемое исследование школьников в Китае, проведенное на открытом воздухе в Гуанчжоу (GOAL), показало, что активность на свежем воздухе в течение 40 минут в день снижала миопию на 9% через 3 года [2.111].

Другое интервенционное исследование в Тайване показало, что 80 минут/день перемежающегося времени на открытом воздухе во время перерыва может уменьшить начало миопии до 9% всего за 1 год [2.112].

Недавний метаанализ показал, что с каждым дополнительным часом времени в неделю на открытом воздухе риск возникновения миопии снижается на 2% у детей и подростков [2.113].

2.3.3.1. Основные механизмы защитного эффекта

Из исследований на животных имеются убедительные доказательства того, что воздействие высокой интенсивности света может замедлять экспериментальную близорукость у цыплят [2.114, 2.115] и обезьян [2.16].

Воздействие света на уровне 15000 люкс в течение 5 часов в день приводило к значительному снижению миопии и уменьшению осевой длины ($-2,6 \pm 0,5D$; $8,73 \pm 0,08$ мм), в то время как воздействие 500 люкс не замедляло рост глаз и близорукость у цыплят ($-3,5D \pm 0,3D$; $8,92 \pm 0,04$ мм; $P < 0,0001$) [2.114]. Степень защиты была прямо пропорциональна увеличению уровня освещенности, при этом близорукость полностью подавлялась при воздействии 40000 люкс в течение 6 часов в день, что приводит к гиперметропической рефракции и более короткой осевой длине ($+2,97 \pm 0,11D$; $8,77 \pm 0,03$ мм) по сравнению с воздействием 500 люкс ($-4,21 \pm 0,17D$; $9,31 \pm 0,07$ мм; $P < 0,0001$) [2.115]. Аналогичная реакция наблюдалась в глазах приматов: воздействие 25000 люкс в течение 6 часов в день приводило

к более гиперметропической рефракции ($+4,20 \pm 5,80D$), чем при обычном освещении в помещении ($-1,30 \pm 4,25D$) [2.116].

Было выдвинуто предположение, что высокий уровень освещенности на открытом воздухе может вызвать выброс дофамина, который является ингибитором роста глаз [2.117–2.119].

Этот защитный эффект был более очевидным, когда интенсивность света около 10000 люкс была связана с более высокой концентрацией дофамина в стекловидном теле и меньшим развитием миопии у цыплят как при чередующихся циклах свет-темнота, так и при непрерывном воздействии света по сравнению с теми, которые подвергались воздействию интенсивности света 50 люкс и 500 люкс [2.120].

Цветность света и спектральный состав – факты, полученные на моделях животных: кроме высоких уровней освещенности, спектральный состав света также оказывает влияние на рост глаз и близорукость на экспериментальных моделях животных [2.121–2.124].

Продольная хроматическая аберрация глаза вызывает фокусировку коротковолнового синего света перед сетчаткой и длинноволнового красного света за сетчаткой. Морские свинки, выращенные в длинноволновом свете, имели значительно большую миопическую рефракцию ($+1,78 \pm 1,22D$) по сравнению с теми, которые выращивались в смешанном диапазоне длин волн ($+3,60 \pm 1,65D$) и белом свете 49 ($+5,20 \pm 1,67D$, $P < 0,05$) [2.121], в то время как у тех, кто вырос в условиях коротковолнового света, значительно увеличилась дальность зрения ($+6,08 \pm 0,80D$) по сравнению с теми, которые были выращены в средне-длинноволновом свете ($+2,96 \pm 0,68D$, $P < 0,01$) и широкополосном свете 50 ($+1,36 \pm 0,65D$, $P < 0,001$) [2.122]. У цыплят избыток красного света вызывал миопию ($-2,83 \pm 0,25D$), а избыток голубого света – гиперметропию ($+4,55 \pm 0,21 D$) [24]. У морских свинок, выращенных в красном свете, миопия увеличилась почти в 2,50 раза ($P < 0,01$) и на 0,20 мм больше длины глаза ($P = 0,019$) по сравнению с теми, которые были выращены в синем и белом свете [2.123]. Изменение цветности окружающего света может вызвать и обратить вспять миопию и гиперметропию у цыплят и морских свинок [2.124, 2.125]. Дальность зрения, индуцированная синим светом, может быть преобразована в близорукость путем изменения синего на красный свет у морских свинок, а миопия, индуцированная красным светом, может быть преобразована в гиперметропию у цыплят путем изменения красного света на синий. Эти результаты свидетельствуют о том, что воздействие синего света с более короткой длиной волны защищает от близорукости, и поскольку солнечный свет на улице преимущественно является синим светом, увеличение времени на открытом воздухе может подавлять миопию у людей.

Другие факторы, которые могут играть возможную защитную роль, включают увеличенную глубину фокуса и четкость изображения сетчатки из-за сужения зрачка, низкую аккомодационную потребность в дистанционном зрении, в то время как на открытом воздухе [2.126] меньше периферическая гиперметропическая дефокусировка и более однородная диоптрическая структура внешней среды по сравнению с внутренней. Наружная среда (например, сценарий парковки) имеет гораздо меньше диоптрических

изменений по сравнению с внутренней средой (например, офисная обстановка) Изображение на сетчатке состоит из более высокой степени периферической расфокусировки в помещении, и величина расфокусировки значительно варьирует в зависимости от поля зрения; напротив, внешняя среда представляет изображение сетчатки, которое состоит из меньшей степени периферической гиперметропической дефокусировки с более или менее равномерной величиной расфокусировки по всему полю зрения.

Итак, повышенная активность на открытом воздухе объясняет защитную роль солнечного света против близорукости. Таким образом, увеличение времени, проводимого на открытом воздухе, будет чрезвычайно полезным, особенно в городских регионах с более ориентированным образом жизни. Детей следует поощрять к занятиям на свежем воздухе не менее 1–2 часов в день, поскольку в рандомизированных интервенционных испытаниях можно добиться значительной защиты с помощью примерно 40–80 минут на свежем воздухе. Поскольку повторяющиеся циклы воздействия яркого света обеспечивают более высокую защиту от возникновения близорукости [2.127], рекомендуется регулярно проводить регулярные мероприятия на свежем воздухе вместе с соответствующими мерами по защите от солнца, такими как ношение шляпы с широкими полями, солнцезащитные очки, солнцезащитный крем и достаточное увлажнение.

Раздел 2.4. Эффект «меланопсинового креста» [2.128]

Исследовать – значит видеть то, что видели все, и думать так, как не думал никто.

Г. Гор, «Кумби»

Известно, что распознавание цвета происходит наилучшим образом днем при солнечном свете. При этом у человека работает центральное цветовое зрение и зрачковый рефлекс глаза человека *адекватен силе и спектру света*. Это обеспечивает ему наилучшее цветоощущение и остроту зрения, что очень важно при выполнении работ с большой цветовой палитрой деталей. Из сравнительной оценки спектров светодиодной лампы и ламп традиционного освещения (ламп накаливания и люминесцентных ламп) видно, что в области 480 нм имеется провал спектра у всех энергосберегающих ламп при наличии большого всплеска синего при 460 нм. Провал в спектре на 480 нм является главным отличием светодиодного света от солнечного, а большой выброс на 460 нм отличает его от люминесцентного и света от ламп накаливания. На рис. 2.35 приведены спектры светодиодов с различной коррелированной цветовой температурой.

Проведенные исследования показали, что в диапазоне излучения 460–480 нм находятся максимумы чувствительности недавно открытого светочувствительного рецептора – меланопсина, который управляет визуальными и не визуальными эффектами. Меланопсин имеет два пика максимальной фоточувствительности – $M1 \text{ Brn}^{3b-}$ на 460 нм и $M1 \text{ Brn}^{3b+}$ на 480 нм. При этом необходимо отметить, что спектрально-энергетическая характери-

ка солнечного света, ламп накаливания и галогенных ламп в области синего, голубого и зеленого диапазона имеет монотонно возрастающий характер, а у светодиодного в области голубого диапазона – монотонно спадающий характер. В диапазоне максимальной чувствительности глаза (меланопсин – 460–480 нм) спектральные характеристики светодиодных ламп и ламп накаливания пересекаются, образуя крест, который назван меланопсиновым.

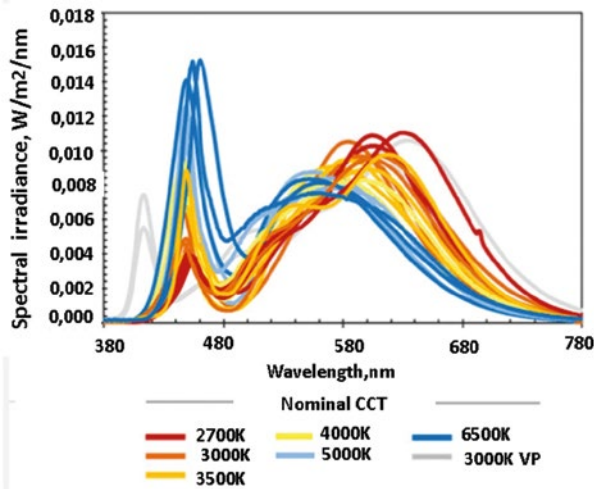


Рис. 2.35. Спектр светодиодов с различной коррелированной цветовой температурой

Впервые концепция «меланопсинового креста» была озвучена в докладе [2.128] и статье [2.129], где были разделены меланопсиновые эффекты по управлению мелатонином и размером зрачка глаза. И показано, как нужно поднимать провал в области 480 нм и уменьшать выброс 460 нм.

На рис. 2.36 представлено графическое представление эффекта меланопсинового креста при сравнении спектра светодиода и лампы накаливания.

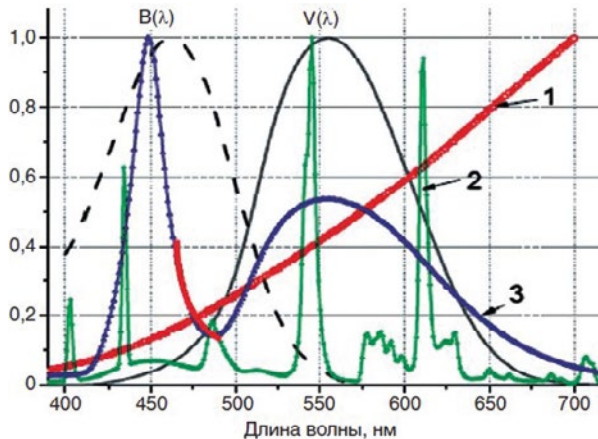


Рис. 2.36. Меланопсиновый крест на пересечении кривых спектров лампы накаливания и светодиода в диапазоне от 460 до 480 нм

Основное соотношение эффекта меланопсинового креста можно представить как неравенство вида:

$$I_{480 \text{ нм}} < I_{460 \text{ нм}}^2$$

где $I_{460 \text{ нм}}$ – амплитуда яркости при 460 нм;

$I_{480 \text{ нм}}$ – амплитуда яркости при 480 нм.

Это соотношение говорит об отсутствии эффективного управления диаметром зрачка глаза.

При соотношении:

$$I_{460 \text{ нм}} < I_{480 \text{ нм}},$$

происходит эффективное управление диаметром зрачка глаза.

При солнечном свете соотношение различных составляющих его спектров является адекватным и не приводит к излишнему напряжению структур глаза человека.

При большой дозе синего в спектре освещения меланопсин M1Brn^{3b+} формирует сигнал на уменьшение диаметра зрачка и его удержания в этом положении. Тем самым уменьшает энергетическую освещенность сетчатки глаза, защищая ее от воздействия большой дозы синего света (2.130).

В Руководстве «Обеспечение безопасности при светодиодном освещении» 11/8/2012 указано: «...при светодиодном свете зрачок расширен больше, чем при аналогичном освещении солнечным светом – сетчатка получит более высокую дозу энергии синего цвета».

Из «эффекта меланопсинового креста» следуют важные гигиенические следствия.

Следствие первое.

Все спектры от искусственных источников света должны проверяться на наличие провала в спектре в области 480 нм, так как эта длина волны влияет на диаметр зрачка глаза.

Следствие второе.

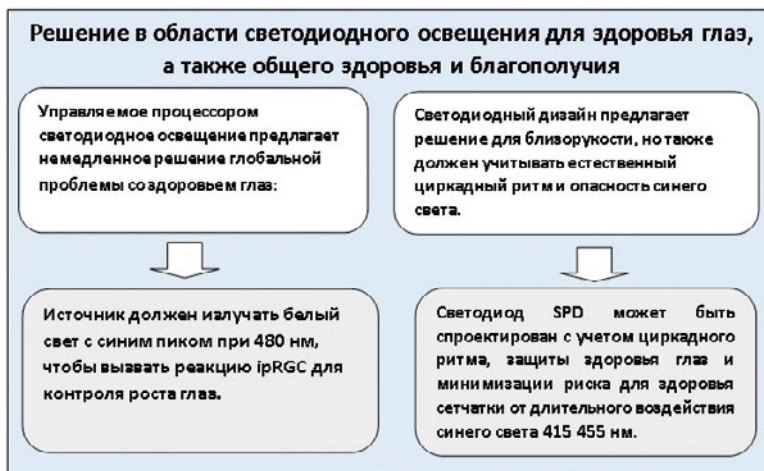
В энергетическом спектре искусственных источников света скорость нарастания амплитуды в диапазоне длин волн 380–530 нм должна быть больше нуля, а спектрально-энергетическая характеристика источника света – монотонно растущей.

Следствие третье.

Диаметр зрачка глаза должен обеспечивать максимальную эффективность работы зрительного анализатора по остроте зрения и цветоощущению, ограничивая попадание на сетчатку глаза избыточной световой энергии в области синего света.

Несмотря на прогресс, немногие типы RGC были охарактеризованы с точки зрения уникальных электрофизиологических ответов, и механизмы цепи, ответственные за такие специфические ответы, были идентифицированы только для нескольких классов клеток ipRGCs, а именно M1-M5 среди 40 типов, предположительно существующих в сетчатке млекопитающих [2.131, 2.132]. M1 ipRGCs имеют сильную внутреннюю фотореакцию и прореагируют сначала на SCN для циркадного контроля, а затем на оливарное

предэкзтальное ядро (OCN), вмещающее ядро третьего черепного нерва, контролирующего зрачковую реакцию. Клетки M1 ipRGCs, которые сужают зрачок, проецируя свет к ядру третьего черепного нерва (в зоне верхнего colliculus), после этого возвращают его к мышце зрачкового сфинктера внутри радужки, уменьшая зрачковую область при ярком свете, тем самым ограничивая освещенность сетчатки.



По мере того как свет проходит через сетчатку и стимулирует реакцию ipRGC клеток светом на 480 nm, она проявляется на различных уровнях. Так, эта реакция будет тормозить высвобождение мелатонина гипофизом, тем самым поддерживая бодрствование, и будет стимулировать амакриновые клетки для высвобождения дофамина. Следует отметить, что фармакологически мелатонин и дофамин являются антагонистами. Устойчивый период воздействия света, особенно синего света 480 nm, вызывает устойчивый запуск клеточного пути ipRGC/amacrine и последующее высвобождение дофамина сетчатки. Другие исследователи дополнительно изучили механизм действия дофамина сетчатки и его влияние на рост глаз. Происходит взаимодействие двойных систем рецепторов дофамина сетчатки, соответственно D1 и D2. b

2.4.1. Механизм сужения зрачка

В настоящее время появились модели механизмов управления диаметром зрачка глаза при воздействии на зрительный анализатор голубого света 480 nm. Одну такую модель представил оптометрист доктор Стивен Мейсон (получивший степень бакалавра оптометрии и член Американской академии оптометрии (FAAO) Sustainable Eye Health Pty Ltd.). Первоначальный зрачковый ответ на зрительный стимул генерируется реакцией зрительных сенсорных элементов, палочек и колбочек. Однако в течение секунды или меньше от этого начального отклика ipRGC запускают свои потенциалы действия, чтобы затем поддерживать размер зрачка (зрачок более расширен, чем при первоначальном отклике зрачковых палочек/колбочек), при условии освещения сетчатки. Для субмаксимального сужения зрачка для данной

освещенности сетчатки необходимо обеспечение ipRGCs оптимальной длиной волны 480 нм. Следовательно, зрачковый путь ipRGC, который поддерживает меньший зрачок, обеспечивает оптимальные оптические условия, наиболее идеальные для сфокусированного изображения сетчатки и минимальных аберраций более высокого порядка изображения сетчатки, которые предположительно связаны с прогрессированием миопии [2.133].

2.4.2. Уровни освещенности, реакция клеток ipRGC и миопия

Последние эпидемиологические данные показывают, что время, проведенное детьми на открытом воздухе, защищает от близорукости. Исследования на животных моделях (цыплята, макака древесная строптивая) показали, что уровни света (аналогичные тем, которые находятся в тени на открытом воздухе) слегка повышены по сравнению с внутренними уровнями, миопией с медленной депривацией формы и индуцированной близорукостью. У нормальных цыплят, выращенных в условиях низкой освещенности (50 люкс) с циклическим циклом включения/выключения света, часто развивается спонтанная близорукость. В работе [2.134] авторы предложили модель, в которой уровни освещенности окружающей среды непрерывно влияют на нормальное развитие рефракции и реагируют на миопиогенные стимулы, так, что низкие уровни освещенности способствуют развитию миопии, а повышенные уровни являются защитными. Среди возможных механизмов повышение активности дофамина в сетчатке кажется наиболее вероятным. Могут быть задействованы входные сигналы от светочувствительных ганглиозных клеток сетчатки (ipRGCs) при повышенных уровнях света, что обеспечивает дополнительную активацию дофаминергических путей. На рис. 2.37 представлен обобщенный вид разработанной модели «освещенность – близорукость».

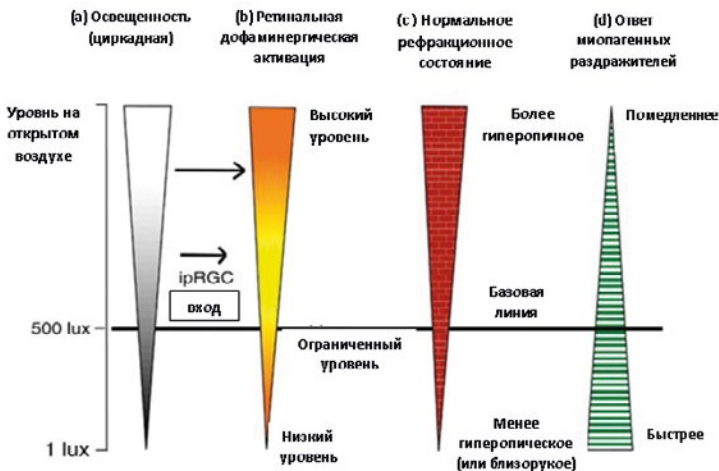


Рис. 2.37. Схематическое изображение гипотезы о влиянии окружающей освещенности на нормальное рефракционное развитие и реакции на миопиогенные стимулы

Левая вертикальная панель (а): уровень освещенности поднимается от низкого (1 люкс) до стандартного уровня освещенности в помещении (500 люкс)

до «высокого» (наружного уровня). Более широкая полоса указывает на более высокую освещенность. В большинстве исследований на животных было использовано освещение около 500 люкс, что дает базовую информацию о развитии рефракции и реакции на миопиогенные раздражители.

Вторая панель (b): низкие (ниже стандартных внутренних уровней) уровни дневной освещенности вызывают низкую активность дофаминергических амакриновых клеток сетчатки благодаря входам из пути фоторецептора/биполярных клеток. По мере увеличения освещенности ввод ipRGC и традиционные вводы повышают уровень дофаминергической активности сетчатки постепенно.

Третья панель (c) предполагает влияние уровней освещенности (посредством дофаминергической активации) на нормальное развитие рефракции. При слабом освещении рефракционной конечной точкой нормального развития является более низкая дальность зрения или близорукость. Повышение уровня до и выше исходного уровня изменяет конечную точку в сторону увеличения дальности зрения.

Четвертая панель (d) предполагает, что скорость реакции механизма эмметропизации на миопиогенные раздражители (депривация формы, гиперметропическая дефокусировка) обратно пропорциональна уровням освещенности; высокий уровень освещенности замедляет развитие миопии, а низкий уровень повышает частоту ответа.

В обзоре [2.134] авторы попытались объединить информацию эпидемиологических исследований на людях, исследований с использованием моделей рефракционного развития и миопии на животных и исследований схем сетчатки, чтобы оценить влияние уровней освещенности на нормальное рефракционное развитие и реакцию на окружающую среду. Авторы считают, что пересечение уровней освещенности, циркадных путей и рефракционного развития представляется перспективной областью для исследований.

Указанная идея нашла свое отражение в работе [2.135]. Ночное подавление мелатонина является наиболее часто используемым методом для косвенной количественной оценки острых невидимых световых эффектов. Поскольку свет – главный дух времени людей, необходимо оценить его силу в дневное время. Это особенно важно, поскольку люди развивались при естественном дневном свете, но теперь часто проводят свое время в помещении при искусственном освещении, что приводит к другому качеству и количеству света. Авторы проверили, можно ли использовать зрачковый световой ответ (PLR) в качестве маркера невидимых световых эффектов в дневное время, а также записали электроэнцефалограмму следа, чтобы объективно определить изменения дневной сонливости между различными уровнями освещенности и/или спектральным составом света. В общей сложности 72 участника посетили лабораторию 4 раза для освещения в течение 3 часов. Все участники проходили обследование в условиях недостаточного освещения либо 3 метамерных дневных световых облучения с различными спектральными композициями полихроматического белого света (100 фотопиков, длины волн при 435 нм или 480 нм, обогащенные более длинными волнами света) или 3 различных уровня освещенности (200600 и 1200 фотопиков) с 1 метамерным освещением (пиковая длина

волны 435 нм или 480 нм; по 24 участника в каждом). Результаты показали, что PLR был чувствителен как к спектральным различиям между метамерными условиями освещения, так и к различным уровням освещенности в зависимости от дозы. Объективная сонливость была значительно снижена, в зависимости от меланопического освещения, при низкой освещенности (100 люкс) и показала меньше различий при более высокой освещенности. Поскольку многие люди подвергаются такой низкой освещенности большую часть своего дня – живя в биологической темноте, – результаты показывают, что *оптимизация спектра света может быть*.

Исчерпывающая работа, проведенная в течение многих лет лабораторными исследователями, показала жизненно важную роль реакции дофамина сетчатки в контроле роста глаз. Распутывание нейробиологии и нейроанатомии этой системы с течением времени помогло в значительной степени объяснить лабораторные результаты, полевые результаты и эпидемиологию близорукости.

Недавние исследования также установили сильную связь между повышенными утренними концентрациями мелатонина у взрослых с миопией по сравнению со взрослыми без миопии. Если мы сделаем вывод из исследования Рида о том, что близорукие субъекты подвержены меньшему воздействию света, интересно связать это с повышенным уровнем мелатонина, обнаруживаемым у близоруких субъектов. Поскольку мелатонин ингибирует дофамин, есть разумное основание сделать так, чтобы повышенный уровень мелатонина в сыворотке ингибировал активность дофамина сетчатки, необходимую для нормального роста глаз.

Несмотря на то что имеются убедительные доказательства локальных полезных эффектов дофамина на сетчатку и глаз, способствующих поддержанию эметропии в глазах, логично, учитывая проведенное до настоящего времени исследование, что поддержка системного циркадного ритма с постепенным изменением длины волны и яркости во времени является еще одним важным компонентом. Фотоувеличение невизуальных процессов глаз-мозг служит двойной цели вовлечения, как сетчатки, так и системных циркадных циклов, как на локальном, так и системном уровне. Предыдущее исследование Рида и Хуа показало, что после того, как была обеспечена адекватная доза света, миопия уменьшалась как по прогрессированию (чтение), так и по заболеваемости (Хуа). Работа Хуа была выдающейся, поскольку она показала, что простое увеличение освещения в помещении предложило лекарство в контексте предыдущих исследований, направленных на благотворное воздействие солнечного света. Разработанная в настраиваемой конфигурации системы с оптимизированным SPD, светодиодная подсветка предлагает идеальное решение, которое может быть предписано для поддержки человеческого циркадного ритма.

2.4.3. Диаметр зрачка и восприятие цвета в искусственной световой среде

Управление зрачком глаза должно быть адекватно поражающей дозе синего света в спектре. Чем больше доза синего в спектре, тем меньше должен быть диаметр зрачка. В таблице 2.2 приведены результаты измерений

диаметра зрачка глаз операторов в ходе комплекса гигиенических, физиологических, офтальмоэргономических и светотехнических исследований в помещениях и на отдельных рабочих местах операторов БЩУ Трипольской ГРЭС. В исследованиях принимали участие 32 оператора в возрасте 25–55 лет со стажем работы 6–26 лет.

Таблица 2.3

Показатели изменения диаметра зрачка у операторов блочных щитов управления электростанций в динамике трех рабочих смен при люминесцентном освещении лампами типа ЛБ-40*

Рабочие смены	Первая смена			Вторая смена			Третья смена		
	8 часов	12 часов	16 часов	16 часов	20 часов	24 часа	24 часа	4 часа	8 часов
Диаметр зрачка, мм	3,6	5,1	6,4	4,9	6,6	7,4	5,0	5,5	6,1

*По данным В. Г. Мартиросова, Институт медицины труда АМН Украины.

Парадоксы применения энергосберегающего освещения наиболее ярко представляются на примере освещения медицинских учреждений [2.136].

Особенностью медицинских работников является круглосуточная и напряженная работа в искусственной световой среде, которая создается светильниками общего и местного освещения. В настоящее время в медицинских учреждениях вместо люминесцентных ламп широко внедряют светодиодное освещение.

К медицинским сотрудникам предъявляются особые требования по остроте зрения, цветовосприятию и общему здоровью. Эти требования в первую очередь распространяются на хирургов, которые в основном работают в условиях искусственного освещения. Светодиоды активно применяются в светильниках местного освещения, к которым относятся операционные светильники.

Для формирования концепции построения светильников с биологически адекватным спектром света для работников медицинских учреждений были рассмотрены:

- исследования отечественных специалистов по разработке светодиодных светильников для операционных;

- основные тенденции в светодиодном освещении, которые реализует лауреат Нобелевской премии Суджи Накамура (Shuji Nakamura), сказавший на сайте Sora: «Я надеюсь, что энергоэффективные светодиодные лампы позволят сократить потребление энергии и снизить затраты на освещение во всем мире».

В развитие своего открытия Накамура разработал новую технологию "GaN на GaN™, которая в настоящее время рассматривается как лучшая в мире, с качеством света, который значительно превосходит любые другие светодиодные изделия по этому параметру.

В рамках выполнения Научной программы Санкт-Петербургского научного центра РАН по теме «Исследование спектральных и цветовых характеристик светодиодного освещения для повышения качества и контрастности

визуализации биологических тканей с целью разработки высокоэффективных источников света медицинского назначения» группой специалистов, которую возглавлял А. Л. Закгейм, были отработаны научно-методические основы построения цветодинамически управляемого операционного светильника с полноцветным светодиодом.

При этом необходимо отметить, что светодиоды (синий кристалл и желтый люминофор) и RGB-светодиоды имеют биологически неадекватный спектр света, который отличается от солнечного спектра света.

Предпосылки для создания нового поколения операционных светильников по критериям специалистов группы Санкт-Петербургского научного центра РАН были обусловлены тем, что появившиеся к этому времени пробные образцы операционных светильников с светодиодами (Rimsa PentaLED, Powerled Maquet) вряд ли можно было считать удачными, и к ним с недоверием отнеслись практикующие хирурги. Причина – низкое качество цветопередачи ($R_a < 70$), даваемое холодно-белыми ($T_{ц} \approx 5000 \text{ K}$) люминофорными светодиодами (СД) того времени. Хотя современные белые люминофорные светодиоды во многом стали лучше, в частности, из-за улучшения качества люминофоров, однако принципиально новые перспективы для операционного освещения, на наш взгляд, связаны не с люминофорными СД (во многом, наследниками ЛЛ), а с полноцветными (RGB) СД-излучателями. Последние могут генерировать как белый, так и хроматический свет и обладают уникальным качеством, недоступным другим источникам света: возможностью практически безынерционного управления их цветовыми (спектральными) характеристиками. Для хирургии управляемость и, более того, тонкая настройка спектра используемого света приобретают особое значение, поскольку позволяют получать максимальное разрешение и контрастность при визуализации биологических тканей. Это особенно важно при проведении «ювелирных» операций на мелких объектах (нервные волокна, кровеносные сосуды, локальные очаги поражений).

Свет как основной носитель информации при хирургических операциях должен обеспечивать достоверное изображение тканей в оперируемой области, необходимый контраст и высокое разрешение. Основные показатели качества визуализации при хирургических операциях определяются фотометрическими и колориметрическими характеристиками операционного светильника.

В первую очередь, он должен обеспечивать достаточную освещенность на операционном поле: как правило, более 104 лк. Во-вторых, должны воспроизводиться естественные цвета биологических тканей, что определяется степенью близости R_a к 100 и диктует применение, например, ЛН, ГЛН или ксеноновых ламп.

С другой стороны, увеличение контрастности изображения различных тканей на фоне друг друга возможно при использовании определённого узкополосного излучения с варьируемой интенсивностью и спектральным составом. При падении света на биологическую ткань часть его отражается, часть рассеивается и часть поглощается. В глаз хирурга попадает отраженная часть, интенсивность которой тем больше, чем выше согласованность спектра излучения светильника и спектра отражения данной ткани. Это

обстоятельство и легло в основу предложенного регулируемого по спектру ОССД. При этом для разрешения одних биологических тканей на фоне других хирург устанавливает цвет излучения ОССД, при котором нужные ему участки операционного поля – объекты оперативных манипуляций – контрастно выделяются на фоне других тканей. Выбор условий освещения может осуществляться с помощью заранее созданной библиотеки или вручную, согласно индивидуальным предпочтениям хирурга, или посредством систем машинного зрения, автоматически выбирающих условия освещения, обеспечивающие максимальную контрастность заданного объекта. Теоретически, для успеха указанного подхода необходимы заметные различия в спектральных характеристиках отражения отдельных видов тканей человеческого организма. Для экспериментальной проверки и иллюстрации этого положения рабочей группой научного центра РАН было проведено соответствующее исследование оптических характеристик некоторых биологических тканей – соединительной, жировой, сердечной мышцы (миокарда), серого вещества головного мозга и белого нервных окончаний – в широком спектральном диапазоне. Образцы этих тканей толщиной примерно 5–10 мм помещались между двумя предметными стёклами. В качестве объекта сравнения использовался калиброванный (эталонный) образец «диффузного» отражателя. Измерения проводились на высокоскоростном спектрорадiометре модели OL 770-ED, работающем в диапазоне волн 380–1100 нм с приставкой для измерения спектров отражения модели OL 700–71.

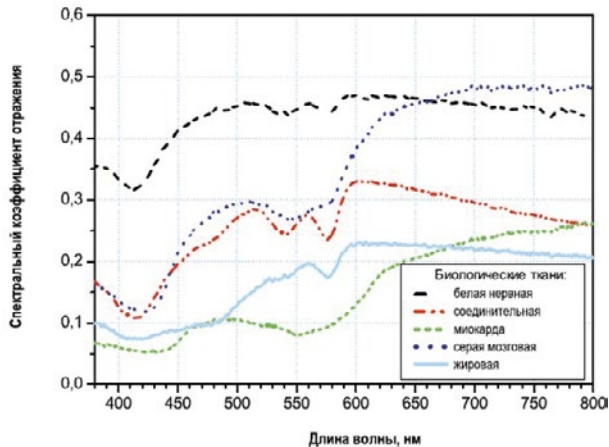


Рис. 2.38. Спектры отражения различных биологических тканей

Как видно из рис. 2.38, например, нервные волокна имеют в 3–5 раз больший, чем другие ткани, коэффициент отражения в фиолетово-синей области спектра (400–430 нм), а ткани серого вещества головного мозга и нервных окончаний в красной области спектра отражают одинаково. В настоящее время данные измерения продолжают на расширенном круге биологических объектов, в том числе и *in vivo*, и все больше убеждают в том, что варьируемое по спектру и интенсивности в процессе операции освещение может значительно облегчать видимость оперируемых объектов.

В ходе исследований был синтезирован полноценный светодиод для операционного светильника, характеристики которого приведены на рис. 2.39 (а, б).

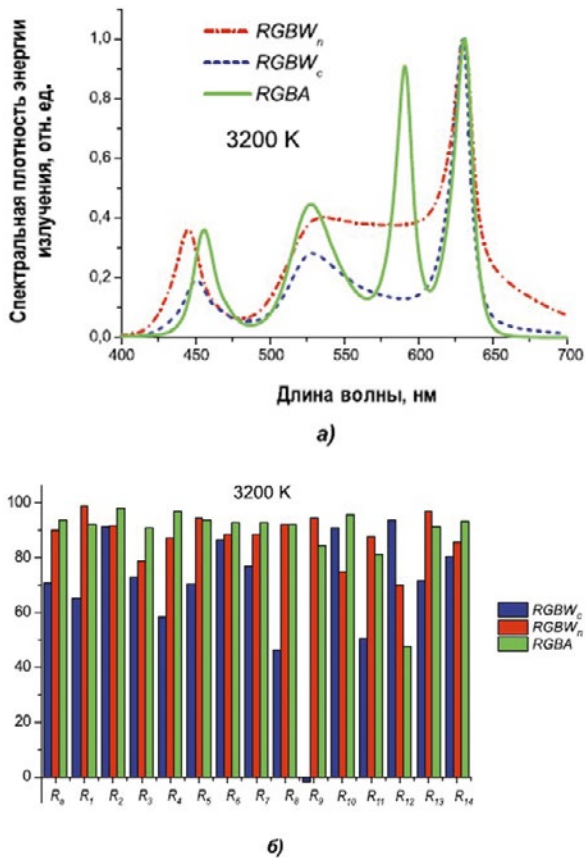


Рис. 2.39. Относительные спектры излучения (а) и значения общего (R_a) и частных (R_i) индексов цветопередачи (б) для $RGBA$ -, $RGBW_c$ - и $RGBW_n$ -светодиодов в режиме синтеза белого света при коррелированной цветовой температуре $T_c = 3200$ К

Несмотря на то что представленные на рис. 2.39, а, энергетические спектры имеют провал в области 480 нм, при этом обеспечивается высокий коэффициент цветопередачи (рис. 2.39, б). Это значит, что инструментальная оценка индекса цветопередачи не отражает в полной мере субъективное цветовосприятие человеком цвета предмета при его освещении светодиодным источником света с провалом в энергетическом спектре в области 480 нм.

Свет воспринимается фоторецепторами, расположенными в задней части глаза. Эти рецепторы, сконцентрированные большей частью в ограниченной области сетчатки (retina), которая называется ямкой (fovea) преобразуют энергию излучения в электрические сигналы. Эта часть сетчатки (fovea), расположенная в центре желтого пятна, способна воспринимать детали изображения и цвет гораздо лучше, чем остальная ее часть. Диаметр желтого пятна у человека около 1,5 мм, центральной ямки – около 0,3 мм. Оптическая

система (зрачок, хрусталик) глаза формирует цветное изображение в центре желтого пятна. Величина диаметра зрачка глаза зависит от амплитуды энергетического спектра на длине волны 480 нм, которая воспринимается ганглиозными клетками. Поэтому для хирурга очень важно знать, какой спектр света обеспечивает наилучшее субъективное цветовосприятие человеком цвета предмета при его освещении светодиодным источником света.

В результате исследования в рамках проекта EU ICT-PSP-2010–5 «Высококачественное и энергоэффективное освещение светодиодами произведений искусства» (LED4 ART), грант №297262, группа специалистов, возглавляемая профессором Яношем Шанда (Janos Schanda), сформировала требования к спектрам светодиодных светильников для наилучшего освещения картин музеев. В этой работе отмечалось, что для освещения отдельных картин можно воспользоваться специально разработанными многоканальными прожекторами с СД, как, например, это сделано в Лувре при освещении портрета Моны Лизы. По его рекомендации для освещения картины были выбраны небольшое число СД с разными спектрами теплого белого света. Спектры излучения четырех выбранных СД приведены на рис. 2.40.

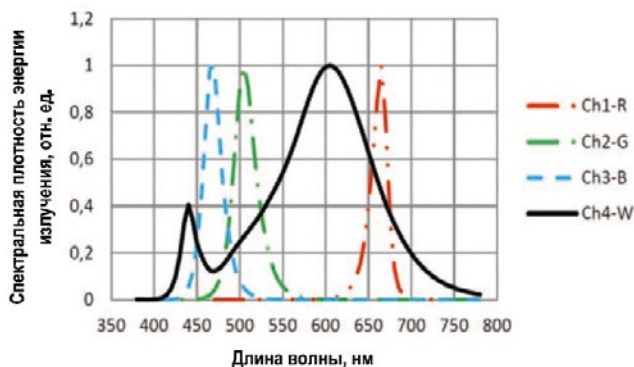


Рис. 2.40. Спектральные распределения энергии излучения четырех выбранных светодиодов

Как видно из графика, для наилучшего цветовосприятия красок полотна картины необходимо заполнить провал в спектре в диапазоне 450–530 нм, а также добавить в спектр красный свет с длиной волны 670 нм. Такой общий спектр источника света обеспечивает наилучшее субъективное цветовосприятие человеком красок картины.

Для оценки комфортного восприятия картин музея был проведен экспертный анализ спектра подсветки полотна. В состав группы экспертов входили хранитель музея и главный дизайнер по освещению Национальной галереи искусств.

Во время эксперимента каждое полотно освещало необходимое количество (20–30) точечных светильников. Наблюдатели могли самостоятельно регулировать освещение, выбирая оптимальную для себя цветовую температуру, используя лампы Соллюкс на 4700 К и стандартные MR-16 на 3000 К, при этом уровень яркости оставался постоянным. Как оказалось, участники эксперимента чаще всего устанавливали цветовую температуру около 3500 К.

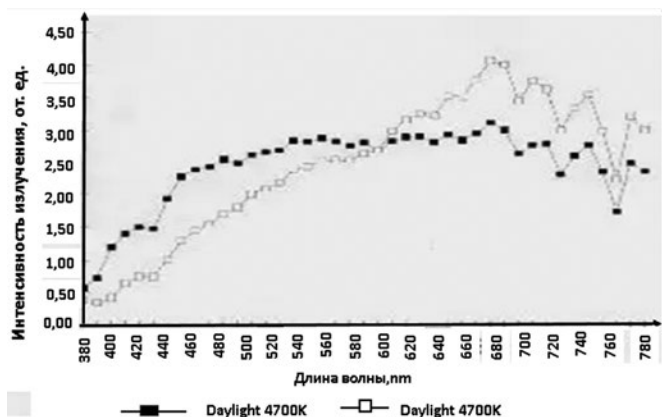


Рис. 2.41. Синтезированный комфортный спектр света для наилучшего восприятия цветовой гаммы красок картины

Приведенный на рисунке синтезированный спектр подсветки по форме кривых хорошо гармонирует с кривыми спектра отражения различных биологических тканей и адекватно воспринимается глазом человека, так как нет провала в спектре на длине волны 480 нм.

Следствие первое.

При одной и той же коррелированной цветовой температуре источников света: галогенной, люминесцентной, энергосберегающей, светодиодной ламп, которые имеют разные спектры, – и уровне провала в спектре на длине волны 480 нм будет разный диаметр зрачка и, как следствие, разная острота зрения и цветоощущения. Это наглядно видно на рис. 2.42 как разная цветовая температура ЛЛ и, соответственно, глубина провала на 480 нм влияет на остроту зрения.

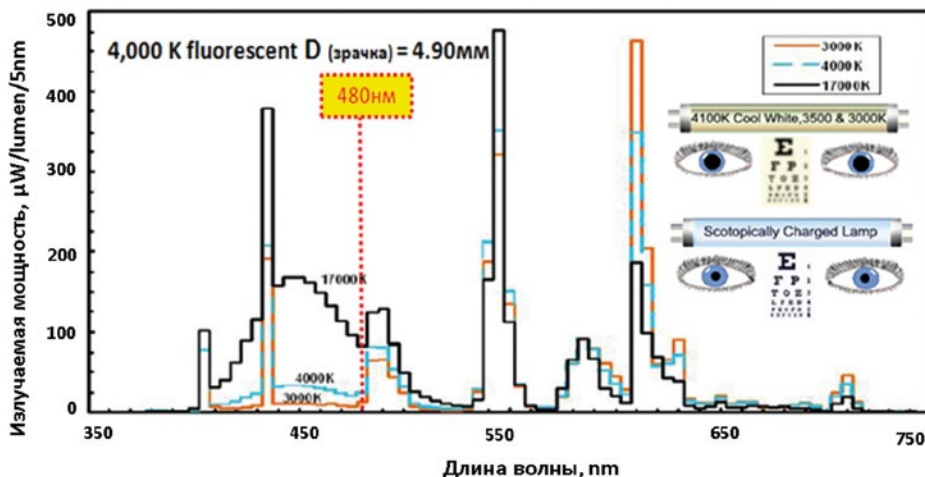


Рис. 2.42. Цветовая температура и острота зрения

Следствие второе.

При увеличении зрачка глаза повышенная доза синего подавляет дневной уровень мелатонина, что негативно влияет на работу гормональной системы человека и, в частности, на инсулиновую систему.

2.4.3.1. Оценка дискомфорта точечных светодиодных источников света

Светодиодные светильники с различной яркостью в последнее время становятся доминирующими. Эта тенденция приводит к возникновению дискомфорта из-за бликов. Изучив освещение в офисах и сравнив результаты, полученные в трех разных регионах, исследователи Philips описали формулы, используемые в настоящее время для прогнозирования дискомфорта от бликов, чтобы установить, насколько они значимы (2.137).

Из этого следуют гигиенические требования:

- плотность энергии в волокне клетки Мюллера не должна превышать критического значения, при котором происходит разрушение волокна. Локальное разрушение клеток Мюллера приводит к отслоению в этом месте сетчатки. Высокоинтенсивные точечные источники света опасны для клеток Мюллера;

- первичная обработка информации о цвете точки (отраженного в точке света) происходит в клетках Мюллера. Из-за переменного коэффициента преломления свет раскладывается на спектр. Нарушение работоспособности клеток Мюллера (как ее отечность после воздействия света) приводит к нарушению цветораспознавания, которое может быть кратковременным или длительным.

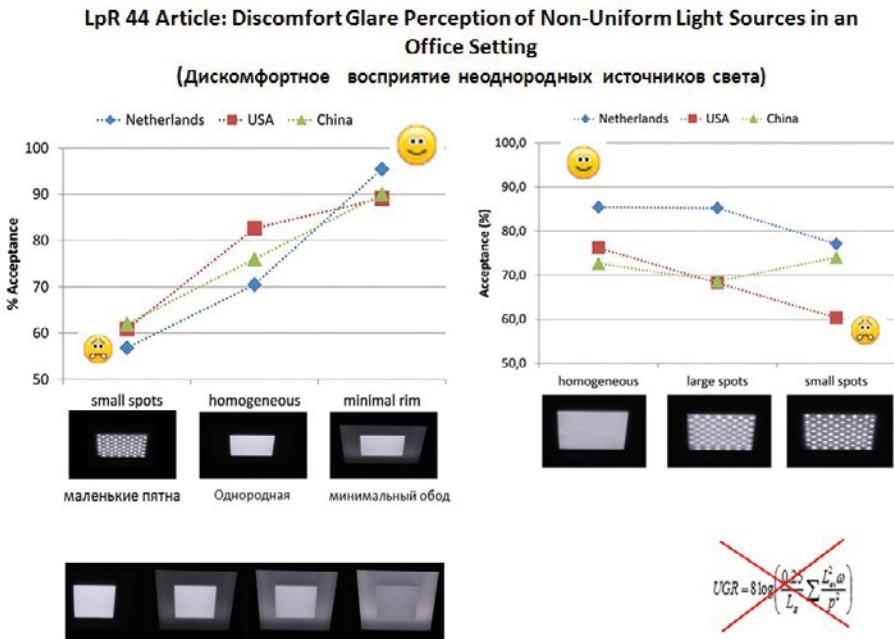


Рис. 2.43. Восприятие неоднородных источников света

Раздел 2.5. Синий свет и ганглиозные клетки

Желтое пятно не защищает ганглиозные клетки от повышенной дозы синего света. Для обеспечения их эффективной работы в условиях световой нагрузки в глазу функционирует мелатониновая защита. При нарушении адекватного эффективного ответа этой системы световой нагрузке происходит апоптоз ганглиозных клеток. С возрастом их количество уменьшается, т. к. синий свет негативно влияет на митохондрии ганглиозных клеток. Свет первоначально падает на митохондрии в ганглиозных клетках сетчатки, прежде чем превратиться в визуальную информацию. Митохондрии могут поглощать синий свет и генерировать активные формы кислорода, повреждающие клетки. Экспериментальные исследования показывают, что когда ганглиозные клетки сетчатки уже пострадали при таких заболеваниях, как глаукома или диабет, синяя составляющая видимого света может обострить процесс.

Негативное влияние на организм млекопитающего было показано в исследовании японского университета Хиросаки под руководством Хироси Огуро. При кормлении крыс глутаматом натрия в количестве 20% сухого веса от всей потребляемой пищи была обнаружена потеря зрения и истончение сетчатки глаз. Было установлено высокое содержание глутамата натрия во внутриглазной жидкости, омывающей сетчатку. Глутамат натрия связывался с рецепторами клеток сетчатки глаза, разрушая их и вызывая вторичные реакции, уменьшающие способность остальных клеток проводить электрические сигналы. При работе фоторецепторов образуется большое количество токсических продуктов. В норме они нейтрализуются на уровне пигментного эпителия. Если в глаз попадает больше света, например, при наблюдении за солнечным затмением и отсутствии специальных защитных средств, то это вызывает фототоксический стресс с выбросом большого количества «свободных радикалов», которые, проходя через внутренние слои сетчатки, могут вызвать развитие катаракты или привести к поражению макулы.

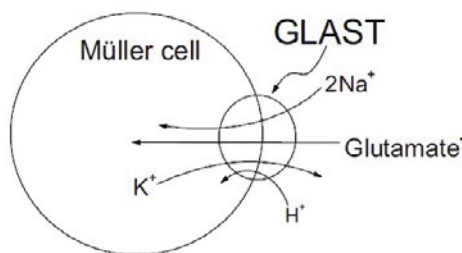
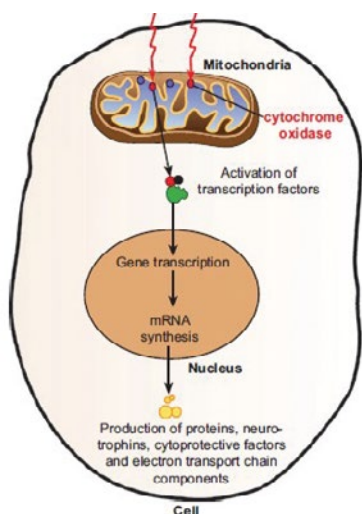


FIGURE 2

Kinetic scheme for the Müller cell glutamate transporter, GLAST. With transport of a glutamate molecule via GLAST, there is a net influx of a positive ion. Since a positive current is by definition the movement of a positive ion out of a cell, then the net influx of a positive charge, as occurs with transport of glutamate by GLAST, is an inward, negative current.

Рис. 2.44. Кинетическая схема транспорта глутамата

2.5.1. Фотоиндуцированные изменения субклеточных структур ретинального пигментного эпителия перепела *Coturnix Japonica* [2.138]

Синий свет видимого диапазона ($\lambda_{\text{макс}}$ 450 нм) известен как небезопасный «незрительный» фактор фотобиологического действия на сетчатку глаза человека и животных. Реальная опасность кратковременных мощных экспозиций синим светом оценена на различных животных моделях, включая приматов (макак-резус, *Macaca mulatta*). Показано, что видимый свет синего диапазона с λ_{450} нм ($\lambda_{\text{в}}$ согласно светотехнической номенклатуре по зрительной безопасности) при однократных кратковременных экспозициях вызывает распознаваемые дегенерации сетчатки при дозах ~ 50 Дж/см² на поверхности роговицы, в то время как для света длинноволнового видимого диапазона 500–650 нм пороговые дозы фотоповреждения находятся в пределах 500–1000 Дж/см². Существует обширная литература о возможной роли синего света в провоцировании глазных заболеваний и развитии старения сетчатки. Известными мишенями патогенного действия синего света являются фототоксичные бис-ретиноиды липофусциновых гранул в клетках ретинального пигментного эпителия (РПЭ), генерирующие свободные радикалы. Существует ряд работ, в которых показано, что свет синего диапазона способен оказывать повреждающее действие на митохондрии РПЭ, приводя к выходу из них в цитоплазму цитохрома С и последующему запуску апоптотической гибели клеток. При этом ограничивающим фактором негативного действия синего света, вероятно, является мелатонин, синтез которого регулируется синечувствительными меланопсиновыми клетками сетчатки. Для исследования механизмов патогенного действия синего света на сетчатку используется целый ряд животных моделей. Одной из наиболее удачных моделей является мелкая домашняя птица – японский перепел *Coturnix japonica*. По сравнению с обычными лабораторными животными (грызуны, кошки, собаки) эти птицы, наравне с человеком и приматами, имеют центральную область острого зрения, защищенную от синего света оксикаротиноидами лютеин-зеаксантинового ряда. Биологический срок жизни *Coturnix japonica* в среднем составляет около полутора лет, за которые его сетчатка претерпевает те же старческие изменения, что и у человека к 70–80-летнему возрасту. Так, к 9-месячному возрасту в РПЭ японского перепела концентрация липофусциновых гранул достигает тех же величин, что и у 80-летних людей, а ретинаяльная острота зрения этих птиц с возрастом существенно падает. Ранее, в статье Зака и соавт. было показано, что синий свет (440–470 нм, 4 Дж/см² при 40-минутной экспозиции) вызывал выраженные нарушения гематоретиального барьера РПЭ *Coturnix japonica*, аналогичные возрастным изменениям. Показано также, что такой синий свет вызывал структурные изменения в ядрах некоторых клеток РПЭ, характерные для апоптоза. Кроме того, установлено, что общим свойством старения и повреждающего действия синего света в клетках РПЭ *Coturnix japonica* является повышение численности видоизмененных (чашевидных) митохондрий, которые, согласно литературным данным, свидетельствуют о неблагополучии клеточной жизнедеятельности. Наряду с использованием *Coturnix japonica* как модели ускоренного

старения, эти домашние птицы используются при изучении мелатонин-регулируемых циркадных ритмов. Для этих животных характерны резко выраженные суточные изменения мелатонина, причем 30% мелатонина крови *Coturnix japonica* синтезируется непосредственно в фоторецепторных клетках сетчатки, в то время как у человека ретинальный мелатонин составляет ~15% общего пула. В настоящее время активно дискутируется тема возможных отдаленных последствий избыточного синего света в провоцировании возрастной слепоты, в частности, возрастной макулярной дегенерации. Так, в заключении Европейской комиссии по глазным рискам от 2012 г. (<http://ec.europa.eu/health/scientificcommittees/policy/index>) считается приоритетным проведение исследований по оценке отдаленных негативных последствий повседневного освещения с избыточной синей компонентой, в частности, светодиодного освещения.

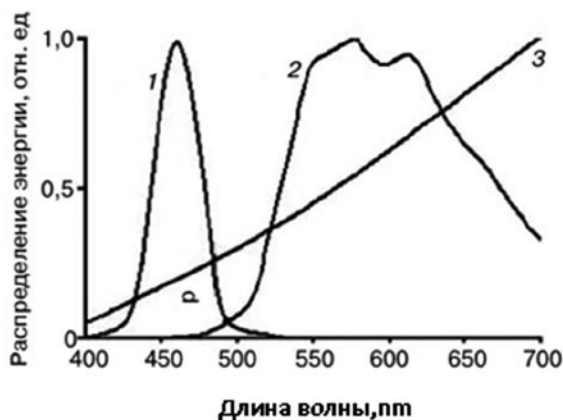


Рис. 2.45. Спектральное распределение энергии трех видов источников освещения. 1 – синее освещение (доминирующая спектральная полоса 440–470 нм); 2 – желтое освещение (доминирующая спектральная полоса 530–650 нм и отсутствие излучения в синей области спектра); 3 – лампа накаливания (спектр излучения со сниженной синей компонентой и с преобладанием желтой области спектра)

Исследования были проведены на 15-недельных самках *Coturnix japonica*, содержащихся изолированно без присутствия самцов. По достижении полуторамесячного возраста птицы были разделены на три группы с разными условиями освещения. Контрольную группу животных содержали при общепринятом стандартизированном освещении лампой накаливания, которая по светотехнической номенклатуре является одним из источников искусственного белого света. Одну из опытных групп содержали при синем светодиодном освещении в спектральной полосе 440–470 нм, а вторую освещали «желтым» светом (спектральная полоса 500–650 нм), сформированным «белым» светодиодным светильником в сочетании со светофильтром, отсекающим свет короче 500 нм. Согласно приведенным спектрам излучения (рис. 2.45), лампа накаливания и источник «желтого» освещения должны быть близки по фотобиологическому действию, поскольку оба световых источника имеют доминирующую световую полосу излучения

в длинноволновой области спектра (от 500 нм и более) без заметного долевого участия в синей области спектра (от 500 нм и менее). Был использован общепринятый цикл суточного освещения при содержании перепелов: 15 ч постоянного освещения и 9 ч темного перерыва. Включение и выключение света производили автоматически таймером-контроллером. Все три вида освещения были выравнены по мощности: $0,002 \text{ Вт/см}^2$ по центру птичьей клетки (40 см от источника освещения). В единицах освещенности использованный свет составлял около 200–25 Лк. Фото и спектрометрические калибровки производили спектрометрами Avantes_2048 («Avantes», Голландия) и МК_350 («Uptech», Тайвань).

При оценке среднесуточной яйценоскости было найдено, что птицы, содержащиеся при синем освещении, обладали повышенной на 15% яйценоскостью по сравнению с птицами, выращенными при освещении со сниженной синей световой компонентой, т. е. при желтом освещении и освещении лампами накаливания.

На рис. 2.46 представлена обзорная электронно-микроскопическая фотография, демонстрирующая типичную картину распределения и состояния субклеточных частиц в области базальной мембраны клеток РПЭ *Coturnix japonica*.

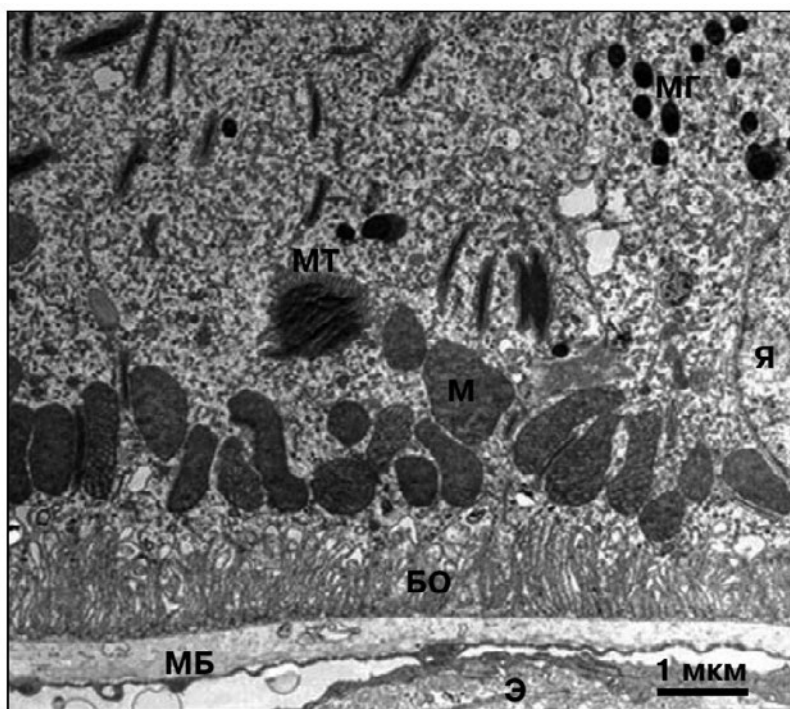


Рис. 2.46. Электронно-микроскопическая фотография поперечного среза клетки РПЭ *C. japonica*, демонстрирующая чрезвычайно стратифицированное распределение субклеточных структур. Я – клеточное ядро; М – митохондрии; БО – базальные отростки; МБ – мембрана Бруха; Э – эндотелий кровеносных капилляров; МТ – миелидные тельца; МГ – меланиновые гранулы

Таблица 2.4

Численность (количество на 100 мкм цитоплазмы) субклеточных структур клеток РПЭ японского перепела при трех спектральных видах ежедневного освещения

Спектральная полоса освещения	Митохондрии (общая численность)	Чашевидные митохондрии	Гранулы липофусцина	Фагосомы	Миелиодные тельца
400–650 нм Лампа накаливания	17,35 ± 0,90	3,10 ± 0,40	1,66 ± 0,40	1,02 ± 0,30	10,36 ± 0,60
530–650 нм Желтый свет	22,32 ± 0,70	5,13 ± 0,40	2,07 ± 0,30	0,89 ± 0,20	7,69 ± 0,30
440–470 нм Синий свет	26,63 ± 0,70	7,83 ± 0,60	1,47 ± 0,20	1,49 ± 0,30	8,76 ± 0,50

Примечание. Данные представлены в виде средних значений $M \pm m$.

Так, у птиц, содержащихся при синем освещении, общая численность митохондрий была значительно выше, чем у птиц, содержащихся при освещении с заниженной синей компонентой – желтом свете и при освещении лампой накаливания (в 1,2 и в 1,5 раза соответственно). При этом у птиц, содержащихся при синем освещении, увеличивалась численность митохондрий чашевидной формы, имеющих на срезах вид колец и гантелей (рис. 2.47, а именно: их было в 1,5 раза больше, чем при желтом освещении, и в 2,5 раза больше, чем при освещении лампой накаливания).

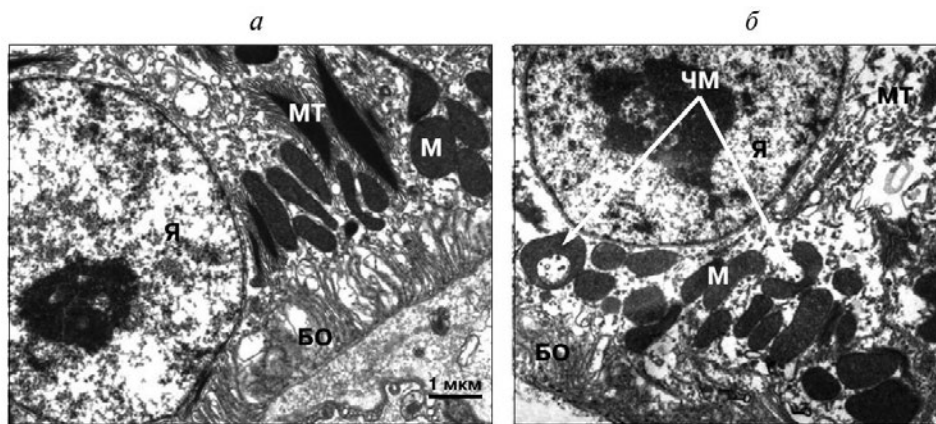


Рис. 2.47. Пример характерных различий в ультраструктуре РПЭ птиц, содержащихся при повседневном 95-суточном освещении лампой накаливания (а) и синим светом (б) (440–470 нм). Я – ядро клетки РПЭ; БО – базальные отростки; М – митохондрии; ЧМ – чашевидные митохондрии; МТ – миелиодные тельца

Появление чашевидных митохондрий с увеличенной площадью контактной поверхности, согласно существующей литературе, рассматривается как адаптивная защитная реакция при клеточном стрессе. Авторы предположили, что как увеличение общей численности митохондрий при синем освещении, так и повышение содержания чашевидных митохондрий свидетельствует о происходящей при этом повышенной нагрузке на клеточный метаболизм РПЭ.

Как следует из данных таблицы, содержание птиц при синем освещении приводит также к полуторакратно увеличению численности фагосом, по сравнению с желтым освещением и освещением лампами накаливания. Авторы исследований расценивают эти изменения, как еще одно свидетельство того, что повседневное пребывание птиц при синем освещении вызывает повышение обменно-энергетических процессов в клетках РПЭ. Как известно, фагоцитарные процессы клеток РПЭ по захвату фоторецепторных мембран являются светозависимыми и имеют суточную ритмику. При этом не было отмечено статистически достоверных отличий в содержании липофусциновых гранул и миелоидных телец в зависимости от условий освещения. В целом полученные данные по повышению численности митохондрий и фагосом в клетках РПЭ, а также повышение яйценоскости птиц в условиях повседневного синего освещения дают основание предполагать фотостимулирующее действие синего света на обменно-энергетические процессы в РПЭ и в организме в целом. По мнению авторов, наиболее вероятной причиной активирующего действия синего света может быть повышенное содержание мелатонина, поскольку, как сейчас показано, именно синий свет в полосе 440–470 нм является главным регулятором содержания мелатонина в крови и органах. Представляется маловероятным, что полученные эффекты могут быть как-то связаны с фототоксическими свободно-радикальными реакциями липофусциновых гранул, поскольку были использованы очень низкие уровни повседневного освещения. В настоящее время авторы ведут постоянный возрастной мониторинг *Coturnix japonica* для того, чтобы в дальнейшем оценивать скорость старения птиц и их РПЭ в зависимости от спектрального состава освещения

Раздел 2.6. Влияние света на иммунную систему

Законы функционирования нервной, эндокринной и иммунной систем организма человека хорошо изучены и представляют процессы массо-энергетического и информационного обмена между элементами внутри системы и внешней средой. В настоящее время специалисты все больше склоняются к концепции комплексного нейро-эндокрино-иммунологического подхода в изучении этих систем, что очень важно в условиях энергосберегающей световой среды. Новые энергосберегающие источники света (светодиодные) имеют значительное воздействие на синтез серотонина и мелатонина из триптофана в эпифизе человека.

В рамках нейро-иммунного подхода в работе академика НАН Грузии Р.И. Сепиашвили изложена новая парадигма функционирования иммунной системы. В монографии особое внимание уделено серотонину и его иммунофизиологическим эффектам и подчеркивается, что вопросы взаимодействия нервной и иммунной систем относятся к категории ключевых проблем современной физиологии и решаются на самых различных уровнях – полиорганном, клеточном, молекулярном. Доказательством существования тесных взаимоотношений между нервной и иммунной системами служит, например, наличие прямой взаимосвязи между экспрессией рецепторов к нейромедиаторам и цитокинам, а также недавно установленная способность клеток иммунной системы обмениваться нейромедиаторами (серотонином)

везикулярным и невезикулярным механизмами, что приводит к вовлечению дендритных клеток, макрофагов, Т-и В-лимфоцитов в широкий спектр аутокринных, паракринных, юкстакринных и эндокринных взаимодействий. В той работе так же указано на роль эпифиза в выработке серотонина.

Нейромедиатор серотонин синтезируется из триптофана, который поступает с пищей в организм человека. Из серотонина синтезируется мелатонин, который имеет широкий спектр межсистемного воздействия на организм человека.

Мелатонин принимает участие в регуляции функций иммунной системы организма. Об этом свидетельствует присутствие рецепторов к мелатонину на мембранах человеческих лимфоцитов и нейтрофилов, а также лейкоцитов, нейтрофилов и иммунокомпетентных клеток тимуса и селезенки. Мелатонин участвует в регуляции функции тимуса и щитовидной железы, повышая активность Т-клеток и фагоцитов, предупреждая ряд заболеваний и, как показывают лабораторные исследования, замедляет рост семи видов раковых клеток, включая раковые клетки молочной и предстательной желез. Активация иммунных клеток мелатонином обусловлена его стимулирующим влиянием на продукцию внутриклеточной цАМФ. Кроме того, *in vitro* был продемонстрирован стимулирующий эффект мелатонина на секрецию интерлейкина-1 человеческими моноцитами.

Наиболее показательно взаимодействие нейроэндокринной и иммунной систем проявляется при воздействии стресса. Известно, что эта защитная биологическая реакция развивается в ответ на действие широкого спектра агрессивных факторов внешней среды, таких как микробные, температурные, болевые агенты, факторы неподвижности, гравитации, психоэмоциональные воздействия и ряд других. При всех этих воздействиях активируется гипоталамо-гипофизарно-адренорекортикальная система. Еще в 70-х годах появились работы по рассмотрению совместных действий психики, центральной нервной, эндокринной и иммунной систем (рис. 2.48).

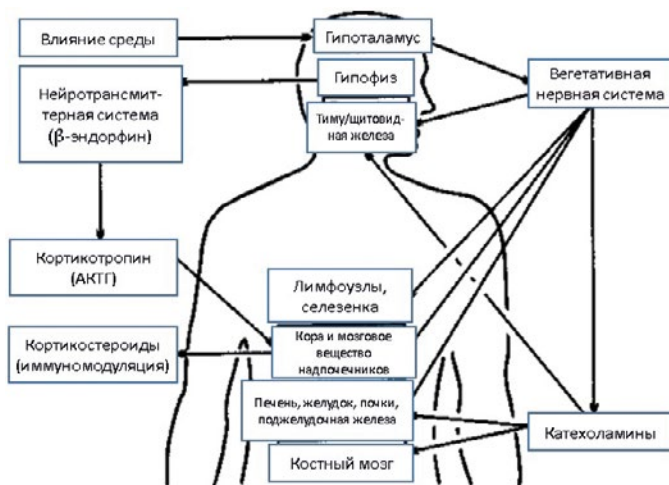


Рис. 2.48. Совместное действие психики, центральной нервной, эндокринной и иммунной систем [М. Kerekjarto, 1970]

Данную модель и до настоящего времени широко применяют психологи в своих исследованиях. Но данная схема является неполной и не учитывает координирующую роль эпифиза в системе гипоталамус-гипофиз, которая влияет на работу нейроэндокринной и иммунной системы в условия воздействия стрессогенных факторов внешней среды. В частности, показано, что в шишковидной железе процесс синтеза серотонина – мелатонина из триптофана классифицируется как колебательный процесс и может быть описан в терминах паттерна, что позволяет построить сезонные и годовые графики изменения дозы мелатонина в крови человека. Перераспределение между серотонином и мелатонином в гормональном спектре регулируется продолжительностью светового воздействия на ганглиозные клетки сетчатки глаз, а уровни дозы мелатонина зависят от сенсорных свойств шишковидной железы. Циклический процесс синтеза мелатонина под воздействием освещения может вступить в диссонанс с астрономическим циклом работы шишковидной железы, что нарушает гармонию в работе антиоксидантной системы человека и отрицательно сказывается на его здоровье, увеличивая риск заболевания в отдаленной перспективе.

Морфологические исследования шишковидной железы показали, что в ней синтезируются разнообразные кристаллы (кальциты, флюориты), которые могут соединяться в объемную матрицу. Эти кристаллы обладают прямым и обратным пьезоэлектрическим эффектом и могут содержать ионы фосфора, магния и фтора. Исследования показали, что концентрация фтора в шишковидной железе человека больше, чем в его костях. Проведен анализ образования кальцитов (CaCO_3) в различных биологических системах и предложена новая модель взаимодействия кристаллов и внутриклеточной структуры шишковидной железы. В этой системной модели увязаны кристаллы кальцитов, соприкасающихся с глиальными клетками, с сеткой, в которой имеются каналы с мелатонином, которые образуют в мозге человека чувствительную область к градиентно-гравитационному воздействию (от перераспределения окружающей массы или изменения удельной плотности окружающей среды). Морфологические исследования шишковидной железы доказали корреляцию между объемным распределением кристаллов (кальцитов, флюоритов) с разнообразием болезней психики человека.

Еще Ганс Селье, впервые описавший стресс-синдром, отмечал, что иммунная система остается безразличной к стрессу. Позднее были исследованы механизмы, с помощью которых иммунная система вовлекается в стрессовые реакции. Так, было показано, что в ответ на действие патогенных агентов макрофаги и лимфоциты выделяют широкий спектр регуляторных пептидов, объединенным общим названием цитокинов.

Низкий уровень серотонина ассоциируется с такими клиническими заболеваниями, как депрессия, бессонница и тревожность. Из вышесказанного следует, что стресс снижает уровень триптофана, необходимого для выработки серотонина и, как следствие, уровня мелатонина в организме человека. При этом необходимо отметить, что величина синтезирующегося в эпифизе из триптофана серотонина – мелатонина зависит от суточного ритма. В настоящее время этот процесс хорошо изучен, но влияние мелато-

нина на стимуляцию иммунной системы заставляет по-новому посмотреть на то, что уровень дневного мелатонина и ночного серотонина не опускается до нуля, а находится на определенном индивидуальном уровне.

Нами приведены фазовые портреты мелатонинового паттерна в течение жизни, а также механизмы влияния света и физических полей на дисгармонизацию синтеза мелатонина в шишковидной железе.

По результатам анализа зависимости уровня мелатонина от освещенности и триптофана сформулирован закон внешнего дополнения для биологической системы на примере выработки мелатонина.

Концепция комплексного нейро-эндокрино-иммунологического подхода к патологии человека убедительно доказана на примере эффективности мелатонина в лечении больных с различными заболеваниями, в основе которых лежат нейроиммунологические нарушения. Искусственное повышение уровня мелатонина в крови стимулирует иммунную систему, но уменьшает эффективность природного процесса синтеза мелатонина.

Уменьшение уровня триптофана в сочетании с негативным воздействием синего света на синтез «серотонина – мелатонина» может отрицательно влиять на стимуляцию иммунной системы человека и его здоровье в целом.

Раздел 2.7. Влияние света на систему выработки кортизола

Массовое внедрение светодиодного освещения и устройств отображения информации с большой долей синего в спектре света привело к необходимости пересмотра концепции влияния света на организм человека, с целью отработки гигиенической стратегии обеспечения его здоровья. Была сформулирована новая концепция восприятия света и, в частности, рассмотрены вопросы его воздействия на биоритмы «день – ночь» и качество сна. Показано, что синяя составляющая спектра в значительной степени подавляет гормон мелатонин, от дозы которого зависит качество сна. При этом остается открытым вопрос, как доза синего света светодиодных источников влияет на другие гормональные системы (кортизол-глюкоза-инсулин), обеспечивающие высокую работоспособность человека с момента его пробуждения и в течение всего рабочего дня.

Около 70% детей младшего школьного возраста не имеют полноценного 8-часового сна, несмотря на требования многих законодательных актов и физиологии ребенка. Согласно выводам ученых, современные дети в возрасте от 10 до 15 лет спят на 30 минут меньше по сравнению с предыдущим поколением. Причиной таких перемен являются использование мобильных телефонов, компьютеров, просмотр телевизора и, как следствие, привычка подростков поздно ложиться. При этом глаза постоянно подвергаются воздействию синей составляющей спектра света от устройств отображения информации. Американские ученые сравнили результаты двух исследований, проведенных в 1985 и 2004 годах, в которых принимали участие около 500 детей. Было сделано заключение, что время подъема у детей не изменилось – 7 часов утра, но вот ко сну отходят они на 30 минут позже, чем в 1985 году.

Раньше девочки ложились спать примерно в 22:10 вечера, а мальчики на 10 минут позже. Спали представители обоих полов около 9 часов. Сейчас продолжительность сна сократилась, особенно явно это выражено у мальчиков: они ложатся спать на 44 минуты позже, чем в 1985-м.

Др. Доллман из Института здравоохранения пояснил, что такой режим ведет к расстройству сна и влияет на умственную деятельность школьников: они становятся невнимательными и не способны учиться в полную силу – падает успеваемость. По рекомендациям ученых НИИ гигиены и охраны детей и подростков РАМН, дети в возрасте 3–5 лет должны спать 11–13 часов; 5–12 лет – 10–11 часов; 12–18 лет – 8–10 часов (2.139).

Новое исследование от Lighting Research Center (LRC) в Rensselaer Polytechnic Institute пришло к выводу, что воздействие коротковолнового синего света может помочь пробуждаться утром при постоянном сокращении продолжительности сна у подростков и победить депрессию. При этом указывается, что при этом воздействии света повышается доза синтезированного кортизола.

В России сотрудниками НИИ гигиены и охраны здоровья детей и подростков РАМН и ГБОУ ВПО «Южно-Уральского государственного медицинского университета» Минздрава России» были проведены исследования психофизиологического воздействия светодиодного освещения и светодиодных светильников на организм человека. В выводах отмечалось, что у волонтеров при светодиодном освещении повышалась работоспособность, активность и пропадала сонливость. Однако в ходе этих исследований не проводились измерения уровней мелатонина и кортизола, гормональный спектр которых определяет психофизическое состояние волонтера и его работоспособность.

Приведенные исследования свидетельствовали, что гигиеническая стратегия обеспечения здоровья и высокой работоспособности детей и подростков подменяется стратегией светового стимулирования гормонального фона (кортизола). Но при этом не вскрывался механизм и возможные последствия этого воздействия.

Кортизол – гормон, который начинает вырабатываться, если гипофиз посылает сигнал в виде адренкортикотропного гормона надпочечникам. Под влиянием этого вещества надпочечники начинают производить кортизол из холестерина. Кроме кортизола, внешний слой надпочечников также синтезирует эстрогены и андрогены.

Самой главной целью кортизола является обеспечение организма энергией, перерабатывая жиры в жирные кислоты, а затем в глюкозу. Работает он в паре с инсулином, который помогает клеткам усваивать глюкозу, поставляемую кортизолом.

Кроме этого, он оптимизирует баланс натрия и калия в крови, регулирует иммунитет, чтобы сохранить нужные клетки, то есть кортизол запускает противовоспалительную реакцию, когда лимфоциты уже выполнили свои задачи.

Среди его задач следует отметить деятельность по поддержанию сердечной мышцы, влияние на нейроны головного мозга, сжатие и расширение стенок сосудов. Восстанавливается уровень кортизола в организме

во время ночного сна. Следовательно, чтобы быть здоровым и поддерживать оптимальный уровень кортизола, необходимо иметь возможность спать ночью. Самая активная работа кортизола начинается ранним утром, еще до рассвета.

С появлением светодиодных источников света, исследования в области эффектов синего света возобновились. Lighting Research Center утверждает, что коротковолновый свет влияет на уровень кортизола, который вырабатывается нашим организмом в борьбе со стрессами в течение всего дня. В ходе исследований было доказано, что утреннее воздействие коротковолновым «синим» светом помогает детям и подросткам победить депрессию, связанную с недосыпанием.

Концентрация кортизола снижается в течение дня и вечером достигает своего минимума, который повышается в ночное время. Его резкий скачок в организме отмечается в первые 30–60 минут после пробуждения. В ходе исследований измерялось количество кортизола в организме. В эксперименте участвовали подростки от 12 до 17 лет, которые спали по 4,5 часа ночью. Все испытуемые носили небольшое измерительное устройство, определяющее активность человека, уровень освещенности, количество и длительность периодов сна.

Исследование длилось три недели, включало в себя три ночных сессии в течение семи дней. Каждый раз подростки пользовались либо обычным освещением, либо включали утром источник коротковолнового света. Докторам Марку Ри и Марианне Фигуэро удалось доказать, что коротковолновой «синий» свет помогает подросткам справиться с плохим настроением утром, поскорее проснуться и включиться в учебный процесс, но злоупотреблять коротковолновым светом не стоит.

Именно этот процесс определяет бодрый подъем по утрам. Для того чтобы организм адекватно реагировал на нагрузки дня, необходимо и достаточно гигиеническими методами обеспечивать: качественный сон для поддержания максимального уровня мелатонина; оптимальный уровень кортизола, достаточный для адекватной реакции на вызовы дня; сбалансированное рациональное питание.

Изменение концентрации мелатонина (гормона сна) и кортизола имеют циклический вид (рис. 2.49). Максимум выработки мелатонина (А мел.) приходится на 3–4 часа ночи, а максимум синтеза кортизола (А кор.) приходится на 7–8 часов утра.

Кривая кортизола сдвинута относительно кривой мелатонина. Временной сдвиг между ними равен постоянной величине – 4 часам.

$$A_{\text{кор.}} \approx F(\partial A_{\text{мел.}} / \partial t)$$

Чем выше скорость уменьшения концентрации мелатонина утром, тем больше концентрация кортизола в момент пробуждения человека от сна. Для оптимального момента пробуждения необходимо соблюдать следующие условия:

$$\begin{aligned} A_{\text{мел.}} &\approx \min \\ A_{\text{кор.}} &\approx \max \\ \partial A_{\text{мел.}} / \partial t &\approx \max \end{aligned}$$

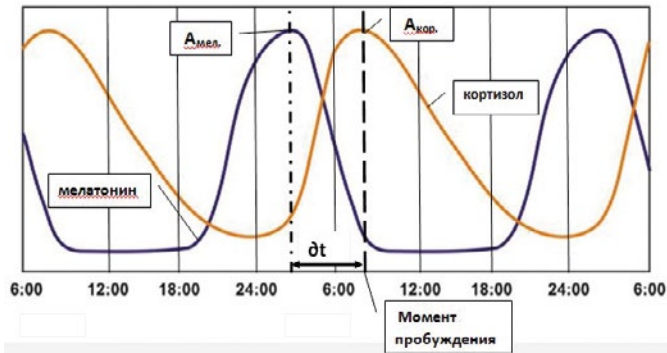


Рис. 2.49. Изменение концентрации мелатонина (гормон шишковидной железы) и кортизола (гормон системы «гипоталамус-гипофиз-надпочечник») на протяжении 2-суточного цикла человека (48 час.)

Эти условия можно обеспечивать простыми гигиеническими методами или методами световой стимуляции.

На основании накопленных знаний о многообразном действии солнечной энергии, ее влиянии на жизнедеятельность организма были обобщены основные положения об оптико-вегетативной системе (ОВС), которая воспринимает из внешнего мира солнечную энергию преимущественно не для чисто оптических (зрительных) нужд, а для оптимального функционирования вегетативной нервной системы (ВНС), нейрогуморальной регуляции деятельности всего организма.

ОВС – наиболее древний отдел ЦНС, обеспечивающий прямую биологическую связь между гелиогенным излучением и основными биохимическими процессами трансформации солнечной энергии. Топография основных структур ОВС обеспечивает возможность прямого влияния на ЦНС и имеет самый короткий нервный путь, связывающий центральный нейрорегуляторный аппарат ВНС (в первую очередь многочисленные ядра гипоталамуса) с окружающей средой. Тем не менее по настоящее время существуют спорные вопросы, касающиеся структурной основы ОВС. Помимо достаточно стабильного анатомического строения оптической части зрительного анализатора, у большинства животных и человека основную морфофункциональную нагрузку – в плане влияния света на ВНС – несет задний гипоталамический корешок, или хиазматический дорсальный корешок ретино-гипоталамического пути (сенсорный афферентный путь, проводящий световые раздражения прямо в гипоталамус). Для иллюстрации этой связи приведен пример строения высших отделов зрительной системы приматов (рис. 2.50).

Система «сетчатка глаза – гипоталамус» взаимоувязана и дополняет систему не визуального воздействия света «сетчатка глаза – шишковидная железа».

Гипоталамус осуществляет взаимосвязь между внешним миром и внутренней средой, преобразовывая быстродействующие сигналы нервной системы в медленно текущие, специализированные реакции эндокринной системы. Гипоталамус выполняет множество функций. Во-первых, осуществляет связь с нервной системой, так как гипоталамус это типичная нервная ткань, состоящая из нейронов, связанная со всеми отделами нерв-

ной системы. Во-вторых, гипоталамус регулирует гипофиз, так как является эндокринной железой.

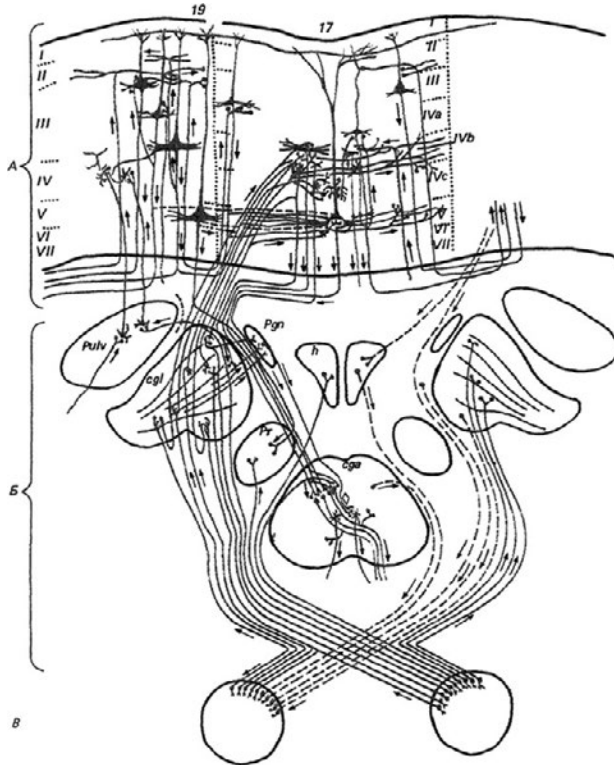


Рис. 2.50. Строение высших отделов зрительной системы приматов. А – 17-е и 19-е поля больших полушарий; Б – подкорковые структуры; В – сетчатые глаза: I–IV – слои коры, IVa, IVb, IVc – подслои; точками обозначены границы между полями и слоями; стрелками – центrostремительные и центробежные связи; sga – переднее двуххолмие, cgl – наружное коленчатое тело, h – гипоталамус, Pgn – прегеникулярное ядро, Pr – претектальное ядро, Pulv – подушечка зрительного бугра

Нервные импульсы, приходящие в гипоталамус, активируют секрецию так называемых рилизинг-факторов (либеринов и статинов): тиреолиберина, соматолиберина, пролактолиберина, гонадолиберина и кортиколиберина, а также соматостатина и пролактостатина. Мишенью для либеринов и статинов, секретируемых гипоталамусом, является гипофиз. Каждый из либеринов взаимодействует с определенной популяцией клеток гипофиза и стимулирует синтез соответствующих тропинов: тиреотропина, соматотропного гормона (соматотропин – гормон роста), пролактина, гонадотропного гормона, (гонадотропины – лютеинизирующий и фолликулостимулирующий), а также аденокортикотропного гормона (АКТГ, кортикотропин). Гормон АКТГ стимулирует выработку кортизола, который определяет выработку глюкозы, а она влияет на выработку инсулина, обеспечивающего транспорт глюкозы из крови в клетки. Одновременно кортизол осуществляет обратную связь для процесса выработки гормона АКТГ.

Регуляция деятельности гипофиза и гипоталамуса, кроме сигналов, идущих «сверху вниз», осуществляется гормонами «исполнительных» желез. Эти «обратные» сигналы поступают в гипоталамус и затем передаются в гипофиз, что приводит к изменению секреции соответствующих тропинов.

На чувствительность гипоталамуса к действию гормонов оказывает шишковидная железа, эффективность функционирования которой зависит от уровня освещенности и спектрального состава света. Проведенный системный анализ по оси «световой стимул – гипоталамус – гипофиз – надпочечники – кортизол – глюкоза – инсулин» приводит к выводу, что свет через сложную цепочку стимулирует поджелудочную железу к выбросу инсулина. Инсулин – главный гормон организма, стимулирующий рост и размножение клеток. В этих двух постулатах содержится тайна здоровья и болезней, а значит, тайна жизни и смерти. Инсулин – это главный гормон для любого живого существа. Ключом к пониманию роли инсулина в происхождении болезней и старения является его двойное действие на клетки организма. У инсулина есть медленный и быстрый эффекты. Быстрый эффект заключается в том, что под влиянием инсулина клетки начинают усиленно поглощать сахар (глюкозу) из крови, отчего уровень сахара крови понижается. Медленный эффект инсулина заключается в стимуляции им роста и размножения клеток. Принято считать сахаропонижающее действие инсулина главным его эффектом. Но обобщение и осмысление накопленных наукой фактов приводит к важнейшему выводу: главный эффект инсулина – стимуляция роста! В здоровом организме существует баланс между материей и энергией. Избыток инсулина нарушает этот баланс, приводя, с одной стороны, к повышенному росту различных клеток и тканей, а с другой стороны, к недостатку жизненной энергии в клетках, плохому самочувствию, изменению внешнего вида, болезням и ускоренному старению.

Альфа и бета-клетки островков Лангерганса поджелудочной железы вырабатывают глюкагон и инсулин. Бета-клетки массово погибают, если им приходится работать с повышенной нагрузкой. Также их убивает глюкозотоксичность, т.е. хронически повышенный сахар в крови. Предполагается, что уже на ранних стадиях диабета 1 или 2 типа часть бета-клеток уже погибли, часть – ослаблены и вот-вот погибнут, и лишь немногие из них все еще нормально работают (2.140). Дополнительная стимуляция производства инсулина в течение длительного периода времени может, как и избыточное потребление пищи, привести к необратимому снижению числа рецепторов инсулина на поверхности клетки, а значит – и к устойчивому снижению способности клеток утилизировать глюкозу, т.е. к диабету типа 2 или его усугублению.

Невизуальное воздействие света на здоровье человека нашло свое отражение в решении Совета по качеству энергоэффективных источников света и систем освещения при Комитете по энергетике Государственной Думы РФ, по результатам общественного обсуждения проекта СанПин 2.2.4/2.1.8–14 «Гигиенические требования к физическим факторам производственной и окружающей среды» (в части, касающейся освещения). В этом решении указано, что в проекте необходимо обязательно учесть требования к ряду светотехнических параметров, значимость которых для психофизиологиче-

ского и функционального состояния и гормонального фона человека в настоящее время не вызывает сомнения, с целью оградить себя от возможных неблагоприятных для здоровья последствий использования в быту новых, сложных по своим физическим свойствам энергоэффективных источников света, в частности, источников света с высокой цветовой температурой».

2.7.1. Воздействие красного и ближнего инфракрасного света на головной мозг человека

Ближний инфракрасный свет привлек повышенное внимание благодаря своей способности активировать противовоспалительные процессы и в настоящее время широко используется в ветеринарной медицине для лечения растяжений, переломов костей и ускорения заживления ран. За последние десять лет было проведено множество исследований на животных, посвященных использованию транскраниальной терапии в ближнем инфракрасном диапазоне (NILT) для лечения травм головного мозга от инсульта или травмы [2.141].

На рис. 2.51 приведен гипотетический механизм действия ближней инфракрасной светотерапии (НИЛТ) на мозг.

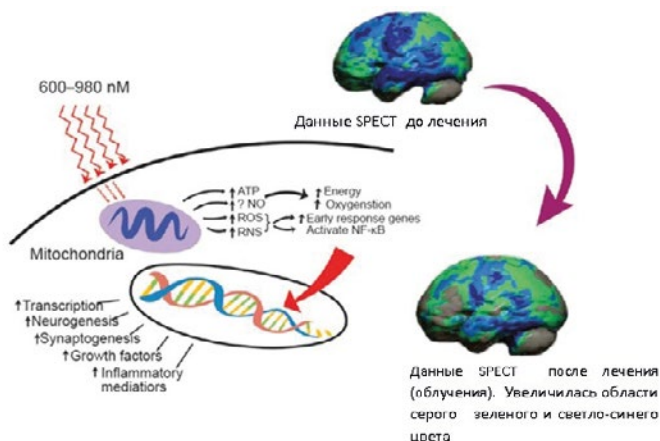


Рис. 2.51. Гипотетический механизм действия ближней инфракрасной светотерапии (НИЛТ) на мозг конкретного пациента, а также представлены данные однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (SPECT)

Данные сканирования SPECT (однофотонная эмиссионная компьютерная томография) были обработаны, и создана карта статистически значимых отличий от нормативной базы данных с использованием программного обеспечения Oasis от Segami, Inc. Цветовая шкала указывает на серый цвет для областей, которые существенно не отличаются от нормативной базы данных. Напротив, области зеленого, светло-синего и темно-синего представляют области более, чем на 2, 3 и 4 SD ниже средней перфузии нормативной базы данных соответственно. Перфузия – в медицине и физиологии прохождение жидкости (в частности, крови) через ткань либо искусственное пропускание через ткани какого-либо раствора.

Статистически значимое увеличение перфузии иллюстрируется красной цветовой шкалой, невидимой на карте мозга этого пациента.

Помимо увеличения выработки аденозинтрифосфата (АТФ), NIT может модулировать активные формы кислорода, активировать репликацию митохондриальной ДНК, увеличивать гены раннего ответа, увеличивать экспрессию факторов роста, индуцировать синаптогенез и стимулировать пролиферацию клеток [2.142–2.144].

Мозг страдает от множества различных расстройств, которые можно разделить на три широкие группы: травматические события (инсульт, черепно-мозговая травма и глобальная ишемия), дегенеративные заболевания (деменция, болезнь Альцгеймера и Паркинсона) и психические расстройства (депрессия, беспокойство, посттравматическое и стрессовое расстройство). Есть некоторые свидетельства того, что все эти, казалось бы, разнообразные состояния могут быть благотворно затронуты путем воздействия светом на голову. Существует даже вероятность того, что РВМ можно было бы использовать для улучшения когнитивных функций у нормальных здоровых людей. В этом применении транскраниальной РВМ (tРВМ) ближний инфракрасный (NIR) свет часто направляется на лоб из-за лучшего проникновения (без волос, с большей длиной волны). Некоторые работники использовали лазеры, но в последнее время внедрение недорогих светодиодных матриц (LED) позволило разработать светоизлучающие шлемы, или «мозговые шапки». В этом обзоре будут рассмотрены механизмы действия фотобиомодуляции на мозг, а также кратко изложены некоторые ключевые доклинические исследования и клинические испытания, проведенные для различных заболеваний головного мозга. Общий механизм воздействия приведен на рис. 2.52.

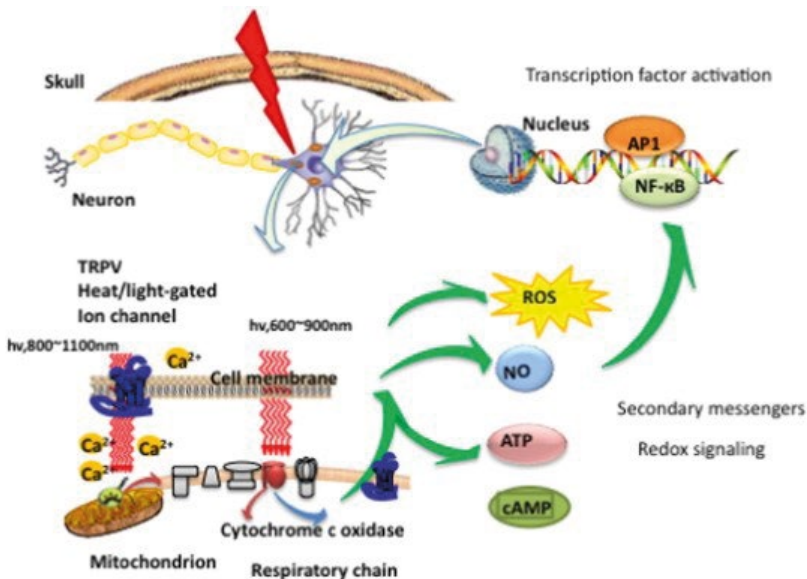


Рис. 2.52. Молекулярные и внутриклеточные механизмы транскраниального низкоуровневого лазерного излучения

Многие исследователи считают, что ПБМ для мозговых расстройств станет одним из наиболее важных медицинских применений световой терапии в ближайшие годы и десятилетия. Несмотря на усилия Big Pharma, рецептурные препараты для лечения психических расстройств обычно не рассматриваются очень высоко (ни медицинской профессией, ни общественностью), и многие из этих препаратов работают немного лучше, чем плацебо в различных исследованиях, и, кроме того, могут также иметь серьезные побочные эффекты. Кроме того, хорошо известно, что с общим старением населения в целом, вместе с постоянно удлиняющейся продолжительностью жизни, деменция, болезни Альцгеймера и Паркинсона станут глобальной проблемой здравоохранения. Даже после многих лет исследований ни один препарат еще не был разработан, чтобы помочь этим нейродегенеративным расстройствам. Аналогичное состояние существует с препаратами для инсульта (за исключением ферментов, разрушающих сгусток) и ЧМТ. Вполне могут появиться новые показания к таким заболеваниям, как глобальная ишемия (повреждение головного мозга после сердечного приступа), послеоперационная когнитивная дисфункция и расстройства аутистического спектра. Будет доступен широкий спектр мозговых расстройств и заболеваний, которые в конечном итоге могут лечиться с помощью какого-либо tPBM, будь то офисная/клиническая процедура или устройство для домашнего использования. Если недорогие шлемы Сид успешно выйдут на рынок как прибор для домашней пользы, то потенциально можно помочь большому количеству пациентов (не говоря уже о здоровых индивидуалах). Конечно, появление интернета значительно облегчило распространение знаний об этом виде домашнего лечения (почти из уст в уста, так сказать).

Эректильная дисфункция (ЭД) является весьма распространенной проблемой, затрагивающей практически каждого мужчину в тот или иной момент. Это оказывает глубокое влияние на настроение, чувство собственного достоинства и качество жизни, приводя к беспокойству и/или депрессии. Хотя ЭД традиционно связана с пожилыми мужчинами и проблемами со здоровьем, частота ЭД быстро растет и стала распространенной проблемой даже у молодых мужчин. Может ли красный свет быть полезным для решения этой проблемы? [2.145]

Упомянутый выше в качестве метаболического ингибитора NO фактически не оказывает различных других эффектов на организм, включая вазодилатацию. Он производится из аргинина (аминокислоты) в нашем рационе с помощью фермента под названием NOS. Проблема со слишком большим устойчивым NO (от стресса/воспаления, загрязнителей окружающей среды, диет с высоким содержанием аргинина, добавок) заключается в том, что он может связываться с дыхательными ферментами в наших митохондриях, предотвращая использование ими кислорода. Этот ядовитый эффект не позволяет клеткам вырабатывать энергию и выполнять основные функции. Основная теория, объясняющая светотерапию, заключается в том, что красный/инфракрасный свет может быть способен фотодиссоциировать NO из этого положения, потенциально позволяя митохондриям снова нормально функционировать (см. рис. 2.53).

Он играет роль в реакциях раскрытия/возбуждения (механизм которого аналогичен действию таких лекарств как виагра). В частности, NO реагирует с гуанилилциклазой, которая затем увеличивает производство цГМФ. Этот цГМФ ведет к вазодилатации (и, соответственно, эрекции) через несколько механизмов. Конечно, весь этот процесс не произойдет, если NO связан с дыхательными ферментами, и поэтому правильно примененный красный свет потенциально смещает NO из вредного эффекта в эффект про-эрекции.

Удаление NO из митохондрий с помощью таких вещей, как красный свет, также является ключом к увеличению митохондриальной продукции CO₂ снова. Как упоминалось выше, увеличение CO₂ поможет производить больше NO, когда вам это нужно. Так что это похоже на добродетельный круг или петлю положительной обратной связи. NO блокировал аэробное дыхание – после освобождения нормальный энергетический обмен может продолжаться и способствовать успешному лечению ЭД.

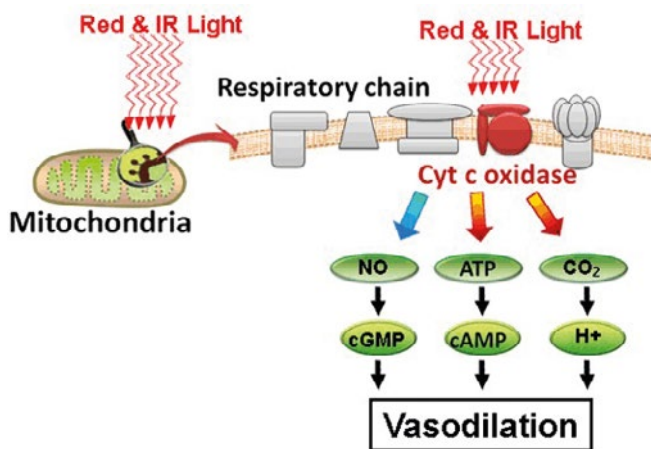


Рис. 2.53. Механизмы, с помощью которых красный/ИК свет может вызвать расширение сосудов

2.7.2. Свет и биоритмы головного мозга

Проблема «светодиодный белый свет – ганглиозные клетки (меланопсин) – синтез гормонов (мелатонина) – биоритмы головного мозга» привлекает все больший круг специалистов, как разработчиков светодиодных технологий, так и специалистов медицинских организаций. Размеры зрачка изменяются в зависимости от ряда факторов, и свой вклад в его размер вносит психоэмоциональное состояние человека, которое зависит от биоритмов головного мозга.

В России специалисты Психоневрологического научно-исследовательского института им. В.М. Бехтерева, АНО «Институт экспериментальной и прикладной физиологии», Учреждения Российской академии наук Научно-технологический центр микроэлектроники и субмикронных гетероструктур РАН провели исследования по влиянию воздействия белого света от светодиодных источников излучения (изготовленные по RGB-технологии) с варьируемой цветовой температуры от 1700 К до 10000 К на элек-

троэнцефалограмму (ЭЭГ) мозга человека. Для спектра света RGB-технологии характерен выброс синего 460 нм и провал голубого 480 нм. В ходе спектрального анализа ЭЭГ выявлено следующее:

- возрастание спектральной мощности альфа-ритма более чем на 50% и тета-ритма более чем на 25% от фоновых значений в диапазоне от 1700 К до 3800 К и в диапазоне от 7000 К до 10000 К. При этом специалисты оценивают воздействие как релаксирующее;

- спектры в диапазоне альфа-, тета- и дельта-ритмов значимо не менялись при освещенности с цветовой температурой 3800 К, 4800 К, 7000 К, а спектральные характеристики бета-ритма оставались практически неизменными на всех пробах (2.146).

Было показано, что коротковолновая световая экспозиция голубого света 480 нм влияет на динамику процессов, протекающих в мозгу человека. При облучении испытуемых голубым светом 480 нм зафиксированы нейрофизиологические ответы по ритмам ЭЭГ – десинхронизации бета-2- и гамма – диапазонов ЭЭГ и последующая синхронизация бета 2-ритма.

В таблице 2.5 приведены сводные данные проведенных исследований.

Таблица 2.5

Режимы работы мозга при облучении различными светодиодами

Параметр	Режимы работы мозга (биологические ритмы)				
	Дельта (Δ)	Тета (Θ)	Альфа (α)	Бетта (β)	Гамма (γ)
Частота колебаний, Гц	0,5-4	4-8	8-12	12-38	38-70 (100)
Характеристика состояния	Эмпатия, уход в подсознание и уменьшенное чувство осознания	Расслабленное состояние, эмоциональное состояние, мечтательность, сон	Расслабленное состояние	Повседневная активность	Повышенный уровень сострадания и чувство счастья
Полушарие	Правое	Правое	Правое (или Левое + Правое)	Левое	Левое
*Источник: www.newtomorrow.ru					
Облучение RGB источником белого света, в спектре которого провал 480 нм			Облучение источником света при максимуме 480 нм		

Метод ЭЭГ может помочь в диагностике синдрома дефицита внимания и гиперактивности, фобий, страхов, тревоги, хронической усталости, болезни Альцгеймера. При этом хочется отметить факт, что проявление болезни Альцгеймера коррелирует с уменьшением количества ганглиозных клеток в сетчатке глаза человека из-за их гибели. Ганглиозные клетки на сетчатке не защищены от избыточной дозы синего света [2.147, 2.148].

Проблема влияния на биоритмы мозга человека искусственного освещения нуждается в дальнейших исследованиях по выявлению эффектов в правом и левом полушариях мозга человека, который формировался в солнечной световой среде.

Из вышесказанного следует, что для человека базовым является спектр и гигиенически безопасная интенсивность солнечного света, при котором формировалась матрица адекватных управляющих сигналов для зрительного анализатора, его гормональной системы и процессов, протекающих в его мозгу.

В работе В.К. Мин с соавторами [2.149] было показано, что яркое освещение снижает альфа-активность теменной ЭЭГ во время задачи постоянного внимания.

Влияние условий освещения на нашу когнитивную деятельность представляется более критичным в современной жизни, когда большинство людей работают в офисе в определенных условиях освещения. Однако нейрофизиологические изменения в определенном состоянии освещения и их когнитивная интерпретация все еще остаются неясными. Во время выполнения задачи постоянного внимания авторы отмечали, что более высокие условия освещения приводили к значительно более низкой альфа-активности электроэнцефалограммы (ЭЭГ) перед представлением разряда зонда и более длительному времени реакции, чем в других условиях освещения. Хотя в предыдущих исследованиях предполагалось, что более низкая альфа-активность предстимульной ЭЭГ связана с более высокой производительностью в предстоящей задаче, снижение активности альфа-предстимуловой при более высоком освещении было связано с задержкой времени реакции. Предположительно, условия с более высоким фоновым освещением кажутся слишком яркими для нормальной обработки внимания и отвлекают внимание участников во время задачи постоянного внимания. Такой эффект «снизу вверх», вызванный значимостью стимула, по-видимому, подавлял эффект «сверху вниз» для стимула, отраженный в мощности альфа-стимула в условиях яркого фона. Этот вывод может подразумевать динамичную конкуренцию между процессами, направленными сверху вниз и постстимулом снизу вверх. Дальнейшее уточнение параметров освещения и последующее исследование когнитивной модуляции необходимы для облегчения нашей когнитивной деятельности.

Влияние условий освещения на нашу работу кажется более критичным в современной жизни, когда большинство людей работают в офисе при определенных условиях освещения, **в то же время, блокируя естественный солнечный свет**. Например, количество умственной нагрузки в помещении должно быть восприимчиво к условиям освещения, которые нас окружают. Однако нейрофизиологические изменения в определенном состоянии освещения и их когнитивная интерпретация все еще **остаются неясными**, хотя есть несколько предыдущих исследований взаимосвязи между освещением и электроэнцефалограммной (ЭЭГ) активностью. Большая часть существующей литературы об условиях освещения окружающей среды и ЭЭГ сфокусирована на основных физиологических состояниях (например, альфа-ритм модуляции с помощью яркости стимула, снижение эффекта физиологической активности с помощью освещенности и цветовой температуры) и меньше сосредоточена на когнитивных процессах.

Освещенность – это мера интенсивности падающего света, а цветовая температура источника света – это абсолютная температура идеального излучателя черного тела, цветность которого наиболее близка к цветности источника света.

Среди множества когнитивных задач для данного исследования была выбрана задача внимания, поскольку внимание является одной из наиболее фундаментальных особенностей, связанных с нашей когнитивной деятельностью в повседневной жизни, а дефицит внимания связан с различными психическими расстройствами, такими как СДВГ (синдром дефицита внимания/гиперактивности) и шизофрения.

На рис. 2.54 приведена общая схема условий проведения исследования.

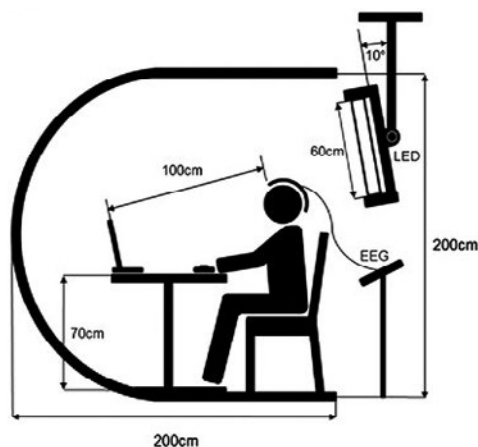


Рис. 2.54. Принципиальная схема экспериментальной установки в куполе Ганцфельда

В качестве источника освещения была использована пластина размером $60 \times 60 \text{ см}^2$, в которой были установлены светодиодные матрицы 14×14 ; этот источник был расположен чуть выше и позади участника с углом наклона 10° к вертикальной линии, как показано на рис. 2.54. Чтобы сделать освещение как можно более однородным по всему участнику, настоящий эксперимент проводился внутри светоотражающей структуры в форме капсулы, называемой «куполом Ганцфельда», диаметром 2 м. Четыре различных условия освещения были обеспечены факторной конструкцией 2 цветовых температур (3000 К и 7100 К) с 2 уровнями освещенности (150 лк и 700 лк).

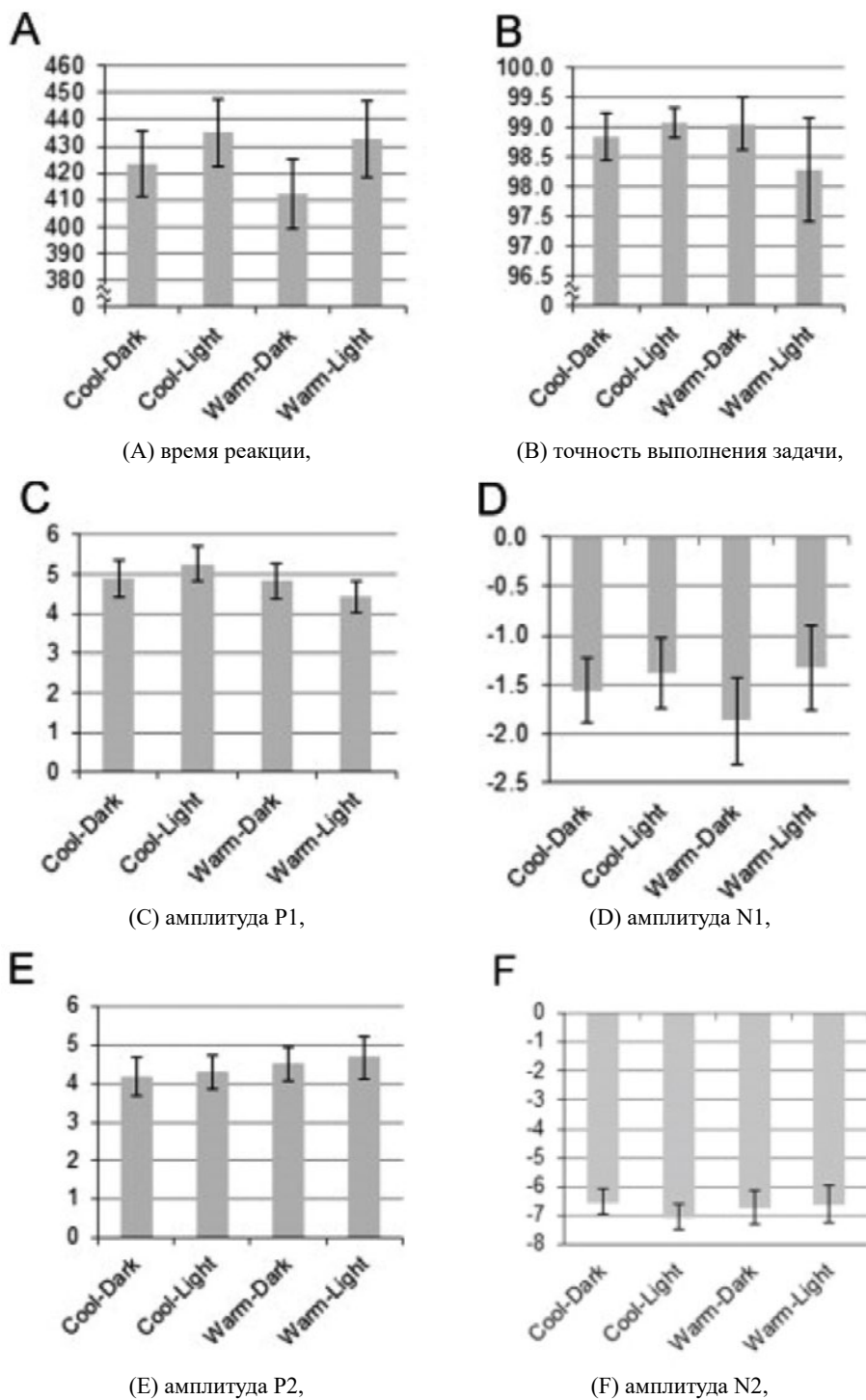
Более высокие цветовые температуры приводят к голубоватому свету, который считался прохладным освещением; в то время как более низкие цветовые температуры дают желтоватый или красноватый свет, который считался теплым освещением. Эти параметры освещения были выбраны на основе кривой Круитхофа (Kruithof, 1941).

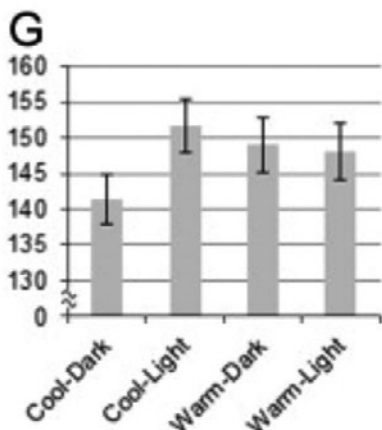
Согласно общей схеме испытуемый находился за столом, на котором размещался монитор, а светодиодная осветительная установка располагалась за его спиной.

Участникам настоящего исследования было дано указание реагировать, нажимая кнопку одной рукой, когда появляется цифра «0», и противоположной рукой, если была представлена одна из оставшихся однозначных цифр (1–9). Однозначный номер, произвольно взятый из серии однозначных цифр (0–9), был представлен (по одному) на мониторе дисплея в течение 1500 мс. Участники должны были нажать кнопку как можно быстрее. Чтобы повысить мотивацию участников для эффективного выполнения задачи, результаты обратной связи для выполнения задачи (то есть правильные или неправильные) были представлены автоматически после каждого стимула. Во время работы СРТ ЭЭГ измеряли с использованием усилителя NuAmp (Neuroscan, США) с 40 электродами Ag/AgCl, расположение которых соответствовало международной системе 10–10.

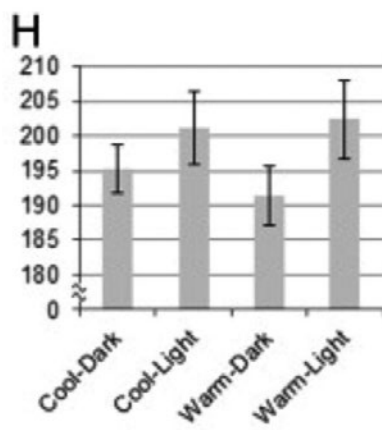
В ходе исследований у испытуемого снимали электроэнцефалограммы (ЭЭГ) при разном освещении и цветовой температуре.

Рис. 2.55. Влияние условий освещения (холодная темнота, холодная светлая, теплая темная и теплый свет) на

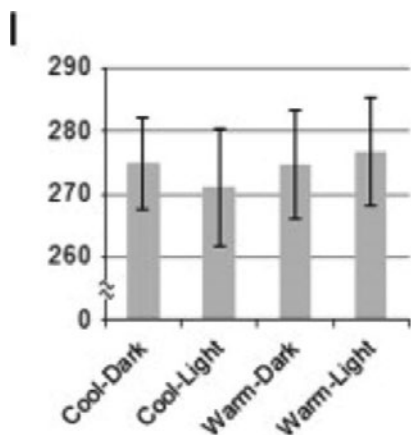




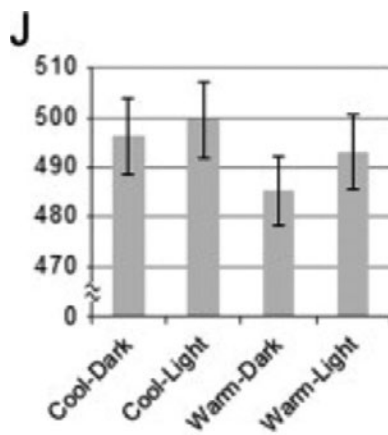
латентность (G) P1,



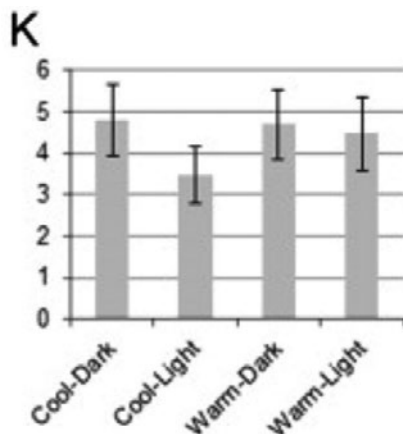
латентность (H) N1,



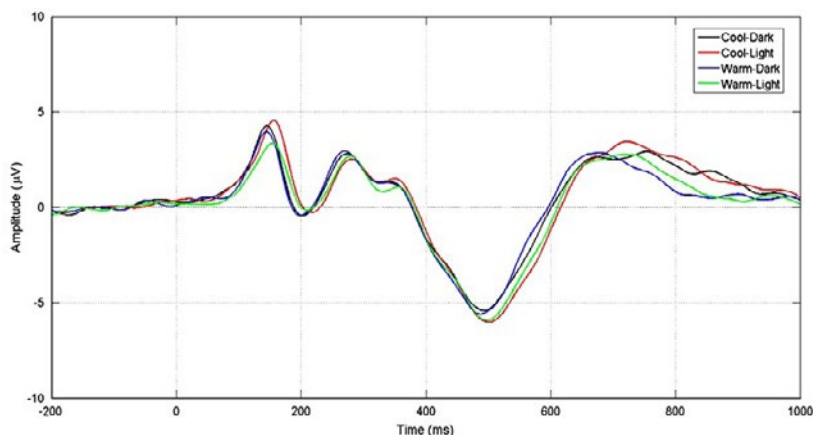
латентность (I) P2,



латентность (J) N2,



и (K) альфа-мощность ЭЭГ. Показаны значения и стандартные ошибки.



(L) Усредненные ERP на электроде Pz (черная линия: холодная темнота, красная линия: холодный свет, синяя линия: теплая темнота, и зеленая линия: теплый свет)

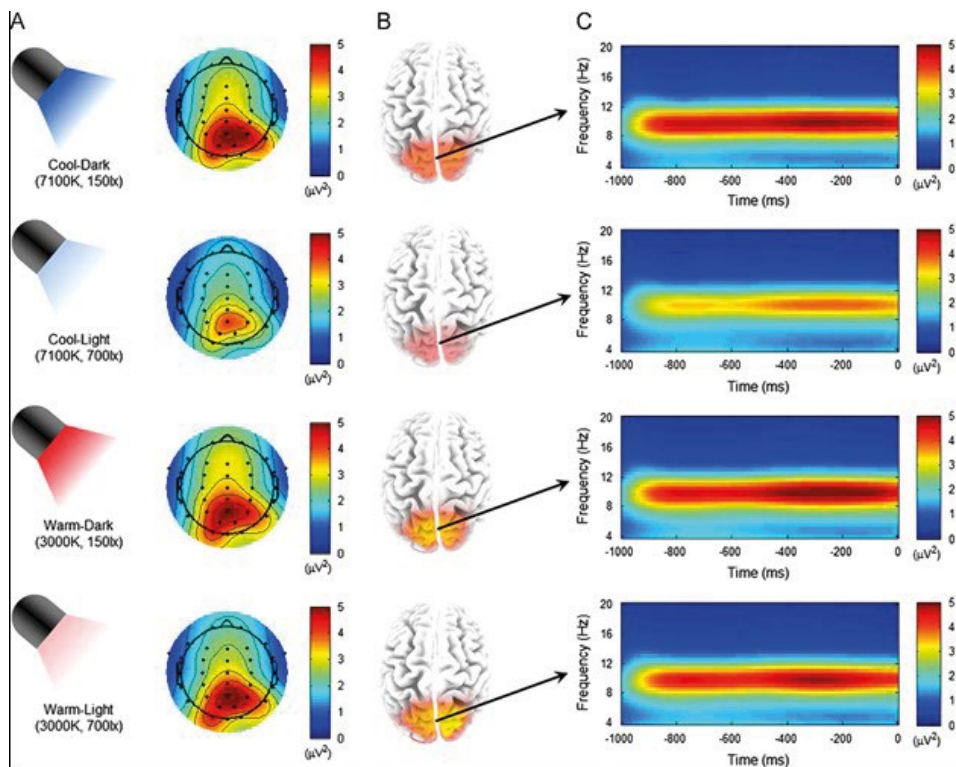


Рис. 2.56. (A) Двумерное распределение кожи головы (вид сверху), (B) трехмерное распределение кожи головы с помощью sLORETA (вид сверху) и (C) его частотно-временное представление электрода Pz относительно 4 условий освещения

Полученные результаты предоставляют убедительные доказательства того, что *состояние освещения существенно модулирует обработку внимания*.

В статьях (2.150, 2.151) указывается, что разработка оптимальных режимов освещения и научное обоснование возможности их продолжительного применения в замкнутых объектах представляет собой важную практическую задачу не только для космической отрасли, но и для других сфер человеческой деятельности.

Сегодня хорошо известно, что одним из важнейших факторов обитаемости, способным привести к развитию различных патологических состояний, сопровождающихся снижением работоспособности, является неадекватное освещение (2.152).

Поскольку в спектре излучения современных белых светодиодов преобладает синий компонент (440–460 нм), имеющий наибольшую фотохимическую активность в отношении ретиального пигментного эпителия, многие исследователи указывают на высокую потенциальную опасность светодиодов (2.153). Подавляющее большинство литературных данных, указывающих на потенциальную фотохимическую опасность светодиодного освещения, опираются на результаты опытов с животными [2.154].

Так, исследования, выполненные на японских перепелах (*Coturnix japonica*), показали, что под действием света синих светодиодов происходят изменения в сосудистой оболочке глаза, а также фотоиндуцированные изменения субклеточных структур ретиального пигментного эпителия. В данных исследованиях также было показано, что умеренное синее светодиодное освещение (440–460 нм) вызывает у молодых животных 1,5-кратную перегрузку метаболизма сетчатки (по сравнению с лампами накаливания), приводящую к ее ускоренному старению и снижению функциональной активности структур гематоретиального барьера.

Результаты данных исследований подтверждают гипотезу о том, что синне-голубая часть спектра обладает более выраженной способностью вызывать фотохимическое повреждение сетчатки, чем желто-зеленая и красная часть.

Однако ряд зарубежных (SCHEER, 2017) и отечественных экспертов [2.155] считают, что результаты экспериментов на животных не могут быть напрямую экстраполированы на человека из-за выраженных морфофункциональных различий их зрительного анализатора от человеческого, а также из-за несоответствия лабораторных условий естественной световой среде обитания людей.

Эксперименты с участием человека немногочисленны, и они связаны с исследованиями уровней мелатонина в ночное время. Первыми вопрос о сертификации светодиодных светильников подняло руководство **ИЦНИИ МО РФ**, но поставить такую работу в 2007 г. за средства МО РФ не удалось, а военное ведомство США такую работу поставили в 2008 г. по теме: SB082–055 (DARPA) A Spectrally Dynamic Berth Light for Active Circadian Cycle Management – «Спектрально-динамический свет причала для активного управления суточным циклом». Стоимость работы \$98990,00. Эти исследования четко показали, что под воздействием синей части спектра света значительно на короткий срок меняется работоспособность личного состава объекта ВМФ (2.156, 2.157).

Для ВМФ США светодиодные светильники разрабатывает фирма Energy Focus, которая получила контракт на \$1,6 млн. Ведущий специалист Roger

Buelow, Energy Focus, отметил: «Повторное исследование DARPA выявило развитие суточного ритма под влиянием улучшения освещения для военно-морского флота. Эти источники света регулируют их *спектр* в течение дня для улучшения сна и производительности. В армии это особенно важно для бойцов, чьи обязанности включают 24-часовую оперативную готовность» [2.158].

Одной из последних работ, посвященных влиянию светодиодов на психическую работоспособность оператора, привлекая наш интерес, была диссертация А. Е. Смолеевского, сотрудника ИМБП РАН. Исследования выполнялись на базе ГНЦ РФ-ИМБП РАН в период 2014–2015 гг. и являлось частью многолетней комплексной программы экспериментальных исследований «Гермокамерные испытания светодиодных светильников для космических летательных аппаратов с оценкой психофизиологических эффектов их использования». Исследование выполнялось на связанных выборках, состоящих из здоровых добровольцев мужчин, и проводилось в 2 этапа – при постоянном и динамическом освещении в течение 12 суток.

Фоновые значения показателей психической работоспособности и психоэмоционального состояния оценивались в условиях люминесцентного освещения с цветностью 4000 К («нейтрально белый» свет). Лампы располагались в камере ограниченного объема таким образом, чтобы создаваемые ими уровни освещенности соответствовали требованиям [ГОСТ Р 50804–95 «Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Общие медико-технические требования»] и были сопоставимы по значению с уровнями освещенности 200 лкс, создаваемыми экспериментальными светодиодными светильниками. Оценка «эффектов последствия» светодиодного света также производилась в условиях люминесцентного освещения.

На первом этапе оценивались психофизиологические эффекты постоянного светодиодного освещения, создаваемого бортовыми светильниками ССД301, ССД305 и ССД307. Светильники ССД301 были установлены в туалетах и переходном отсеке, светильники ССД305 и ССД307 – в жилом и лечебном отсеках. Коррелированная цветовая температура (КЦТ) системы освещения составляла 4000 К, а уровень освещенности – 200 лкс. Поскольку спектрально-энергетические характеристики светильников ССД311 во время работы изменялись в широком диапазоне, психическая работоспособность операторов оценивалась при двух значениях КЦТ: $4000\text{--}5000\text{ К}$ и $8000\pm 800\text{ К}$.

К сожалению, в работе не были приведены спектрально-энергетические характеристики светодиодных светильников ССД301, ССД305, ССД307 и ССД311, а представлены только типы светодиодов, примененные в светильниках фирм CREE и Seoul Semiconductor. Для гигиенической оценки спектральной характеристики примененных светильников мы приводим спектры на светодиоды фирмы CREE (рис. 2.57).

Можно предположить, что спектры примененных светодиодных светильников мало отличались от спектров светодиодов вышеуказанных фирм, если разработчик указанных светильников ЗАО НПЦ «НИИ Микроприборов» не применял специальных мер по корректировке спектров.

Из представленного спектра светодиодов фирмы CREE на рис. 2.57 видно следующее:

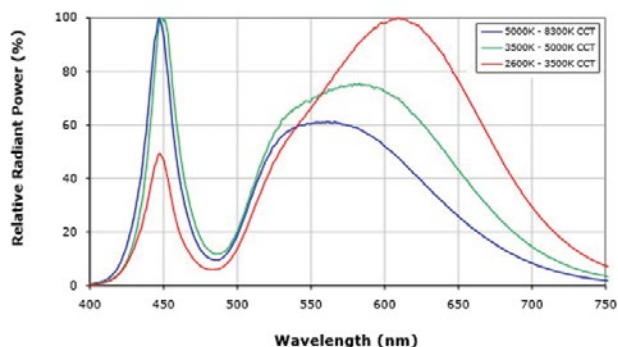


Рис. 2.57. Спектры светодиодов фирмы Cree

- спектр имеет повышенную дозу синего света по сравнению с гигиенически безопасным солнечным светом при том же уровне освещенности;
- в спектре максимум приходится на дозу синего света 450 нм – воздействие на сетчатку (на синапсы дендритного поля ганглиозных клеток зрительного канала сетчатки);
- уровень дозы синего света, воздействующий на ганглиозные клетки глаза, находится на уровне 60% от максимального значения синего 450 нм – не очень выраженное воздействие на гормональную систему (уровня мелатонина, кортизола) и комфортность сна;
- исходя из физиологии глаза первыми воспринимают синий свет ганглиозные клетки и их дендритное поле. Избыточная доза синего света влияет на работоспособность ганглиозных клеток, которые воспринимают сигналы других фоточувствительных клеток сетчатки, которые реагируют на световые стимулы;
- в спектре есть четкий провал 480 нм. Фотонный поток голубого света 480 нм отвечает за управление диаметром зрачка глаза и его удержание в закрытом состоянии. Расширенный зрачок при светодиодном свете не ограничивает световой поток с избыточной дозой синего света.

В статье [2.159] для светодиодов, спектр которых приведен на рис. 2.57, была установлена зависимость диаметра зрачка от яркости (рис. 2.58).

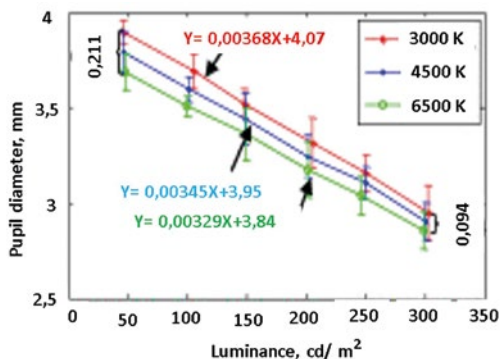


Рис. 2.58. Зависимость диаметра зрачка глаза от яркости (2.159)

При общей освещенности 200 люкс уровень яркости от белого листа бумаги будет менее чем $100\text{cd}/\text{m}^2$. Это значит, что диаметр зрачка глаза будет расширен более 3,5 мм.

При таких уровнях освещенности и спектрах излучения можно предположить наличие повышенного риска «эффектов последствия» при работе аккомодационного аппарата, стохастические эффекты при работе клеток сетчатки и психические изменения в состоянии человека, вызванные повышенной дозой синего света (от 4500 К до 8000 ± 800 К).

В таблице 2.6 представлена обобщенная информация данных о психическом состоянии операторов в условиях светодиодного освещения при различных режимах работы освещения. Работа проводилась по методике «Профиль настроения» – российский аналог вопросника Profile of mood states, широко применяемый в изоляционных и космических экспериментах.

Таблица 2.6

Данные о психическом состоянии операторов в условиях светодиодного освещения

Шкала показателей	Кол-во операторов, у которых изменились значения показателей (усл. ед.) по сравнению с фоном (в условиях освещения люминесцентных ламп)	
	Психическая работоспособность в условиях светодиодного освещения с постоянными спектрально-энергетическими характеристиками (постоянного светодиодного освещения – 4000 К)	Профиль настроения человека-оператора в условиях светодиодного освещения с варьируемыми во времени спектрально-энергетическими характеристиками (динамического светодиодного освещения – 4000–5000 К и 8000 ± 800 К)
«Гнев – враждебность»	у 2 показатель повысился на 3 усл. ед. у 3 операторов снизился на 2–4 усл. ед. у 5 остался без изменений	у 5 операторов показатель возрос на 10–20 усл. ед. (в 2–3 раза) у 2 снизился на 2–3 усл. ед. у одного остался без изменений
«Депрессия – уныние»	у 2 операторов снизился на 1–3 усл. ед. у 2 повысился на 1–3 усл. ед. у 6 остался без изменений	у 2 операторов снизился на 3–6 усл. ед. у 3 повысился на 1–3 усл. ед. у 3 остался без изменений
«Усталость – инертность»	у 4 повысился на 2–9 усл. ед. у 4 операторов снизился на 1–3 усл. ед. у 2 остался без изменений	у 3 повысился на 2–9 усл. ед. у 3 операторов снизился на 2–4 усл. ед. у 2 остался без изменений
«Бодрость – активность»	у 6 операторов снизился на 2–8 усл. ед. у 3 повысился на 1–6 усл. ед. у 1 остался без изменений	у 3 операторов снизился на 2–8 усл. ед. у 2 повысился на 2–5 усл. ед. у 3 остался без изменений
«Напряженность – беспокойство»	у 4 операторов увеличился на 1–4 усл. ед. у 4 снизился на 1–7 усл. ед. у 2 остался без изменений	у 4 операторов увеличился на 5–12 усл. ед. у 2 снизился на 1–3 усл. ед. у 2 остался без изменений
«Растерянность – замешательство»	у 1 повысился на 3 усл. ед. у 5 операторов снизился на 1–2 усл. ед. у 4 остался без изменений	у 4 операторов возрос на 1–10 усл. ед. у 3 снизился на 1–2 усл. ед. у 1 остался без изменений
Интегральный показатель настроения – «Общее изменение настроения»	у 5 операторов вырос на 5–25% у 4 операторов снизился на 15–20% у 1 остался без изменений	у 5 операторов вырос на 30–230% у 3 снизился на 5–30% Операторов без изменений нет.

Как видно из таблицы, светодиодное освещение значительно влияло на психическое состояние некоторых операторов, что может вызвать негативные последствия в малых коллективах в замкнутых пространствах. Понимание этого вывода очень важно для сохранения доброжелательной атмосферы среди лиц, выполняющих ответственное задание в тяжелых условиях Севера или гермообъектов.

По результатам проведенных исследований автором работы было отмечено снижение отдельных функциональных показателей:

запаса относительной аккомодации (на 14,3% по медиане);

суммарной границы поля зрения на синий и зеленый цвета (на 6,3 и 9,1% по медиане соответственно) без развития субъективной симптоматики. Однако у 25% операторов после пребывания в светодиодной световой среде произошло уменьшение показателя КЧСМ (у оператора 3 – на 4 единицы (до 42/42 после 38/38), у оператора 6 – на 3 единицы (до 45/45 после 42/42).

Электрофизиологические исследования прочно вошли в арсенал диагностических методов в офтальмологии. Они помогают выявить наличие внутриглазной патологии и дифференцировать ее уровень (сетчатка или зрительный нерв) даже при непрозрачности глазных сред. Такие методы, как электроретинография (ЭРГ) и зрительные вызванные корковые потенциалы (ЗВКП), обладают еще одним преимуществом – объективностью. Результаты исследований совершенно не зависят от показаний пациентов, что позволяет оценить состояние зрительного анализатора в случаях агравации и симуляции, а также у детей раннего возраста [2.160].

Исследование паттерна ЭРГ (ПЭРГ), характеризующего функцию макулярной области (P50) и ганглиозных клеток сетчатки (N95) [2.161], является наиболее чувствительным тестом для определения функции ганглиозных клеток. При ПОУГ первично поражаются ганглиозные клетки [2.162]. В этой работе приведены оценка значений показателей (P50) и (N95) у пациентов с начальной глаукомой. Исследование выполнено на базе консультативной поликлиники ГАУЗ РКОБ МЗ РТ. В исследовании участвовали 21 пациент (41 глаз) с ПОУГ. Обобщенные результаты первых измерений приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7

Значения показателей (P50) и (N95) у пациентов с начальной глаукомой

Параметры ПЭРГ	До лечения пациента
Латентность P (50) мс	74+-3,3
Латентность №95 мс	118+- 4,2

Форма отклика сигнала ПЭРГ стандартизована ISCTV (International Society for Clinical Electrophysiology of Vision) <https://iscev.wildapricot.org/standards/>. Стандартный вид отклика приведен на рис. 2.59 [2.163], на котором нанесены уровни P (50) и №95 для начальной стадии глаукомы [2.162].

Стандартная форма отклика содержит два основных компонента, положительный примерно 50 мс (P50) и больший отрицательный примерно в 95 мс (N95) [2.164].

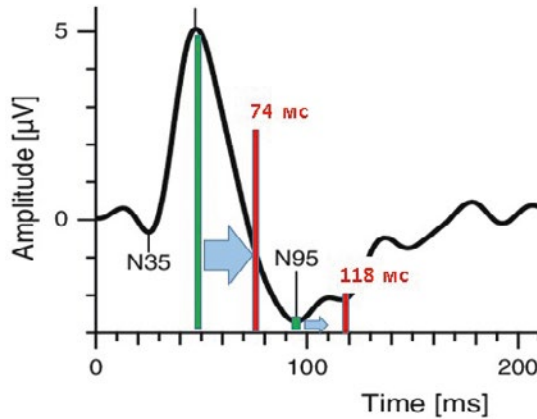


Рис. 2.59. Стандартная форма отклика (16) с нанесенными значениями P (50) и №95, **характерными для начальной формы глаукомы**

В работе [2.165] приведены нормальные отклик ПЭРГ (рис. 2.60).

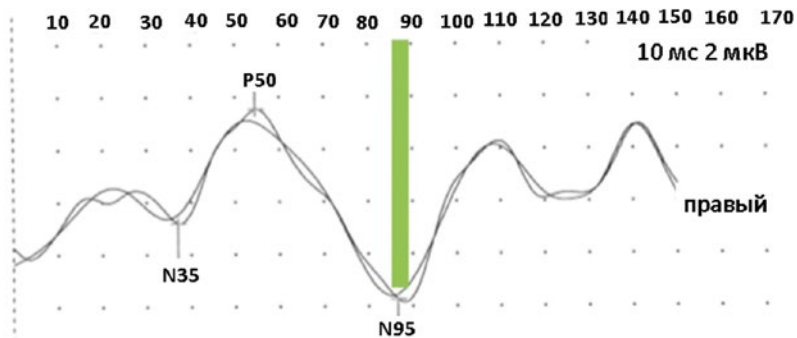


Рис. 2.60. Паттерн ЭРГ в норме

Данная форма отклика содержит два основных компонента, положительный примерно 50–55мс (P50) и большой отрицательный примерно в 85–90 мс (N95).

В нашем случае наиболее информативным является параметр латентности. Обращает на себя внимание, что запас по латентности стандартного ПЭРГ показателя №95 очень маленький и равен 23 мс, что соизмеримо для показателя P (50) – 24 мс. Эти запасы должны быть израсходованы за годы жизни пациентов.

В таблице 2.8 приведены обобщенные результаты исследования ПЭРГ, приведенные в работе [2.152].

Из представленных данных видно, что при светодиодном освещении с цветовой температурой более 4000 К, но менее 8800 К, по показателю №95 время латентности увеличивалось от 2 мс до 19–28 мс. Этот «эффект последействия» сохранялся до измерений, которые проводили специалисты Отдела клинической физиологии зрения им. С. В. Кравкова ФГБУ «Московского НИИ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России.

Таблица 2.8

Показатели времени латентности испытуемых

Оператор	Глаз	Порядок воздействия	Размер ячеек 0,8 °		Размер ячеек 0,3 °	
			P50 T (мс)	№95 T (мс)	P50 T (мс)	№95 T (мс)
1	правый глаз	до	48,3	81,7	55,7	98,3
		после	53,9	101,4	55,7	105,7
	левый глаз	до	52,8	96,5	50,4	95,5
		после	52,1	108,1	55,3	105,3
2	правый глаз	до	50,4	88,4	50	92,3
		после	50,4	108,1	58,1	111,8
	левый глаз	до	51,1	87,7	54,6	92,6
		после	50,7	108,1	56	98,3
3	правый глаз	до	53,9	108,5	54,2	97,9
		после	57,1	98,3	50	89,5
	левый глаз	до	52,5	89,8	54,6	96,9
		после	55,3	117,3	60	98,3
4	правый глаз	до	53,2	92,6	53,5	96,9
		после	52,5	108,8	53,9	98,3
	левый глаз	до	49,3	92,6	53,5	97,6
		после	52,1	104,6	51,4	87,7

Излучение биологического действия света на человека остается актуальной проблемой гигиены освещения. Экспериментально на клеточном, биологическом и психофизиологическом уровнях доказана биологическая *неадекватность* естественного и искусственного света равной интенсивности, которая сохраняется и при повышении уровня освещенности от искусственных источников света [2.166].

Это говорит о том, что следует провести более глубокие исследования по изучению устойчивой работы водородной, натриевой и хлорной АТФазы в схеме натрий-кальциевого, хлорного транспорта клетках (их дендритах и митохондриях) [2.167] в условиях воздействия избыточной дозы синего света 450 нм.

Изменение концентрации ионов приводит к изменению потоков воды через мембрану клетки и изменению ее pH [2.168]. На перенос указанных ионов значительно влияет свет, который воздействует на белки соответствующих рецепторов. В работах [2.169, 2.170] говорится, что классические оптогенетические инструменты – *галородопсин*, *археародопсин* и *канальный родопсин* (рис. 2.61). используются для деактивации нейронов, они блокируют передачу нервного импульса. Под действием света галородопсин переносит отрицательно заряженные ионы хлора внутрь клетки, тем самым вызывая гиперполяризацию нейрона. Археародопсин выкачивает протоны (положительные заряды) из клетки, это, естественно, также гиперполяризует нейрон.

И галородопсин, и археародопсин – это так называемые насосы, помпы. Если вокруг есть нужный им ион (а он есть почти всегда), то поглотив квант света, эти белки активно перенесут ион с одной стороны мембраны на другую.

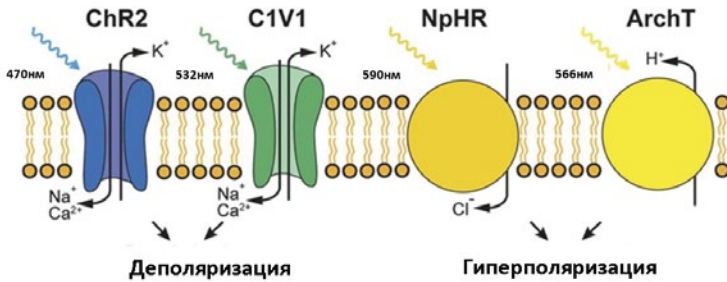


Рис. 2.61. Принципы работы классических оптогенетических инструментов: канального родопсина, галородопсина и протонного насоса (археародопсина)

Синий свет 470 нм стимулирует белок ChR2 для переноса ионов Na^+ и Ca^+ . При этом необходимо отметить, что хлор поглощает свет в области длины волн 250–450 нм [2.171].

Ионы хлора совместно с ГАМК выступают тормозящим агентом проводимости нейронов.

Глутаминовая кислота (Glu) – главный возбуждающий медиатор (около 40% всех нейронов). Гамма-аминомасляная кислота (GABA) Gamma-Amino Butyric acid (GABA) – главный тормозный медиатор (также около 40% всех нейронов). Нарушение этого баланса (как правило, в *сторону уменьшения торможения*) негативно влияет на многие нервные процессы. Нормальная деятельность ЦНС обеспечивается тонким балансом Glu и (GABA), которые являются нейромедиаторами в сетчатке глаза (рис. 2.62).

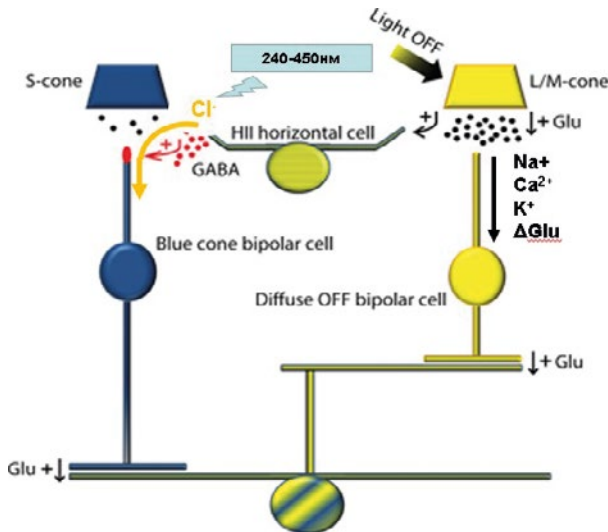
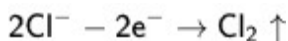


Рис. 2.62. Общая схема размещения синапсов между нейронами сетчатки [2.172], на которой нанесена схема переноса GABA и ионов хлора, а также Glu и ионов Na, Ca и K

При поглощении ионами хлора избыточной дозы синего света снижаются концентрации ионов хлора и, как следствие,



происходит понижение эффективности торможения возбуждения, и процесс отклика на возбуждающий стимул затягивается.

На мембранах нейронов и астроцитов функционируют ионные обменники, в физиологических условиях поддерживающие необходимый градиент концентраций химических веществ между внутриклеточным и межклеточным пространством (ионы калия K^+ и глутамата glu^- накапливаются внутри клетки, а ионы кальция Ca^{2+} , хлора Cl^- и натрия Na^+ – снаружи) [2.172, 2.173].

Количество астроцитов в 20 раз превышает количество нейронов. Астроциты участвуют в гормониндуцированных перестройках синапсов, выполняющих эндокринные функции [2.174].

Ученые Школы медицины Калифорнийского университета в Сан-Диего (University of California, San Diego School of Medicine), Школы медицины Университета Джонса Хопкинса (Johns Hopkins University School of Medicine) и Института Кеннеди Кригера (Kennedy Krieger Institute), продемонстрировав, что некоторые нейроны передают функцию утилизации ненужных им митохондрий – крошечных внутриклеточных энергетических станций – клеткам глии, известным как **астроциты**, сосредоточили свое внимание на аксонах ганглионарных клеток сетчатки – нейронов, передающих визуальную информацию от глаза к головному мозгу [2.175]. Исследования в этом направлении продолжаются.

Ионный состав внутри нейронов является важным фактором, определяющим функционирование мозга. Существует доказательство того, что аномальный гомеостаз клеточной концентрации Cl^- ($[\text{Cl}^-]_i$) вызывает, в дополнение к Na^+ и Ca_2^+ , *нарушения возбудимости нейронов* и нервной передачи и тем самым *неврологических состояний* [2.176–2.180].

Все нейродегенеративные заболевания объединяет несколько признаков: тенденция к прогрессированию с медленной потерей функций; селективная потеря определенных популяций нейронов в результате апоптоза; трансинаптическая дегенерация (первичная, вторичная); общие механизмы клеточной смерти – оксидативный стресс и **глутаматная токсичность**. Накопление «мусора» внутри клеток может быть причиной развития нейродегенеративных процессов. Клетки сетчатки глаз имеют поле дендритов, и можно предположить, что патология синапсов дендритов является одним из самых ранних признаков глаукомы. При этом ГКС с измененными дендритами показывают ослабленный ответ на зрительные стимулы, что подтверждает прямую связь дегенерации дендритов и зрительной дисфункции [2.181]. Синапсы являются наиболее уязвимым местом при дегенеративном процессе, приводящем к гибели клеток.

В отличие от электроэнцефалограммы, отражающей активность коры головного мозга, зрительные вызванные корковые потенциалы (ЗВКП) представляют собой суммарный ответ больших популяций нейронов коры на приходящий к ним синхронный поток импульсов, возникающий под воз-

действием афферентного раздражителя. Разность потенциалов, возникающая между вне- и внутриклеточной средой, регистрируемая на мембране нейрона, обусловлена разностью концентрации ионов Na^+ , K^+ и Cl^- в экстраклеточной среде и в протоплазме нейрона.

Автор работы [2.152] отмечал, что амплитуды ЗВКП (зрительные вызванные корковые потенциалы) после пребывания операторов в условиях динамического светодиодного освещения практически не изменялись, однако у всех участников эксперимента было обнаружено W-образное раздвоение пика P100 в ответ на стимулы с разными угловыми размерами. В литературных источниках подобные изменения морфологии ЗВКП у здоровых лиц, находившихся в условиях гермообъекта или подвергшихся воздействию динамического светодиодного освещения, не описаны, что затрудняет их оценку. Вероятно, данный результат можно рассматривать как свидетельство пограничного влияния динамического светодиодного освещения на функциональное состояние зрительного анализатора. Детальное изучение данного феномена и выяснение его связи с функциональной активностью сетчатки и головного мозга потребует более продолжительного исследования с участием большего количества волонтеров.

У пациента выявлено специфическое изменение ПЗВП (паттерновые зрительные вызванные потенциалы) в виде W-образного расщепления основного пика, характерного для макулярной патологии или аксиального поражения зрительного нерва. На основании патологического снижения амплитуды волн макулярной ЭРГ и сохранности амплитуд ЗВП выставлен диагноз «центральная колбочковая дистрофия обоих глаз», подтвержденный затем офтальмоскопически.

Проведенные автором [2.152] исследования показали, что применение светодиодного освещения на базе светодиодной технологии «синий кристалл, покрытый желтым люминофором» сопряжено с большим риском нарушения работы зрительного анализатора в перспективе. В частности, он указывает: «Если планировка и габариты гермообъекта предполагают продолжительное совместное пребывание нескольких членов экипажа в одном помещении, то желательно обеспечить экипаж *очками со спектральными линзами*. Такие очки позволят не только облегчить адаптацию членов экипажа к спектрально-энергетическим характеристикам системы освещения, но и снижают зрительное утомление оператора при работе со средствами отображения информации». Также автор отмечает: «При использовании режима светодиодного освещения с дополнительным присутствием синей составляющей в спектре излучения светильника следует соблюдать осторожность. Длительное регулярное использование такого режима освещения может привести к морфофункциональным изменениям зрительного анализатора (повреждение хрусталика и сетчатки глаза), изменениям настроения (повышенная возбудимость, раздражительность, гнев, враждебность), развитию инсомний (затруднение засыпания, нарушение структуры и качества сна)».

Это заключение автора особенно важно, т. к. персонал северных мобильных городков и военнослужащие надводных и подводных кораблей будут находиться в этих условиях гораздо больше 12 суток проведения эксперимента.

2.7.3. Воздействие на человека устройств с высокой цветояркостью динамикой

Уже разработан фонарь, вызывающий тошноту и дезориентацию. Устройство получило название LED Incapacitator – оборонительное оружие.

Эта интеллектуальная оптическая система создана при финансовой поддержке департамента Национальной Безопасности США, а исследования являются первым шагом в относительно новой области науки – оптогенетике, которая изучает воздействие световых импульсов на нервные окончания сетчатки глаза и через них на определенные участки головного мозга.

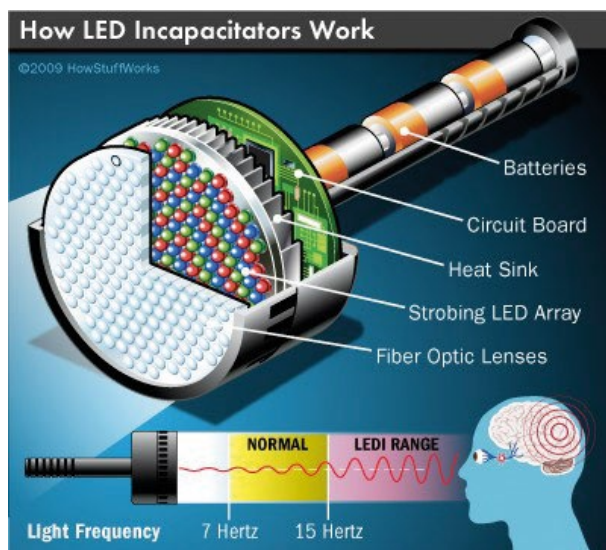
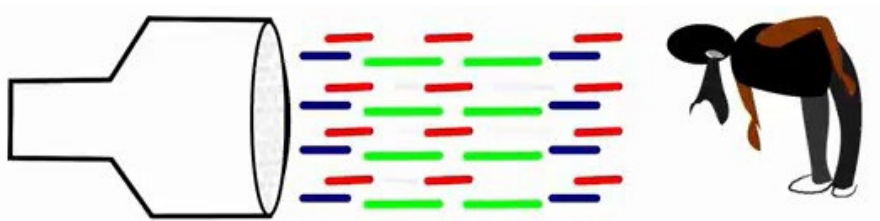


Рис. 2.63. Фонарь, вызывающий тошноту и дезориентацию [2.182, 2.183]

LEDI размером с большой фонарик. Вместо одиночной лампочки с отражателем и линзой, несмертельное оружие имеет светодиоды различных цветов и пластину крошечных линз для каждого диода. Аккумуляторы подают питание на монтажную плату LEDI. Печатная плата контролирует интенсивность и характер вспышек, то есть какой светодиод включается, когда, в каком порядке и как быстро. Печатная плата может быть запрограммирована с различными схемами вспышки для матрицы светодиодов. Например, полицейские могут использовать один режим для стационарного подозреваемого, а другой – для движущегося человека (2.184).



При наведении луча света от фонаря эффект начинает сказываться немедленно. Вспышки светодиодов происходят на нескольких определенных частотах. Прежде чем мозг успевает адаптироваться к одному из цветов, устройство начинает излучать другой. Учитывая то, что одновременно отображаются несколько цветов, причем случайным образом, мозг не успевает обработать информацию. Способов защититься от этого оружия не так много, да и додуматься до них несложно: закрыть глаза, попытаться заслониться рукой или отвернуться. Не исключено, что первое время применение оружия останется прерогативой исключительно органов охраны правопорядка [2.185].

Литература к главе 2

- 2.1. <http://www.zakonprost.ru/content/base/part/475699>.
- 2.2. <https://artillum.ru/images/108-spektr-sveta-lampy-nakalivanija.jpg>.
- 2.3. Международная комиссия по освещенности. Henderson, Roy Wavelength considerations. Instituts für Umform- und Hochleistungs.
- 2.4. ISO 21348 Process for Determining Solar Irradiances. Архивировано 23 июня 2012 года.
- 2.5. Капцов В. А., Дейнего В. Н. Q-закон как методическая основа гигиенических требований к световой среде. Гигиена и санитария. 2017; 96 (8): 747–751. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-8-747-751>.
- 2.6. Капцов В. А., Дейнего В. Н. Светодиодное освещение – вред здоровью или польза энергосбережению? Спор американских ассоциаций // Энергосовет. – №3, 2016.
- 2.7. Валентинов А. Парадоксы зрения по капризу природы // Чудеса и приключения. – 2005. – №2. – С. 12–13.
- 2.8. Островский М. А. Зрение: от кванта света до зрения. Осенний семестр: Современная нейробиология: от молекул к сознанию. Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля Российской академии наук, МФК, 2014.
- 2.9. Обрубов С. А., Хамнагдаева Н. В., Семенова Л. Ю. Экспериментальные модели осевой близорукости: подходы к изучению механизмов развития // Российская детская офтальмология. – №2, 2015.
- 2.10. Dun Xian Tan, Bing Xu, Xinjia Zhou and Russel J. Reiter Pineal Calcification, Melatonin Production, Aging, Associated Health Consequences and Rejuvenation of the Pineal Gland Molecules 2018, 23 (2), 301. <https://doi.org/10.3390/molecules23020301>.
- 2.11. Будкевич Р. О., Евдокимов И. А., Будкевич Е. В. Теоретические предпосылки управления биоритмами с использованием функциональных продуктов питания. УДК 612.392.98:57.034. <https://cyberleninka.ru/.../teoreticheskie-predposylki-upravleniya-bioritma>.
- 2.12. Araújo AR, Piancastelli ACC, Pinotti M. Effects of low-power light therapy on wound healing: LASER x LED. An Bras Dermatol. 2014; 89 (4): 616–23.
- 2.13. Albarracin R., Natoli R., Rutar M., Valter K., Provis J. 670 nm light mitigates oxygen-induced degeneration in C57BL/6J mouse retina. BMC Neurosci. 2013 Oct 17; 14: 125.
- 2.14. Евтакова В. П. Теоретические и практические основы конструирования современных косметических средств, обладающих трансдермальной активностью. – Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2008. – С. 326.
- 2.15. Abdul Malak N., Perrier E. TIMP-1 like; a new strategy for anti-aging cosmetic formulations // XX Congr. Intern. Federation of the Societies of Cosmetic Chemists, Cannes, Sept. 14–18, 1998, V. 1. – P. 79–90.
- 2.16. Дейнего В. Н., Капцов В. А., Балашевич Л. И., Светлова О. В., Макаров Ф. Н., Гусева М. Г., Кошиц И. Н. Профилактика глазных заболеваний у детей

и подростков в учебных помещениях со светодиодными источниками света первого поколения // Российская детская офтальмология. – №2, 2016. – С. 57–73.

2.17. Contín MA, Benedetto MM, Quinteros-Quintana ML, Guido ME. Light pollution: the possible consequences of excessive illumination on retina. *Eye (Lond)*. 2016 Feb; 30 (2): 255–63. DOI: 10.1038/eye.2015.221. Epub 2015 Nov 6.

2.18. Воробьев С.П. Спектр лазерного излучения (www.holography.ru). http://laser-portal.ru/content_687.

2.19. Пашков Б.А. Биофизические основы квантовой медицины. Методическое пособие к курсам по квантовой медицине. Изд. 2-е испр. и дополн. – М.: ЗАО «МИЛТАПКП ГИТ», 2004. – 116 с.

2.20. Основания ограничения цветовой температуры светодиодного освещения в образовательных, дошкольных и лечебных учреждениях. Зак П. П., доктор биологических наук, профессор ФГБУН Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН, ФАНО LED FORUM 2015.

2.21. Bee Ling Tan, Mohd Esa Norhaizan, Winnie-Pui-Pui Liew and Heshu Sulaiman Rahman Antioxidant and Oxidative Stress: A Mutual Interplay in Age-Related Diseases *Front. Pharmacol.*, 16 October 2018. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.01162>.

2.22. Dake Zhao, Yang Yu, Yong Shen, Qin Liu, Zhiwei Zhao, Ramaswamy Sharma, Russel J. Reiter. Melatonin Synthesis and Function: Evolutionary History in Animals and Plants. *Frontiers in Endocrinology* 2019, 10. DOI: 10.3389/fendo.2019.00249. (Синтез и функция мелатонина: эволюционная история у животных и растений).

2.23. Acuna-Castroviejo D., Noguiera-Navarro MT, Reiter RJ, Escames G. Melatonin actions in the heart: more than a hormone. *Melaton Res.* (2018) 1: 21–6. DOI: 10.32794/mr11250002.

2.24. Reiter RJ, Rosales-Corral S, Zhou X, Tan DX. Role of SIRT3/SOD2 signaling in mediating the antioxidant actions of melatonin in mitochondria. *Curr Trends Endocrinol.* (2017) 9:45–9.

2.25. Huo X., Wang C., Yu Z., Wang S., Peng S., Zhang S. et al. Human transporters, PEPT1/2, facilitate melatonin transportation into mitochondria of cancer cells: an implication of the therapeutic potential. *J Pineal Res.* (2017) 62: 12390. DOI: 10.1111/jpi.12390.

2.26. Зубков А.С. Моделирование диссоциативного захвата электрона связанным протоном оксикислот: расчет термодинамических параметров: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. – Москва, 2011. Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук, Институте биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН.

2.27. Зубков А.С., Артюхов В.И., Чернозатонский Л.А., Неделина О.С. Модель одноэлектронного транспорта. Расчет термодинамических параметров захвата электрона связанным протоном оксикислот // *Химическая физика*. – 2011. – Т. 30, №10. – С. 23–40.

2.28. Бржевская О.Н., Дегтярев Е.Н., Журавлева Т.С., Зубков А.С., Клименко И.В., Шекшеев Э.М., Неделина О.С. Диссоциативный захват фотоэлектронов как модель акцептирования низкоэнергетических электронов в биохимических реакциях // *Доклады Академии наук*. – 2008. – Т. 420. – С. 406–411.

2.29. Хвостенко Ольга Григорьевна. Спектроскопические состояния отрицательных молекулярных ионов, образующихся при резонансном захвате электронов молекулами: Дис.... д-ра физ.-мат. наук: 01.04.17 Уфа, 2005, 302 с. РГБ ОД, 71:06–1/137.

2.30. Daly Davis, K.G. Bhushan, Y. Sajeev, L.S. Cederbaum. A Concerted Synchronous [2 + 2] Cycloreversion Repair Catalyzed by Two Electrons. *The Journal of Physical Chemistry Letters* 2018, 9 (24), 6973–6977. DOI: 10.1021/acs.jpcclett.8b03256.

2.31. Russel Reiter, Dun Tan, Sergio Rosales-Corral, Annia Galano, Mei-Jie Jou, Dario Acuna-Castroviejo. Melatonin Mitigates Mitochondrial Meltdown: Interactions with SIRT3. *International Journal of Molecular Sciences* 2018, 19 (8), 2439. DOI: 10.3390/ijms19082439. (Мелатонин смягчает митохондриальное расплавление: взаимодействие с SIRT3).

2.32. Asfandiarov N.L., Pshenichnyuk S.A., Nafikova E.P., Vorob'ev A. S., Elkin Y.N., Modelli A., Komolov A.S. Dissociative electron attachment to some spinochromes: Fragment anion formation, *Int.J. Mass Spectrom.* 412 (2017) 26–37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijms.2016.12.010>.

2.33. Pshenichnyuk Stanislav A., Modelli Alberto, Der ek Jones L Eleonora F. Lazneva and Komolov Alexei S. Low-Energy Electron Interaction with Melatonin and Related Compounds *J. Phys. Chem. B.* 2017, 121, 16, 3965–3974. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.jpcc.7b01408?rand=pvdvjjf>.

2.34. Pshenichnyuk Stanislav A., Modelli Alberto, Komolov Alexei S. Interconnections between dissociative electron attachment and electron-driven biological processes. *International Reviews in Physical Chemistry* 2018, 37 (1), 125–170. DOI: 10.1080/0144235X.2018.1461347.

2.35. Eduardo Esteban-Zubero, Francisco Agustín García-Gil, Laura López-Pingarrón, Moisés Alejandro Alatorre-Jiménez, Pablo Iñigo-Gil, Dun-Xian Tan, José Joaquín García and Russel J Reiter. Potential benefits of melatonin in organ transplantation: a review. *Journal of Endocrinology* (2016) 229, R129 – R14. <https://joe.bioscientifica.com/view/journals/joe/229/3/R129.xml>.

2.36. Janusz Blasiak, Russel J. Reiter, and Kai Kaarniranta Melatonin in Retinal Physiology and Pathology: The Case of Age-Related Macular Degeneration *Oxid Med Cell Longev.* 2016. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5027321/>.

2.37. Héja L., Karacs K., Kardos J. Role for GABA and Glu plasma membrane transporters in the interplay of inhibitory and excitatory neurotransmission. *Curr Top Med Chem.* 2006; 6 (10): 989–95. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16787274?dopt=AbstractPlus>.

2.38. Margaret Lin Veruki, Svein Harald Mørkve & Espen Hartveit. Activation of a presynaptic glutamate transporter regulates synaptic transmission through electrical signaling *Nature Neuroscience*, Volume 9, pages 1388–1396 (2006).

2.39. Колесников А.В., Шулькин А.В., Якушева Е.Н., Баренина О.И., Узбеков М.Г., Кудрин В.С., Островская Р.У. Глутаматная эксайтотоксичность и окислительный стресс при экспериментальном тромбозе сосудов сетчатки // *Нейрохимия.* – 2016. – Т. 33, № 2. – С. 1–5.

2.40. Нейромедиаторы в организме человека. О дофаминовых рецепторах. <http://sportpit-otzyvy.ru/poleznye-stati/nejromediatorov-o-dofaminovyh-retseptorah-v-organizme.html>.

2.41. Миронова Е.В. Механизмы токсического действия глутамата в нейронах коры головного мозга: Дис.... канд. биол. наук: СПб., 2007. – 112 с.

2.42. Шарипов Р.Р. Механизмы эксайтотоксичности при повторном действии глутамата: роль нарушения Ca^{2+} и Na^{+} гомеостаза и функционального состояния митохондрий. Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук, Москва, 2018 год.

2.43. Торшин И.Ю., Громова О.А., Калачева А.Г. и др. Нейропротективное действие миоинозитола: роль в профилактике гипоксических нарушений внутриутробного развития головного мозга // *Эффективная фармакотерапия.* – 2019. – Т. 15, № 26. – С. 8–15.

2.44. Southgate G., Schubert M., Daya S. Melatonin offers protection against glutamate receptor agonists in neuronal cultures *Annals of Neurosciences*, Volume 15, Issue 1 (January), 2008.

2.45. Hai Huang, Shu-Chen Lee, and Xiong-Li Yang. Modulation by melatonin of glutamatergic synaptic transmission in the carp retina. *J Physiol.* 2005 Dec 15; 569 (Pt 3): 857–871.

2.46. Pilar Alarma-Estrany, Jesús Pintor Melatonin receptors in the eye: Location, second messengers and role in ocular physiology. [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0163725806001896? via %3Dihub](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0163725806001896?via%3Dihub).

2.47. Wiechmann Allan F., Summers Jody A. Circadian rhythms in the eye: The physiological significance of melatonin receptors in ocular tissues. *Progress in Retinal and Eye Research*, Volume 27, Issue 2, March 2008, Pages 137–160. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350946207000699>.

2.48. Close work/reading when young contributing to myopia. <http://www.goodhopeeyeclinic.org.uk/myopia.html>.

2.49. Carolina del Valle Bessone a, Hugo Diaz Fajreldines b, Gabriela Edit Diaz de Barboza c, Nori Graciela Tolosa de Talamoni c, Daniel Alberto Allemandi a, Agata Rita Carpentieri d1, Daniela Alejandra Quinteros. Protective role of melatonin on retinal ganglion cell: In vitro an in vivo evidences. *Life Sciences* Volume 218, 1 February 2019, Pages 233–240.

2.50. Pshenichnyuk S.A., Komolov A.S. Dissociative Electron Attachment to Resveratrol as a Likely Pathway for Generation of the H₂ Antioxidant Species Inside Mitochondria. *J Phys Chem Lett.* 2015 Apr 2; 6 (7): 1104–10. DOI: 10.1021/acs.jpcclett.5b00368. Epub 2015 Mar 12.

2.51. Scott Zimmerman and Russel J. Reiter Melatonin and the Optics of the Human Body *Melatonin Res.* 2019, Vol. 2 (1) 138–160. DOI: 10.32794/mr11250016.

2.52. Tan D. X. et al. (2013) Mitochondria and chloroplasts as the original sites of melatonin synthesis: a hypothesis related to melatonin's primary function and evolution in eukaryotes. *J. Pineal Res.* 54: 127–138.

2.53. Suofu Y. et al. (2017) Dual role of mitochondria in producing melatonin and driving GPCR signaling to block cytochrome c release. *PNAS* 114 (38): E7997-E8006.

2.54. He C., Wang J., Zhang Z., Yang M., Li Y., Tian X., Ma T., Tao J., Zhu K., Song Y., Ji P., Liu G. (2016). Mitochondria Synthesize Melatonin to Ameliorate Its Function and Improve Mice Oocyte's Quality under in Vitro Conditions. *Int. J. Mol. Sci.* 17 (6): E939. DOI: 10.3390/ijms17060939.

2.55. Wang L., Feng C., Zheng X., Guo Y., Zhou F., Shan D., Liu X., Kong J. (2017) Plant mitochondria synthesize melatonin and enhance the tolerance of plants to drought stress. *J. Pineal Res.* 63 (3): E12429. DOI: 10.1111/jpi.

2.56. Odinokov D., Hamblin M.R. (2018) Aging of lymphoid organs: Can photobiomodulation reverse age-associated thymic involution via stimulation of extrapineal melatonin synthesis and bone marrow stem cells? *J. Biophot.* 11 (8): e201700282.

2.57. Dimakatso M. et al. (2018) Role of photobiomodulation on the activation of the smad pathway via TGF- β in wound healing. *J. Photochem. Photobio. B: Bio.* 189: 138–144.

2.58. Hamblin M. (2016) Shining light on the head: photobiomodulation for brain disorders. *BBA Clinical.* 6: 113–124.

2.59. Merry G.F. et al. (2017) Photobiomodulation reduces drusen volume and improves visual acuity and contrast sensitivity in dry age-related macular degeneration *Acta Ophthalmol.* 95 (4): e270e277.

2.60. Cassano P. et al. (2018) Transcranial photobiomodulation for the treatment of major depressive disorder, the elated-2 pilot trial. *Photomed. Laser Surg.* DOI: 10.1089/pho.2018.4490.

2.61. Reiter R.J. et al. (2017) Melatonin as a mitochondria-targeted antioxidant: one of evolutions best ideas. *Cell Mol. Life Sci.* 74: 1863–1881.

- 2.62. Bonnefort-Rousselot D., Collin F. (2010) Melatonin: Action as antioxidant and potential applications in human disease and aging. *Toxicology* 278 (1): 55–67.
- 2.63. Slominski A. et al. (2018) Melatonin: A cutaneous perspective on its production, metabolism, and functions. *J. Invest. Derm.* 138 (3): 490–499.
- 2.64. Blasiak J. et al. (2016) Melatonin in retinal physiology and pathology: The case of age-related macular degeneration. *Oxid. Med. Cell Longev.* 2016: 6819736.
- 2.65. Acuna-Castroviejo D. et al. (2014) Extrapineal melatonin: sources, regulation, and potential functions. *Cell Mol. Life Sci.* 71 (16): 2997–3025. DOI: 10.1007/s00018-014-1579-2.
- 2.66. Koltover V. (2017) Free radical timer of aging: from chemistry of free radicals to systems theory of reliability. *Curr. Aging Sci.* 10 (1): 12–17.
- 2.67. Zhao J. et al. (2012) Red light and the sleep quality and endurance performance of chinese female basketball players. *J. Athletic. Train.* 47 (6): 673–678.
- 2.68. Kumar J. et al. (2015) Circadian rhythms in glucose and lipid metabolism in nocturnal and diurnal mammals. *Mol. Cell Endocrinol.* 418: Pt 1: 74–88.
- 2.69. Kumar H. et al. (2012) the role of free radicals in the aging brain and the Parkinson's disease: convergence and parallelism. *Int. J. Mol. Sci.* 13 (8): 10478–10504.
- 2.70. Tirpak A., Young R. (2008) Accurate transmission measurements of translucent materials. *Photonics Spectra.* <https://www.photonics.com/Article.aspx?AID=32297>.
- 2.71. Живая вода в домашних условиях. <https://lively.ru/vrach-razreshil-mozhno-ne-pit-3-litra-vody-v-den/>.
- 2.72. Shishegar N., Boubekri M. (2016) Natural light and productivity: analyzing the impacts of daylighting on students' and workers' health and alertness. Conference: Int. Conf. on "Health, Biological and Life Science" (HBLS-16), at Istanbul, Turkey.
- 2.73. Anders J. (2017) Photobiomodulation therapy comes of age. *BioPhotonics* 24 (2): 28.
- 2.74. Bianconi E. et al. (2013) An estimation of the number of cells in the human body. *Ann. Hum. Biol.* 40 (5): 463–471.
- 2.75. Kuboyama N., Abiko Y. (2012) Reduction of monocyte chemoattractant protein-1 expression in rheumatoid arthritis rat joints with light emitting diode. *Laser Ther.* 21 (3): 177–181.
- 2.76. Abdallah M. et al. (2012) Amniotic fluid chemokines and autism spectrum disorders: An exploratory study utilizing Danish historic birth cohort. *Brain Behav. Immun.* 26 (1): 170–176.
- 2.77. Yennu A. et al. (2016) Prefrontal responses to stroop tasks in subjects with post-traumatic stress disorder assessed by functional near infrared spectroscopy. *Sci. Rep.* 6: 30157. DOI: 10.1038/srep30157.
- 2.78. Zastrow L. et al. (2009) Detection and identification of free radicals by UV and visible light in ex vivo human skin. *Intl. J. Cos. Sci.* 31 (5): 207–215.
- 2.79. Guy G. et al. (2015) Vital Signs: Melanoma incidence and mortality trends and projections – united states 1982 to 2030. *MMWR* June 2015.
- 2.80. Zastrow L. et al. (2015) Free radical threshold value: A new universal body constant. *Skin Pharm. Phys.* 28 (5): 264–268.
- 2.81. Haywood R. et al. (2007) Protein, lipid, and DNA radicals to measure skin UVA damage and modulation by melanin. *Free Rad. Biol. Med.* 44 (6): 990–1000.
- 2.82. Hamblin M. et al. (2018) Low-level light therapy: Photobiomodulation. SPIE Press Book.
- 2.83. Keszler A. et al. (2017) Red/near Infrared light stimulates release of an endothelium dependent vasodilator and rescues vascular dysfunction in diabetes model. *Free Rad. Biol. Med.* 113: 157164. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2017.09.012.

2.84. Wang X. et al. (2016) Interplay between up-regulation of cytochrome-c-oxidase and hemoglobin oxygenation induced by near-infrared laser. *Sci. Rep.* 6: 30540.

2.85. Adolescent Brain Cognitive Development Study. <https://abcdstudy.org>.

2.86. Yacan S. (2014) Impact of daylighting on preschool students' social and cognitive skills. Thesis U of Nebraska 2014.

2.87. Popovic B. et al. (2018) The influence of ageing on the extrapineal melatonin synthetic pathway. *Exp. Gerontol.* 110: 151–157.

2.88. Slominski A. T. et al. Melatonin, mitochondria, and the skin. *Cell Mol. Life Sci.* 74 (21): 39133925.

2.89. Barolet D. et al. (2016) Infrared and skin: friend or foe. *J. Photochem. Photobio. B: Bio.* 155: 78–85.

2.90. Kim T.K. et al. (2015) Melatonin and its metabolites accumulate in the human epidermis in vivo and inhibit proliferation and tyrosinase activity in epidermal melanocytes in vitro. *Mol. Cell Endocrinol.* 404: 1–6.

2.91. Barolet D., Boucher A. (2008) LED photoprevention: reduced MED response following multiple LED exposures. *Lasers Surg. Med.* 40 (2): 106–112.

2.92. Skobowiat C. et al. (2018) Melatonin and its derivatives counteract the ultraviolet B radiation induced damage in human and porcine skin ex vivo. *J. Pineal Res.* 65: e12501. DOI: 10.1111/jpi. 12501.

2.93. Hill S.M. et al. (2015) Melatonin: An inhibitor of breast cancer. *Endocr. Relat. Cancer.* 22 (3): R183-R204.

2.94. Zhang Y. et al. (2013) Visible and near-Infrared spectroscopy for distinguishing malignant tumor tissue from benign tumor and normal breast tissues in vitro. *J. Biomed. Optics.* 18 (7): 077003.

2.95. Martin Moore-Ede M.D., PhD CEO Circadian Light United States The Critical Threshold for Blue Content of Lighting at Night Light Strategy 2019. <https://events.pennwell.com/sil2019/Public/SessionDetails.aspx?FromPage=Sessions.aspx&SessionID=23388#>.

2.96. F. Behar-Cohen et al. Light – emitting diodes (LED) for domestic lighting: Ane risks for eye? *Progress in Retinal and Eye Research* 30 (2011), 239–257.

2.97. How light therapy might help premature babies avoid vision problems. Molecular process controls eye's light-dependent vascular development. <https://www.sciencedaily.com/releases/2019/04/190401115800.html>.

2.98. Minh-Thanh T. Nguyen, Shruti Vemaraju, Gowri Nayak, Yoshinobu Odaka, Ethan D. Buhr, Nuria Alonzo, Uyen Tran, Matthew Batie, Brian A. Upton, Martin Darvas, Zbynek Kozmik, Sujata Rao, Rashmi S. Hegde, P. Michael Iuvone, Russell N. Van Gelder, Richard A. Lang. An opsin 5 – dopamine pathway mediates light-dependent vascular development in the eye. *Nature Cell Biology*, 2019; 21 (4): 420. DOI: 10.1038/s41556-019-0301-x.

2.99. Hidemasa Torii, Toshihide Kurihara, Yuko Seko, Kazuno Negishi, Kazuhiko Ohnuma, Takaaki Inaba, Motoko Kawashima, Xiaoyan Jiang, Shinichiro Kondo, Maki Miyauchi, Yukihiro Miwa, Yusaku Katada, Kiwako, Keiichi Kato, Kinya Tsubota, Hiroshi Goto, Mayumi Oda, Megumi Hatori, Kazuo Tsubota Violet Light Exposure Can Be a Preventive Strategy Against Myopia Progression Volume 15, February 2017, Pages 210–219.

2.100. French A.N., Ashby R.S., Morgan I.G., Rose K.A. (2013) Time outdoors and the prevention of myopia. *Exp Eye Res.* 114: 58–68.

2.101. Ngo C., Saw S.M., Dharani R., Flitcroft I. (2013) Does sunlight (bright lights) explain the protective effects of outdoor activity against myopia? *Ophthalmic Physiol Opt.* 33: 368–372.

- 2.102. Sherwin J.C., Reacher M.H., Keogh R.H., Khawaja A.P., Mackey D.A. et al. (2012) The association between time spent outdoors and myopia in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Ophthalmol.* 119: 2141–2151.
- 2.103. Mutti D.O., Mitchell G.L., Moeschberger M.L., Jones L.A., Zadnik K. (2002) Parental myopia, near work, school achievement, and children's refractive error. *Invest Ophthalmol Vi Sci.* 43: 3633–3640.
- 2.104. Rose K.A., Morgan I.G., Ip J., Kifley A., Huynh S. et al. (2008) Outdoor activity reduces the prevalence of myopia in children. *Ophthalmol.* 115: 1279–1285.
- 2.105. Dirani M., Tong L., Gazzard G., Zhang X., Chia A. et al. (2009) Outdoor Activity and Myopia in Singapore Teenage Children. *Br J Ophthalmol.* 93: 997–1000.
- 2.106. Low W., Dirani M., Gazzard G., Chan Y.H., Zhou H.J. et al. (2010) Family history, near work, outdoor activity, and myopia in Singapore Chinese preschool children. *Br J Ophthalmol.* 94: 1012–1016.
- 2.107. Guo Y., Liu L.J., Xu L., Lv Y.Y., Tang P. et al. (2013). Outdoor activity and myopia among primary students in rural and urban regions of Beijing. *Ophthalmol.* 120: 277–283.
- 2.108. Lin Z., Vasudevan B., Jhanji V., Mao G.Y., Gao T.Y. et al. (2014) Near work, outdoor activity, and their association with refractive error. *Optom Vis Sci.* 91: 376–382.
- 2.109. Jones L.A., Sinnott L.T., Mutti D.O., Mitchell G.L., Moeschberger M.L. et al. (2007). Parental history of myopia, sports and outdoor activities, and future myopia. *Invest. Ophthalmol Vis Sci.* 48: 3524–3532.
- 2.110. Guggenheim J.A., Northstone K., McMahon G., Ness A.R., Deere K. et al. (2012) Time outdoors and physical activity as predictors of incident myopia in childhood: A prospective cohort study. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 53: 2856–2865.
- 2.111. French A.N., Morgan I.G., Mitchell P., Rose K.A. (2013) Risk factors for incident myopia in Australian schoolchildren: the Sydney adolescent vascular and eye study. *Ophthalmol.* 120: 2100–2108.
- 2.112. He M., Xiang F., Zeng Y., Mai J., Chen Q. et al. (2015). Effect of Time Spent Outdoors at School on the Development of Myopia Among Children in China: A Randomized Clinical Trial. *JAMA.* 314: 1142–1148.
- 2.113. Wu P.C., Tsai C.L., Wu H.L., Yang Y.H., Kuo H.K. (2013). Outdoor activity during class recess reduces myopia onset and progression in school children. *Ophthalmol.* 120: 1080.
- 2.114. Ashby R.S., Schaeffel F. (2010). The effect of bright light on lens compensation in chicks. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 51: 5247–53.
- 2.115. Karouta C., Ashby R.S. (2014) Correlation between light levels and the development of deprivation myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 56: 299–309.
- 2.116. Smith E.L. (III), Hung L.F., Huang J. (2012) Protective effects of high ambient lighting on the development of form deprivation myopia in rhesus monkeys. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 53: 421–428.
- 2.117. Feldkaemper M., Schaeffel F. (2013) An updated view on the role of dopamine in myopia *Exp Eye Res.* 114: 106–119.
- 2.118. Norton T.T., Siegwart J.T. Jr (2013) Light levels, refractive development and myopia. A speculative review. *Exp Eye Res.* 114: 48–57.
- 2.119. Norton TT (2016) What Do Animal Studies Tell Us about the Mechanism of Myopia-Protection by Light? *Optom Vis Sci.* 93: 1049–1051.
- 2.120. Cohen Y., Peleg E., Belkin M., Polat U., Solomon A.S. (2012) Ambient illuminance, retinal dopamine release and refractive development in chicks. *Exp Eye Res.* 103: 33–40.
- 2.121. Long Q., Chen D., Chu R. (2009) Illumination with monochromatic longwavelength light promotes myopic shift and axial elongation in new born pigmented guinea pigs. *Cutan Ocul Toxicol.* 28: 176–180.

2.122. Liu R., Qian Y.F., He J.C., Hu M., Zhou X.T. et al. (2011) Effects of different monochromatic lights on refractive development and eye growth in guinea pigs. *Exp Eye Res.* 92: 447–453.

2.123. Foulds W.S., Barathi V.A., Luu C.D. (2013) Progressive myopia or hyperopia can be induced in chicks and reversed by manipulation of the chromaticity of the ambient light. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 54: 8004–8012.

2.124. Jiang L., Zhang S., Schaeffel F., Xiong S., Zheng Y. et al. (2014) Interactions of chromatic and lens induced-defocus during visual control of eye growth in guinea pigs. *Vision Res.* 94: 24–32.

2.125. Guggenheim J.A., Williams C., Northstone K., Howe L.D., Tilling K. et al. (2014) Does vitamin D mediate the protective effects of time outdoors on myopia? Findings from a prospective birth cohort. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 55: 8550–8558.

2.126. Flitcroft D.I. (2012) The complex interactions of retinal, optical and environmental factors in myopia aetiology. *Prog Retin Eye Res.* 31: 622–660.

2.127. Lan W., Feldkaemper M., Schaeffel F. (2014). Intermittent episodes of bright light suppress myopia in the chicken more than continuous bright light. *PloS one.* 9: e110906.

2.128. Дейнего В. Н. Некоторые аспекты негативного влияния света энергосберегающих и светодиодных ламп на глаза и здоровье человека. 4–6 декабря 2012 года. Третий Ярославский энергетический форум «Сборник материалов III Ярославского энергетического форума, 4–6 декабря 2012 года». <http://www.libed.ru/kniginauka/227407-9-sbornik-materialov-iii-yaroslavskego-energeticheskogo-foruma-4-6-dekabrya-2012-goda-obrascheniya-uchastnikam-foruma.php>.

2.129. Дейнего В. Н., Капцов В. А. Свет энергосберегающих и светодиодных ламп и здоровье человека // Гигиена и санитария. – 2013, № 6. – С. 81–84.

2.130. Ensuring safety in LED lighting – 11/8/2012. URL: <http://www.smartgroup.org/industry-news/ensuring-safety-in-led-lighting/>

2.131. Photoresponse diversity among the five types of intrinsically photosensitive retinal ganglion cells. *J. Physiol.* 2014; 592: 1619–1636.

2.132. The functional diversity of retinal ganglion cells in the mouse. *Nature.* 2016; 529: 345–350.

2.133. Стивен Мейсон Tunable LED lighting promises to reduce the incidence of myopia (MAGAZINE). <https://www.ledsmagazine.com/leds-ssl-design/networks-controls/article/16695507/tunable-led-lighting-promises-to-reduce-the-incidence-of-myopia-magazine>.

2.134. Thomas T. Norton and John T. Siegart, Jr. Light Levels, Refractive Development, and Myopia – a Speculative Review *Exp Eye Res.* 2013 Sep; 114: 48–57.

2.135. Jan de Zeeuw, Alexandra Papakonstantinou, Claudia Nowozin, Sophia Stotz, Mandy Zaleska, Sven Hädel, Frederik Bes, Mirjam Münch, and Dieter Kunz Living in Biological Darkness: Objective Sleepiness and the Pupillary Light Responses Are Affected by Different Metameric Lighting Conditions during Daytime *Journal of biological rhythms*, Vol. 34, No. 4, August 2019, 410–43.

2.136. Капцов В. А., Дейнего В. Н. Парадоксы применения энергосберегающего освещения // Медицина труда и промышленная экология. – 2015, № 9. – С. 64.

2.137. Geerdinck L.M., Van Gheluwe J.R., Vissenberg M.C.J.M., 2014. Discomfort glare perception of non-uniform light sources in an office setting. Accepted manuscript submitted for publication in special edition (Light & Lighting Design) of *Journal of Environmental Psychology*, April 2014.

2.138. Зак П. П., Сержникова Н. Б., Погодина Л. С., Трофимова Н. Н., Гурьева Т. С., Дадашева О. А. Фотоиндуцированные изменения субклеточных структур ретинального пигментного эпителия перепела *Coturnix japonica*.

- 2.139. <http://welmos.com/blog/children/1065.html>.
- 2.140. <http://diabet-med.com/diabet-i-insulin/>.
- 2.141. Theodore A. Henderson, M. D., Ph. D. Multi-watt near-infrared light therapy as a neuroregenerative treatment for traumatic brain injury. *Neural. Regen. Res.* 2016 Apr; 11 (4): 563.
- 2.142. Xuan W., Agrawal T., Huang L., Gupta G. K., Hamblin M. R. Low-level laser therapy for traumatic brain injury in mice increases brain derived neurotrophic factor (BDNF) and synaptogenesis. *J Biophotonics.* 2015; 8: 502–511.
- 2.143. Henderson T. A., Morries L. D. Near-infrared photonic energy penetration: can infrared phototherapy effectively reach the human brain? *Neuropsychiatr Dis Treat.* 2015a; 11: 2191–2208.
- 2.144. Michael R. Hamblin Shining light on the head: Photobiomodulation for brain disorders BBA Clinical Volume 6, December 2016, Pages 113–124.
- 2.145. Red Light and Erectile Dysfunction. <https://redlightman.com/blog/red-light-therapy-treats-erectile-dysfunction/>.
- 2.146. Корсакова Е. А., Слезин В. Б., Шульц Е. В., Аладов А. А., Закгейм А. Л., Мизеров М. Н. Воздействие белого света с варьируемой цветовой температурой на электроэнцефалограмму человека // Вестник новых медицинских технологий. – 2012, № 04, т. XIX. – С. 220.
- 2.147. Сергеева М. С., Сергеева М. С., Коровина Е. С., Колсанов А. В., Колсанов А. В., Захаров А. В., Захаров А. В., Пятин В. Ф., Пятин В. Ф. Особенности динамики ритмов ЭЭГ человека при воздействии на сетчатку глаза голубым светом в спектре максимальной чувствительности фоторецепторов циркадианной системы // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2–1.
- 2.148. Гурова Е. В., Акщян В. С., Семенова Н. Г., Гаврилова С. И., Федорова Я. Б. Оценка состояния внутренних слоев сетчатки пациентов с болезнью Альцгеймера и мягким когнитивным снижением // Актуальные проблемы офтальмологии: VIII Всерос. Науч. конф. молодых ученых. Сб. науч. работ. Под ред. Б. Э. Малюгина. – М.: Изд-во «Офтальмологии», 2013. – 300 с.
- 2.149. Min BK, Jung YC, Kim E, Park JY. Bright illumination reduces parietal EEG alpha activity during a sustained attention task. *Brain Res.* 2013 Nov 13; 1538: 83–92. DOI: 10.1016/j.brainres.2013.09.031. Epub 2013 Sep 27.
- 2.150. Базылева Л. В., Болехан В. Н., Ганапольский В. П. Светодиоды в качестве основного освещения: проблемы и пути решения // 3-й Азиатско-Тихоокеанский конгресс по военной медицине. Материалы конгресса. – Санкт-Петербург, 2016. – С. 7–8.
- 2.151. Болехан В. Н., Ганапольский В. П., Шукина Н. А., Базылева Л. В. Комплексное исследование влияния светодиодных источников света на функциональное состояние организма человека // Медицина и здравоохранение: материалы V Международной научной конференции. – Казань: Издательство «Бук», 2017. – С. 85–88.
- 2.152. Смолеевский А. Е. Психическая работоспособность оператора в условиях светодиодного освещения с различными спектрально-энергетическими характеристиками: Диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук ГНЦ РФ-ИМБП РА, 2018 г. – С. 133.
- 2.153. Зак П. П. Потенциальная опасность освещения светодиодами для глаз детей и подростков [Текст] / П. П. Зак, М. А. Островский // Светотехника. – 2012. – № 3. – С. 4–6.
- 2.154. Зак П. П. О спектральной зависимости зрительных функций в сопоставлении с характеристиками белых светодиодов [Текст] / П. П. Зак, Н. Н. Трофимова // Светотехника. – 2013. – № 5–6. – С. 31–33.

2.155. Смолевский А. Е., Манько О. М., Бубеев Ю. А., Смирнова Т. А. Доклад «Психофизиологические эффекты светодиодного освещения в условиях гермо-объекта» на Секционном заседании фундаментальные исследования в офтальмологии юбилейной конференции «Общая и военная офтальмология», посвященной 200-летию первой в России кафедры офтальмологии, Военно-медицинской академии имени С. М. Кирова, 13–15 сентября 2018 г.

2.156. <https://www.acq.osd.mil/osbp/sbir/solicitations/sbir20082/darpa082.pdf>.

2.157. <https://www.sbir.gov/sbirsearch/detail/131805>.

2.158. Energy Focus, Inc. Receives \$ 1.6 Million to Develop LED Lighting for DARPA and NASA. <http://www.solidstatelighting.net/energy-focus-inc-receives-1-6-million-to-develop-led-lighting-for-darpa-and-nasa/>.

2.159. FengRao A. H. S. Chan Xi-fang Zhu Effects of photopic and cirtopic illumination on steady state pupil sizes Vision Research Volume 137, August 2017, Pages 24–28.

2.160. Электрофизиологические методы исследования в офтальмологии: учеб. пособие / В. В. Егоров, О. В. Данилов, Г. П. Смолякова; м-во здравоохранения Хабаров. края, ин-т повышения квалификации специалистов здравоохранения, каф. общеклин. дисциплин. – Хабаровск: изд. центр ИПКСЗ, 2009.

2.161. Курышева Н. И., Киселева Т. Н., Ходак Н. А., Иртегова Е. Ю. Исследование биоэлектрической активности и кровоснабжения сетчатки при глаукоме // РМЖ «Клиническая Офтальмология». – № 3 от 06.09.2012. – С. 9115.

2.162. Эмиров А. Н., Зайнутдинов И. И., Зверева О. Г., Коробицин А. Н. Электро-ретинографические показатели состояния сетчатки и зрительного нерва у пациентов ПООГ, применяющих Траватан // Новости глаукомы. – № 1 (37). – 2016.

2.163. Michael Bach • Mitchell G. Brigell • Marko Hawlina • Graham E. Holder • Mary A. Johnson • Daphne L. McCulloch • Thomas Meigen • Suresh Viswanathan ISCEV standard for clinical pattern electroretinography (PERG): 2012 update Ophthalmol (2013). 126: 1–7.

2.164. Holder G. E. Pattern electroretinography (PERG) and an integrated approach to visual pathway diagnosis. Prog Retin Eye Res. 2001 Jul; 20 (4): 531–61.

2.165. Электрофизиологические методы исследования в офтальмологии: учеб. пособие / В. В. Егоров, О. В. Данилов, Г. П. Смолякова; м-во здравоохранения Хабаров. края, ин-т повышения квалификации специалистов здравоохранения, каф. общеклин. дисциплин. – Хабаровск: изд. центр ИПКСЗ, 2009.

2.166. Скобарева З. А., Текшева Л. М. Биологические аспекты гигиенической оценки естественного и искусственного освещения // Светотехника. – № 4. – 2003. – С. 7–13.

2.167. Зефилов А. Л., Мухамедьяров М. А. Электрические сигналы возбудимых клеток. – Казанский государственный медицинский университет, Казань, 2008. – С. 119.

2.168. Ingrid Chammar, Quentin Chevy, Jean Christophe Poncer, and Sabine Lévi Role of the neuronal K-Cl co-transporter KCC2 in inhibitory and excitatory neurotransmission Front. Cell. Neurosci., 21 February 2012 | <https://doi.org/10.3389/fncel.2012.00005>.

2.169. Rachel J. Sizemore, Sonja Seeger-Armbruster, Stephanie M. Hughes, Louise C. Parr-Brownlie. (2016). Viral vector-based tools advance knowledge of basal ganglia anatomy and physiology. J Neurophysiol. 115, 2124–2146.

2.170. Скальпель, зажим, родопсин. <https://biomolecula.ru/articles/svet-kamera-nervnyi-impuls#source-5>.

Справочник химика. 21. <http://chem21.info/info/193001/>.

2.171. Christian Puller, Silke Haverkamp, Maureen Neitz, and Jay Neitz, Stephan C.F. Neuhauss, Editor Synaptic Elements for GABAergic Feed-Forward

Signaling between HII Horizontal Cells and Blue Cone Bipolar Cells Are Enriched beneath Primate S-Cones PLoS One. 2014; 9 (2): e88963.

2.172. Макаров С. С., Джебраилова Ю. Н., Грачева М. Е., Грачев Е. А., Кочетов А. Г., Губский Л. В. Математическое моделирование группы нейронов и астроцитов в условиях ишемического инсульта // Журнал неврологии и психиатрии. – 8, 2012. – Вып. 2.

2.173. Drone M.A. A mathematical model of ion movements in grey matter during a stroke. Journal of Theoretical Biology 2006; 240: 599–615.

2.174. Терешин Е. В. Обзор по теме «Обоснование метаболической составляющей перфузионной среды для изолированного мозга». – Москва, 2012. – С. 26.

2.175. Davis, Chung-ha O.; Kim, Keun-Young; Bushong, Eric A.; Mills, Elizabeth A.; Boassa, Daniela et al. Transcellular degradation of axonal mitochondria // PNAS. – 2014. – p. 1404651111.

2.176. Negah Rahmati Freek E. Hoebeek Saša Peter and Chris I. De Zeeuw. Chloride homeostasis in neurons with special emphasis on the olivocerebellar system: differential roles for transporters and channels Neurosci., 01 May 2018 | <https://doi.org/10.3389/fncel.2018.00101>.

2.177. Mary Ann GoI and Vincent R Daria² Light-neuron interactions: key to understanding the brain Свет-нейрон взаимодействия: ключ к пониманию мозга Published 16 January 2017 • © 2017 IOP Publishing Ltd Journal of Optics, Volume 19, Number 2.

2.178. Eric Delpire and Kevin J. Staley Novel determinants of the neuronal Cl⁻ concentration. J Physiol 592. 19 (2014), pp. 4099–4114.

2.179. Duebel J., Haverkamp S., Schleich W., Feng G., Augustine G.J., Kuner T., Euler T. Two-photon imaging reveals somatodendritic chloride gradient in retinal ON-type bipolar cells expressing the biosensor Clomeleon Neuron. 2006 Jan 5; 49 (1): 81–94.

2.180. Панюшкина Л. А. Клинико-морфологические особенности зрительного пути при глаукоме и при болезни Альцгеймера. – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт глазных болезней». Диссертация. – Москва, 2015. – С. 106.

2.181. How LED Incapacitators Work. <https://science.howstuffworks.com/led-incapacitator².html>.

2.182. Inside the Incapacitator: Not Your 1970s Disco Strobe Light.

2.183. How LED Incapacitator Works. <https://www.youtube.com/watch?v=Ei3yGODV0KE>.

2.184. Фонарь Incapacitator более эффективен, чем оружие. <http://www.mobiledevice.ru/LED-Incapacitator-Intelligent-Optical-Systems-fonar-oruzhie.aspx>.

Глава 3. Совместное действие искусственных источников света и электро-геомагнитной обстановки

В 1926 г. академик В. И. Вернадский утверждал: «Кругом нас, в нас самих, всюду и везде, без перерыва, вечно сменяясь, совпадая и сталкиваясь, идут излучения разной длины волны... Мы едва начинаем сознавать их разнообразие, понимать отрывочность и неполноту наших представлений об окружающем и проникающем нас в биосфере мире излучений, об их основном значении в окружающих нас процессах». [3.1, 3.2].

В настоящее время эта мысль стала еще более актуальной, так как целенаправленное использование электромагнитной (ЭМ) энергии в самых разнообразных областях человеческой деятельности привело к тому, что к существующему электрическому и магнитному полям Земли, атмосферному электричеству, радиоизлучению Солнца и Галактики добавилось электромагнитное поле искусственного происхождения.

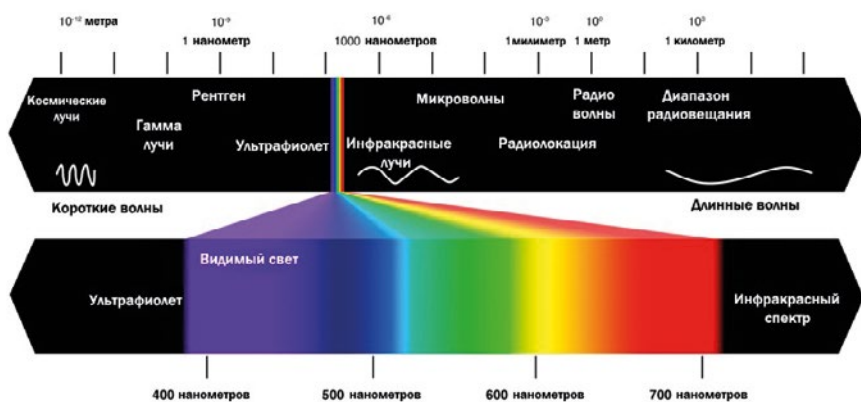


Рис. 3.1. Место видимой области спектра в общем спектре электромагнитных излучений, пронизывающих человека и среду его обитания [3.3]

«Жить, говоря языком физики, – это значит пропускать сквозь себя поток космической энергии», – писал А. Л. Чижевский. Раз так, космическая энергия должна оставлять следы своего воздействия. В 17-м веке французский ученый Декарт считал, что эпифиз – орган, посредством которого в человеке взаимодействует материальное с идеальным. В 1922–1923 гг. профессор А. Г. Гурвич в опытах с корешками лука открывает клеточное излучение, зарегистрированное в ультрафиолетовом диапазоне, – митогенетическое излучение (МГИ) [3.4].

Митогенетическое излучение – ультрафиолетовое излучение широкого диапазона (190–325 нм), про которое предполагалось, что оно может возникать при экзотермических химических реакциях, протекающих *in vitro* и в живых системах. Триптофан (источник серотонина и мелатонина) поглощает электромагнитное излучение с длиной волны 280 нм (максимум)

и сольватохромно излучает в диапазоне 300–350 нм. Молекулярное окружение триптофана оказывает влияние на его флуоресценцию. Этот эффект имеет значение для изучения белков. Аналогичный эффект проявляется у фенилаланина и тирозина.

Таблица 3.1

Электромагнитные поля и классы условий труда

Классы условий труда при действии неионизирующих электромагнитных полей и излучений							
Показатель	Класс условий труда						
	оптимальный	допустимый	вредный				опасный
1	2	3	4	5	6	7	8
Превышение ПДУ (раз)							
Геомагнитное поле (ослабление) ²⁾	естественный фон	≤ ВДУ	≤ 5	> 5	-	-	-
Электростатическое поле ³⁾	естественный фон	≤ ПДУ ¹⁾	≤ 5	> 5	-	-	-
Постоянное магнитное поле ⁴⁾	естественный фон	≤ ПДУ ¹⁾	≤ 5	> 5	-	-	-
Электрические поля промышленной частоты (50 Гц) ⁵⁾	естественный фон	≤ ПДУ ¹⁾	≤ 5	≤ 1 0	> 1 0	-	> 40*
Магнитные поля промышленной частоты (50 Гц) ⁶⁾	естественный фон	≤ ПДУ ¹⁾	≤ 5	< 1 0	> 1 0	-	-
Электромагнитные поля на рабочем месте пользователя ПЭВМ ⁷⁾	-	≤ ВДУ	> ВДУ	-	-	-	-
Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона ⁸⁾							
0,01–0,03 МГц	естественный фон	≤ ПДУ ¹⁾	≤ 5	≤ 1 0	> 1 0	-	-
0,03–3,0 МГц	естественный фон	≤ ПДУ ⁹⁾	≤ 5	≤ 1 0	> 1 0	-	-
3,0–30,0 МГц	естественный фон	≤ ПДУ ²⁾	≤ 3	≤ 5	≤ 1 0	> 1 0	-
30,0–300,0 МГц	естественный фон	≤ ПДУ ⁹⁾	≤ 3	≤ 5	≤ 1 0	> 1 0	> 10 0*
300,0 МГц – 300,0 ГГц	естественный фон	≤ ПДУ ⁹⁾	≤ 3	≤ 5	≤ 1 0	> 1 0	> 10 0*
Широкополосный электромагнитный импульс ¹⁰⁾	-	≤ ПДУ	≤ 5	> 5			> 50* *

¹⁾ Значения ПДУ, с которыми проводится сравнение измеренных на рабочих местах величин ЭМП, определяются в зависимости от времени воздействия фактора в течение рабочего дня.

²⁾ В соответствии с СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях»;

³⁾ В соответствии с СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» и ГОСТ 12.1.045-84 «ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».

⁴⁾ В соответствии с СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях».

⁵⁾ В соответствии с СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» и ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ «Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах».

⁶⁾ В соответствии с СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях», ОБУВ ПемП 50 Гц №5060-89.

⁷⁾ В соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

⁸⁾ В соответствии с СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях», ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ «Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля», Изменения № 1 ГОСТ 12.1.006-84, СанПиН 2.1.8/22.4.1190-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи».

⁹⁾ ПДУ энергетической экспозиции ЭМИ.

¹⁰⁾ В соответствии с СанПиН 2.2.4.1329-03 «Требования по защите персонала от воздействия импульсных ЭМП»

Примечание.

* Превышение максимального ПДУ для кратковременного воздействия.

** Превышение ПДУ напряженности электрического поля для количества электромагнитных импульсов не более 5 в течение рабочего дня.

Искусственные источники света не только создают световую среду обитания для человека, но и являются источниками ее электромагнитного загрязнения и это происходит в условиях определенной геомагнитной и гравитационной обстановки.

Отнесение условий труда к тому или иному классу вредности и опасности при воздействии неионизирующих электромагнитных полей и излучений осуществляется в соответствии с «Руководством по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда». Руководство Р 2.2.2006–05.

Условия труда при действии неионизирующих электромагнитных полей и излучений относятся к 3-му классу вредности при превышении на рабочих местах ПДУ, установленных для соответствующего времени воздействия, с учетом значений энергетических экспозиций в тех диапазонах частот, где она нормируется, и к 4-му классу – для ЭП 50 Гц и ЭМП в диапазоне частот 30 МГц – 300 ГГц при превышении их максимальных ПДУ до значений, указанных в табл. 3.1, а также для широкополосных электромагнитных импульсов при превышении ПДУ напряженности электрического поля в 50 и более раз (для количества электромагнитных импульсов не более 5 в течение рабочего дня).

Таблица 3.2

Неионизирующие электромагнитные излучения и классы условий труда

Фактор		Класс условий труда					
		допустимый	вредный			опасный	
1		2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
2		3	4	5	6	7	
Лазерное излучение ¹⁾		*ПДУ ₁	>ПДУ ₁	≤ 10 ПДУ ₂	< 10 ² ПДУ ₂	< 10 ³ ПДУ ₂	> 10 ³ ПДУ ₂
		*ПДУ ₂	>ПДУ ₂				
Ультрафиолетовое излучение	при наличии производственных источников УФ-А+УФ-В, УФ-С, Вт/м ²	ДИИ ²⁾	>ДИИ ²⁾				
	при наличии источников УФ-А профилактического назначения (УФ-А), мВт/м ² ³⁾	9-45 ⁴⁾					

¹⁾ В соответствии с СанПиН 5804–91 «Санитарными нормами и правилами устройства и эксплуатации лазеров» (ПДУ1 – для хронического воздействия, ПДУ2 – для однократного воздействия).

²⁾ В соответствии с «Санитарными нормами ультрафиолетового излучения в производственных помещениях» (№ 4557–88). При превышении ДИИ работа допускается при использовании средств коллективной и/или индивидуальной защиты.

³⁾ В соответствии с методическими указаниями «Профилактическое ультрафиолетовое облучение людей (с применением искусственных источников ультрафиолетового излучения)» (№ 5046–89).

⁴⁾ При несоблюдении нормативных требований установка профилактического облучения подлежит отключению ввиду её неэффективности (фактическая облученность менее 9 мВт/м²) или опасности (фактическая облученность более 45 мВт/м²) и при оценке параметров освещения считается отсутствующей

При одновременном или последовательном пребывании за рабочую смену в условиях воздействия нескольких электромагнитных полей и излучений, для которых установлены разные ПДУ, класс условий труда на рабочем месте устанавливается по фактору, для которого определена наиболее высо-

кая степень вредности. Превышение ПДУ (ВДУ) двух и более оцениваемых электромагнитных факторов, отнесенных к одной и той же степени вредности, повышает класс условий труда на одну ступень.

Градации условий труда при действии неионизирующих электромагнитных излучений оптического диапазона (лазерное, ультрафиолетовое) представлены в табл. 3.2.

Раздел 3.1. Градиент-гравитационное воздействие Луны на совместную работу мелатониновой и дофаминергической систем защиты головного мозга и здоровье человека

Построению корреляционных моделей и поиску зависимости по влиянию геомагнитной обстановки и электромагнитного воздействия посвящено большое число исследований. Но проблема с определением механизма воздействия остается неразрешенной, а без ее решения нельзя разработать эффективные гигиенические мероприятия по уменьшению их влияния на здоровье человека. Многие исследователи склоняются к тому, что этот механизм связан с особенностями функционирования шишковидной железы в условиях геомагнитных и электромагнитных возмущений, а также искусственного освещения. Результаты последних исследований по функционированию шишковидной железы и работе дофаминовой системы головного мозга дают на то основания.

Шишковидная железа состоит из пинеалоцитов, глиальных клеток и сети нейронов, связывающих матрицу пинеалоцитов с матрицей ганглиозных клеток сетчатки глаза, кристаллов и общей органической каркасной сеткой, состоящей из соединительнотканной септы с каналцами, по которым циркулирует жидкость.

Синтез мелатонина в шишковидной железе происходит в пинеалоцитах, функционально взаимодействующих со зрительным нервом, транслирующим сигнал от ганглиозных клеток сетчатки глаза. В них из триптофана синтезируется серотонин-мелатонин, который через каналцы соединительнотканной сетки поступает в кровеносную систему.

Из процесса синтеза мелатонина следует, что существует однозначная нейронная связь между ганглиозной клеткой (имеет один сигнальный выход) и пинеалоцитом (имеет один сигнальный вход). Пинеалоциты объединены в паттерн в виде цветка ромашки, центром которой являются капилляры кровеносной системы. Пинеалоцитный паттерн со множеством клеток классифицируется как дольки, которые заполняют все пространство шишковидной железы, а между дольками на соединительной септе находятся эпифизарные конкреции.

В сетчатке содержится $2,4 \cdot 10^6$ ганглиозных клеток, а это значит, что количество управляемых пинеалоцитов не может быть меньше. С возрастом количество ганглиозных клеток под действием световой нагрузки (дозы синего света) уменьшается. Это приводит к нарушению управления пинеалоцитами синтеза мелатонина, которое может повлечь за собой уменьшение

синтезируемой дозы и ускорение процесса образования кристаллов в пинеалоцитах из-за избытка кальция. Установлена также корреляция между особенностями её функционирования и заболеваниями нервной системы человека, а также приведены данные о влиянии этой железы на работу сердца. Кристаллы – «мозговой песок» – занимают особое место в строении шишковидной железы. «Мозговой песок» содержит большое количество кальция, который играет исключительную роль в клетках растений и человека. Так, из-за разницы содержания кальция мужские и женские клетки (сперматозоид – яйцеклетка) передают сигналы друг другу (по градиенту концентрации). Кальций содержится в акросоме в виде кристалла неорганического фосфата – микроэлемент, содержащийся в организме в виде солей (фосфаты кальция, магния).

В [3.5, 3.6, 3.7] представлены результаты исследования по установлению отношений между секрецией мелатонина и размером некальцинированного объема шишковидной железы.

Как считают авторы, увеличение кальцификации шишковидной железы вызывает уменьшение числа функционирующих пинеалоцитов, что приводит к снижению секреции серотонина и мелатонина [3.7, 3.5]. Трехмерный томографический анализ позволил установить, что конкременты впервые появляются в одной локальной точке эпифиза, а затем распространяются на соседние его участки. Такой процесс характерен для людей без отклонений в психике. При шизофрении и болезни Альцгеймера рентгеновская микротомография и трехмерный анализ выявили несколько зон конкрементообразования, что свидетельствует о возможности растворения как композитного гидроксиапатита, так и флюоритов и динамического изменения структурной организации конкрементов («мозгового песка»). В результате исследований [3.5, 3.6, 3.7] установлено, что при шизофрении в эпифизах находилось уменьшенное по сравнению с нормой количество «мозгового песка». Параллельно имело место утолщение трабекул, сопряженное с дополнительной васкуляризацией. В цитоплазме пинеалоцитов появляются конкременты нового типа – неправильные полые сферы размером 0,1–1,5 мкм. Возможно, они содержали флюорит и свидетельствовали о специфическом метаболизме пинеалоцитов. Обнаружено, что кальциевый состав конкрементов эпифиза, как в норме, так и при шизофрении, был непостоянен. При сохранении органической стромы композитный гидроксиапатит может растворяться, начиная от центра конкремента. Наблюдавшееся снижение количества «мозгового песка» при шизофрении могло быть связано с быстрой резорбцией гидроксиапатита в зонах первичной минерализации эпифиза либо с появлением специфических цитоплазматических круглых флюоритных образований, которые в норме не встречались [3.5, 3.6, 3.7].

В работах [3.5, 3.6, 3.7] предложено использовать расположение кристаллов в матрице и динамику их перераспределения как диагностический признак для оценки рисков отклонения в психике. Там же говорится, что в шишковидной железе могут присутствовать флюориты CaF_2 . До 1990 г. не проводились исследования по влиянию фтора на шишковидную железу. Одним из инициаторов этих исследований была врач Дженнифер Люк из Университета Surrey в Англии. Она доказала, что шишковидная железа

первая попадает под удар фтора. Эти кристаллы образуются при повышенном поступлении фтора и их количество прямо пропорционально его концентрации [3.8].

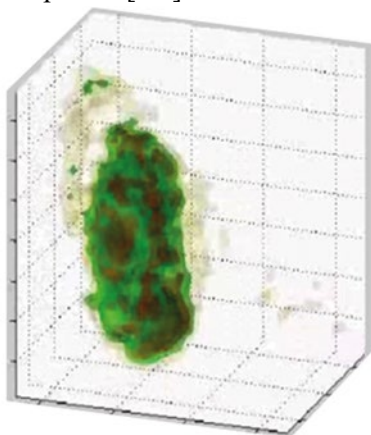


Рис. 3.2. Эпифиз человека в норме (масштаб 1 ед. –100 мкм)

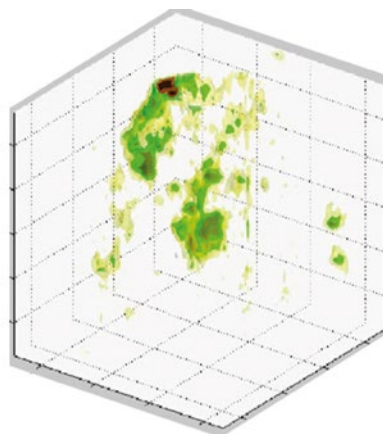


Рис. 3.3. Рентгеновская микротомография пространственного распределения кальция в эпифизе человека при болезни Альцгеймера

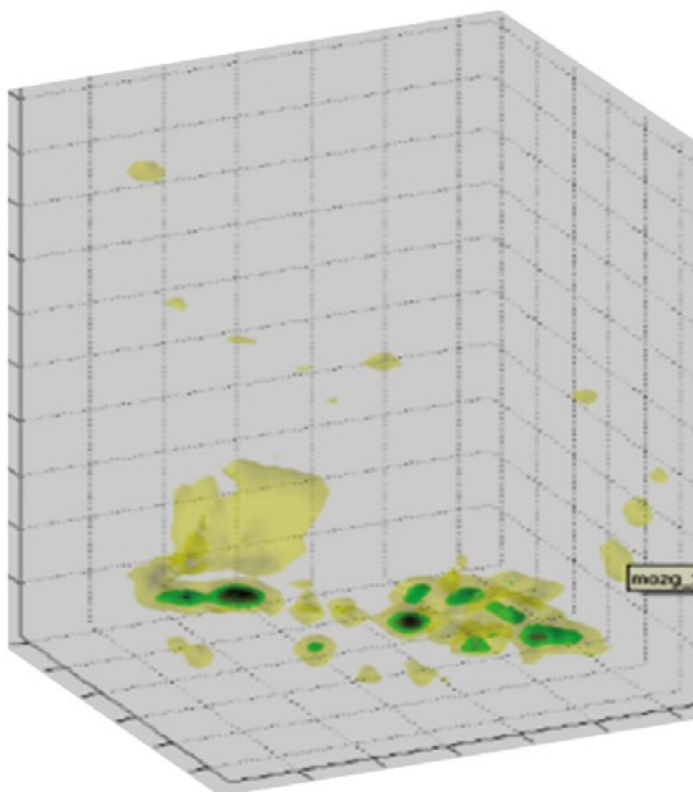


Рис. 3.4. Рентгеновская микротомография пространственного распределения кальция в эпифизе человека при шизофрении

Фтор может поступать в организм с продуктами питания, водой и предметами личной гигиены. Исследования показали, что содержание фтора в шишковидной железе может превышать его концентрацию в костях и зубах человека. На протяжении всей жизни человека эта матрица разрастается и видоизменяется, а также дополняется флюоритами CaF_2 .

Таблица 3.3

Обобщенная информация о типе шишковидной железы, кристаллах и об отклонениях в психике человека [3.5, 3.6, 3.7].

Форма эпифиза:	Психика человека в норме	Болезнь Альцгеймера	Шизофрения	Негативное воздействие на психику человека
шаровидная	+	да	да	
каплевидная	+	да	да	
коническая	+	да	да	
цилиндрическая	+	да		
полигональная	+			
треугольная	+			
лентовидная	+			
Ср. плотность мг/мм^3 шишковидной железы	2,57		3,71	
Кол-во центров из которых формируется матрица из кристаллов	один центр и однородное распределение кристаллов по объему	Более чем один центр и не однородное распределение кристаллов по объему	два центра и более	отсутствие центров и матрицы кристаллов
После удаления шишковидной железа				люди испытывают так называемое «би-размещение»

Структурный тип флюорита CaF_2 и его свойства

Некоторые структуры можно представить слоями с плотной упаковкой катионов, между которыми находятся анионы. К таким структурам можно отнести флюорит CaF_2 . Структуру флюорита можно рассматривать как кубическую упаковку катионов, в которой все тетраэдрические позиции заняты меньшими по размеру анионами, в случае CaF_2 ($r(\text{Ca}^{2+}) = 1,21$, $r(\text{F}^-) = 1,17$) – близкими по размеру. Фторид кальция кристаллизуется в кубической сингонии с параметром элементарной ячейки $a = 5,4626$, $Z = 4$. Структура CaF_2 представлена на рис. 3.5.

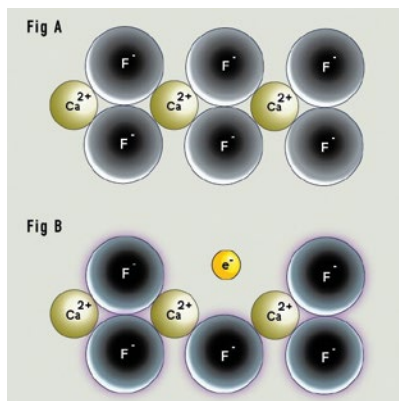


Рис. 3.5. Различные структуры (Fig A и Fig B) фторида кальция

В структуре Fig. В имеются свободные электроны. Важным свойством фторида кальция является его флуоресценция при облучении его ультрафиолетом. Фторид кальция, или флюорит, – интересный минерал, от названия которого произошел термин «флуоресценция». Флуоресценция – это явление, с помощью которого вещество излучает свет после поглощения электромагнитного излучения с другой длиной волны.

На рис. 3.6 приведен спектр фторида кальция, а также внешний вид образцов и цвет их свечения в темноте.

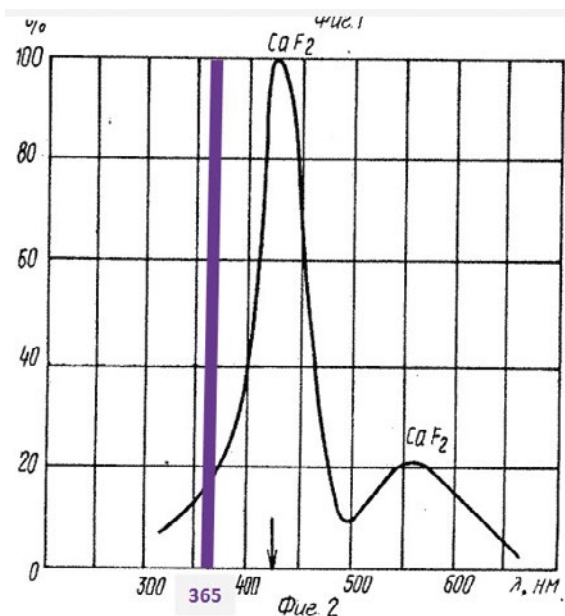


Рис. 3.6. Спектр излучения фторида кальция

Из приведенной спектральной зависимости видно, что максимум свечения фторида кальция приходится на 450 нм при длине волны возбуждения 365 нм.

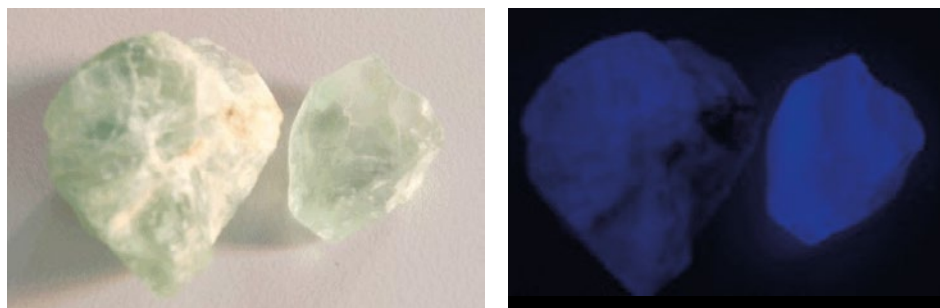


Рис. 3.7. Фтористый кальций бледно-зеленый при дневном свете, синий в ультрафиолетовом свете [3.9]

Присутствие фтористого кальция в шишковидной железе может быть определено по ее синему свечению после облучения ультрафиолетом [3.9].

Общее количество кристаллов CaF_2 и CaCO_3 в шишковидной железе достигает примерно 18000 шт., исходя из плотности (в 1 мм^3 – 100–300 шт.) и ее среднего объема – 60 мм^3 .

Внутри шишковидной железы множество кристаллов CaCO_3 образует объемную матрицу, лежащую на мембранной сетке с канальцами, по которой циркулирует жидкость – мелатонин (антиоксидант с избытком электронов). Под действием внешних факторов канальцы могут менять свой диаметр, эти изменения передаются кристаллу, обладающему прямым и обратным пьезоэлектрическим эффектом. Генерируемый кристаллом электрический потенциал передается глиальным клеткам, активно потребляющим кальций Ca^{2+} . При этом создается градиент концентрации. Клетки с повышенной концентрацией Ca^{2+} воздействуют на работу нейронов и далее на функционирование мозга. Поступление нервного (электрического) импульса в синаптическую бляшку вызывает деполяризацию пресинаптической мембраны и повышение ее проницаемости для ионов кальция Ca^{2+} в результате того, что открываются потенциалзависимые кальциевые каналы. Ионы кальция входят в синаптическую бляшку и вызывают слияние синаптических пузырьков с пресинаптической мембраной. Медиатор из синаптических пузырьков попадает в синаптическую щель. Весь этот процесс называется электросекреторным сопряжением. После высвобождения медиатора материал пузырьков используется для образования новых, заполняемых молекулами медиатора. Генерация электронов индуцирует градиент Ca^{2+} , что создает предпосылки к флуктуации выброса нейротрансмиттера (дофамина).

Итак, электричество, генерируемое кристаллами CaCO_3 , может способствовать выбросу дофамина.

Электрическая стимуляция мозга применяется в медицине, например для лечения болезни Паркинсона. Вопросы свечения CaF_2 в шишковидной железе ждут своего разрешения.

3.1.1. Электромагнитное воздействие на дофаминовую систему головного мозга

В управлении светом процессами синтеза серотонина и мелатонина в шишковидной железе участвует норадреналин, который формирует сигналы переключения на входе клеток шишковидной железы (рис. 3.8).

На уровень норадреналин влияет дофамин. Дофамин также активно участвует в процессах формирования глаза. Дофамин известен как важнейший нейромедиатор ЦНС, а также как гормон, вырабатываемый мозговым веществом надпочечников. Предшественником дофамина является L-тирозин (он синтезируется в печени из фенилаланина), который гидроксилируется (присоединяет OH-группу) ферментом тирозингидроксилазой с образованием L-DOPA, которая, в свою очередь, теряет COOH-группу с помощью фермента L-DOPA-декарбоксилазы и превращается в дофамин [3.11].



Рис. 3.8. Влияние света, норадреналина и продуктов питания с фтором на процесс синтеза из триптофана серотонина и мелатонина [3.10]

Этот процесс происходит в цитоплазме нейрона. Общая схема синтеза представлена на рис. 3.9.

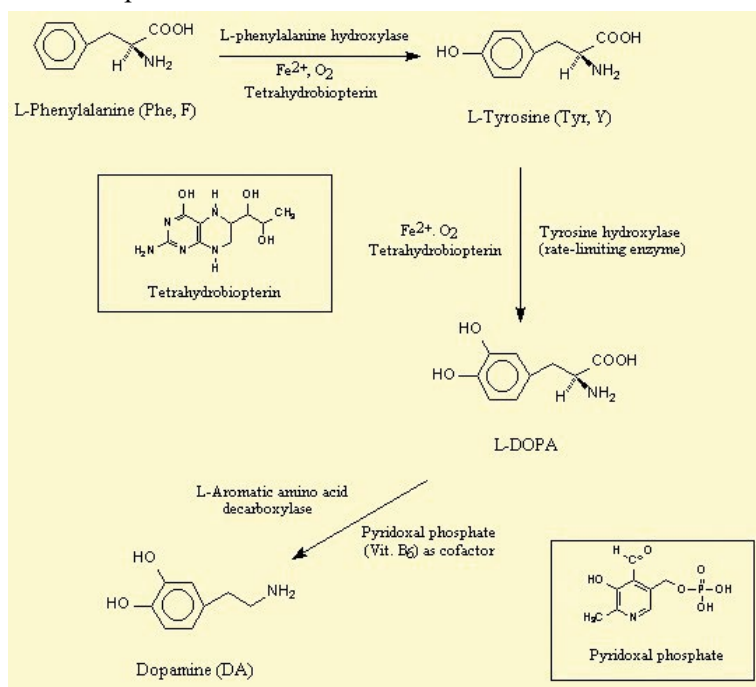


Рис. 3.9. Синтез дофамина из L-тирозина, который синтезируется из фенилаланина в печени

Как видно из рисунка, в превращении фенилаланина в L-тирозин и далее L-ДОФА принимает участие Fe^{2+} и O_2 . Тирозин может поступать в организм человека с пищей, а дофамин – нейромедиатор, вырабатывается в мозге людей и животных. Он также вырабатывается мозговым веществом надпочечников и другими тканями (например, почками). По химической структуре дофамин относят к катехоламинам. Дофамин является биохимическим предшественником норадреналина (и адреналина). Он осуществляет контроль двигательной активности, эндокринных функций, эмоций, мышления. Кроме того, как дефицит, так и избыток дофамина влияет на развитие ряда заболеваний – болезни Паркинсона, шизофрении, депрессии, патологической агрессивности, гиперактивного аффективного расстройства у детей. Дофамин действует как ингибирующий медиатор в сонном синусе и в симпатических ганглиях, и, возможно, существует особая периферическая дофаминергическая система.

Сонный синус – небольшое расширение у начала сонной артерии в месте ее разделения на наружную и внутреннюю сонные артерии, в нем присутствуют рецепторы, которые участвуют в регуляции артериального давления. Когда происходит повышение давления крови, импульсы от этих рецепторов поступают в вазомоторный центр головного мозга, который инициирует рефлекс вазодилатации. В результате этого воздействия происходит замедление частоты сердечных сокращений и снижение кровяного давления до нормы. Флуктуации дофамина – это изменения кровяного давления. Известно, что дофамин был обнаружен в симпатических ганглиях, в нервах, в сердце и **глазах**, при этом экскреция дофамина в организме человека в 10–20 раз выше, чем адреналина и норадреналина. В настоящее время известны пять подтипов *регуляторов артериального давления* – дофаминовых рецепторов – D1, D2, D3, D4, D5, – которые разделены на два семейства: D1-подобные рецепторы, включающие подтипы D1 и D5, и D2-подобные рецепторы, объединяющие D2-, D3- и D4-рецепторы. Дофаминовые D1-подобные рецепторы связаны с аденилатциклазой и стимулируют фосфолипазу-C независимо от эффектов цАМФ, а D2-подобные рецепторы не связаны с аденилатциклазой и ингибируют Ca^{2+} каналы. В структуре мозга различают семь отдельных подсистем (первые три являются основными), которые имеют свои тракты:

- нигростриатная;
- мезокортикальная;
- мезолимбическая;
- тубероинфундибулярная;
- инцертгогипоталамическая;
- диенцефалоспинальная;
- ретинальная.

Тубероинфундибулярный тракт образован аксонами нейронов, расположенных в аркуатном ядре гипоталамуса. Отростки таких нейронов достигают наружного слоя срединного возвышения. Он осуществляет контроль секреции пролактина – дофамин тормозит его секрецию и поэтому содержание пролактина в плазме крови служит косвенным показателем функции дофаминергической системы мозга, что часто используют для оценки влияния на нее психофармакологических средств.

Инцертоталамический тракт начинается от *zona incerta* и оканчивается в дорсальном и переднем отделах медиального таламуса, а также в перивентрикулярной области. Он принимает участие в нейроэндокринной регуляции.

Диенцефалоспинальный тракт. Источником проекций диенцефалоспинального тракта являются нейроны заднего гипоталамуса, отростки которых достигают задних рогов спинного мозга.

Ретинальный тракт расположен в пределах сетчатки глаза, что делает его среди других дофаминергических трактов достаточно автономным.

Из дофамина по схеме, представленной на рис. 3.10, синтезируется норадреналин.

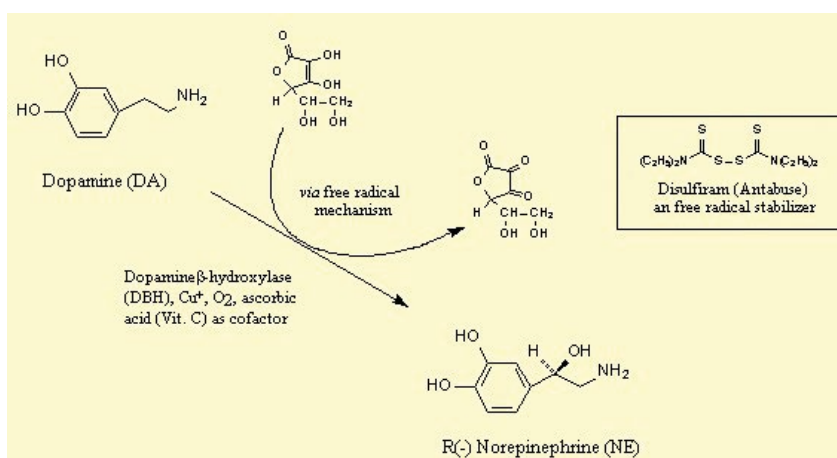


Рис. 3.10. Общая схема синтеза норадреналина из дофамина

В синтезе норадреналина из дофамина также принимают участие медь (Cu^+ и Cu^{2+}), O_2 и витамин С.

Итак, при синтезе мелатонина в структурах мозга (шишковидной железе и *глазах*) определяющую роль играет уровень дофамина и норадреналина. Синтез дофамина и норадреналина осуществляется при наличии структур, содержащих ионы железа и меди, и электронного обмена. Эти структуры в силу их физических свойств (магнетизма и электропроводности) определяют степень чувствительности процесса синтеза дофамина (норадреналина) к электромагнитному воздействию внешней среды. Влиянию примесных металлов (железа и меди) на работоспособность нейронов дофаминовой системы особое внимание уделяли специалисты Научно-исследовательского Центра эволюции человека (Ю. Ф. Камынин), Санкт-Петербургского НИПНИ им. В. М. Бехтерева (О. А. Балунов). В результате исследований, проведенных этими организациями, было выяснено, что в основе заболеваний головного мозга, имеющих общие закономерности развития и тенденцию к волнообразному течению, лежат скопления в тканях мозга дефектных центров – дефектных структур. Дефектные структуры – это локальные хими-

ческие и электронно-ионные неоднородности тканей, возникающие вследствие их вакансий, дислокаций, накоплений примесных металлов (*в первую очередь, Cu и Fe*), местных мембранных и метаболически-энергетических нарушений [3.12].

Согласно современным представлениям о развитии заболеваний и функциональных расстройств человека наряду с эндокринной и иммунологической системами придается большое значение *дофаминовой системе головного мозга*. Многие дети испытывают трудности в психомоторном развитии, обучении, у них оказываются нарушенными важнейшие функции головного мозга – внимание, память, мышление, что приводит к неспособности овладеть стандартными образовательными программами, поведенческим расстройствам. Влиять на проявления этих заболеваний могут различные факторы – биологические и физические – действие проникающей радиации, электромагнитных и других полей. Эти факторы оказывают влияние на формирование вышеуказанных «дефектных структур» в структуре дофаминовой системы головного мозга. Вопросы влияния электромагнитного излучения на здоровье человека и на риски развития различных болезней постоянно интересовали как гигиенистов, так и правительства различных стран, что обусловлено катастрофическим ростом электромагнитной нагрузки на человека. Например, Конгресс США поручил Национальному институту гигиены окружающей среды подготовить и представить оценку потенциального воздействия на здоровье человека от воздействия крайне низкой частоты электрических и магнитных полей (ELF ЭМП) [3.13].

Так, при исследовании влияния переменного магнитного поля сверхнизкой частоты на функциональное состояние симпатoadреналовой системы у белых крыс [3.13] было установлено, что при действии магнитного поля возрастал физиологический резерв симпатoadреналовой системы, что выражалось в увеличении запасов катехоламинов (дофамина и норадреналина) в гипоталамусе и надпочечниках при одновременном увеличении массы последних. *Флуктуации уровней дофамина и норадреналина от оптимальных значений увеличивали риски возникновения нарушений здоровья.*

В последние 30 лет опасение, что ежедневное воздействие чрезвычайно низкочастотных магнитных полей (ELF-EMF) (от 1 до 300 Гц) может быть вредным для здоровья человека (рак, нейроповеденческие нарушения), стало проблемой общественного здравоохранения. Сегодня сверхнизкие ЭМП относятся к категории 2B, т. е. веществам, которые являются «возможно, канцерогенными для человека» – по классификации Международного агентства по изучению рака. Была высказана гипотеза, что мелатонин, как нейрогормон, секретируемый шишковидной железой, обладает онкостатическими свойствами, а *воздействие ЭМП может уменьшить выработку мелатонина* и, следовательно, может способствовать развитию рака молочной железы. Однако данные литературы противоречивы. Было продемонстрировано также отсутствие влияния ЭМП сверхнизких частот на секрецию мелатонина у людей, подвергающихся воздействию ЭМП (до 20 лет экспозиции), которое опровергало мелатониновую гипотезу. В настоящее время дебаты ведутся о влиянии ELF-EMF на риск воз-

никновения лейкемии у детей, хронически подверженных воздействию более 0,4 мкТл. Авторы делают заключение о необходимости дальнейших исследований для получения более определенных ответов, касающихся потенциально вредных эффектов ЭМП сверхнизкой частоты [3.14]. ***Однако неоднозначности в вышеописанных результатах исследований можно объяснить, если учитывать поляризацию магнитного поля.*** В статье «Анализ индуцированных токов у крысы, подвергшейся воздействию 50 Гц линейно и циркулярно поляризованных магнитных полей» представлены результаты численного анализа токов, наведенных в органах крыс, линейно и циркулярно поляризованного магнитного поля частотой 50 Гц. Особое внимание было уделено *шишковидной железе и сетчатке глаза крыс*, так как эти органы напрямую связаны с синтезом мелатонина и изменениями его концентрации. Индуцированные токи в двух моделях крыс рассчитывались с использованием метода импеданса с разрешением до 0,125 мм³. Индуцированные токи оценивались амплитудой и поляризацией. Расчетные индуцированные плотности тока были крайне малы, т. е. < 30 мкА/м² для обоих линейно и циркулярно поляризованных магнитных полей 1,41 мкТл (в пике). При поляризации в вертикальной плоскости не было отмечено никаких существенных различий в амплитуде и поляризации индуцированных токов в шишковидной железе. *В отличие от этого, магнитные поля, вращающиеся в горизонтальной плоскости, производили циркулярно поляризованные токи, как в шишковидной железе, так и в сетчатке глаза, и влияли на процессы синтеза мелатонина.*

3.1.2. Люминесцентные лампы как факторы риска транспортных объектов [3.15]

Применяемые в городских транспортных системах люминесцентные лампы могут быть источниками электромагнитного и ртутного загрязнения. Искусственные электрические и магнитные поля (EMF) стали серьезной экологической проблемой во всем мире. Их количество и разнообразие постоянно растет, как и возможные негативные риски для здоровья населения. В соответствии с критериями, используемыми Международным агентством по изучению рака (МАИР), уровни крайне низкой частоты электромагнитного поля идентифицированы как «возможно» человеческий канцероген. 24 сентября 2014 года Россия подписала Минаматскую конвенцию по ртути, предусматривающую отказ от использования этого металла. Пройти это должно до 2020 года, сообщает пресс-служба Министерства природных ресурсов и экологии России. Реализация этого документа приведет к поэтапному отказу от ртутьсодержащих веществ и оборудования. В частности, прекратится эксплуатация и производство ртутных медицинских термометров, барометров, люминесцентных ламп. В крупных городских центрах, где миллионы людей используют общественный транспорт, ежедневное воздействие магнитного поля может вносить существенный негативный вклад. В докладе [3.16] показано влияние на пассажиров общественного транспорта в Торонто магнитных полей в метро, автобусах, трамваях и «зеленом» поезде (рис. 3.11).

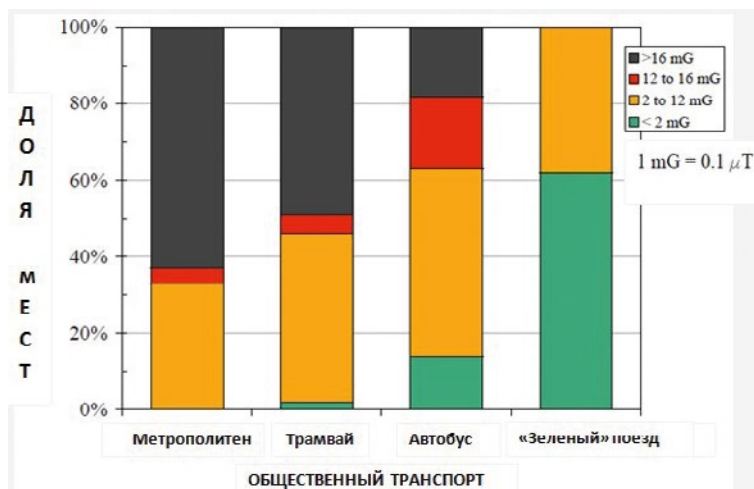


Рис. 3.11. Доля мест в вагонах городского транспорта Торонто в метро, трамвае, автобусе и «зеленом» поезде, в которых превышаются биологически значимые нормы магнитной индукции

Авторы доклада считают, что уровни магнитной индукции более 2 mG могут способствовать возникновению детской лейкемии; более 12 mG – росту раковых клеток молочной железы, а 16mG – возможно, обуславливать выкидыши. Плотность магнитного потока измерялась в салоне автобусов, трамваев, метро и «зеленого» поезда, которые перевозят миллионы пассажиров каждый день в районе Большого Торонто. Самые высокие магнитные поля были обнаружены в метро (в среднем 30 mG, диапазон от 3 до 100 mG), трамвае (в среднем 30 mG, от 2 до 100 mG), автобусе (средний 11 mG, диапазон от 1 до 50 mG), и «зеленом» поезде (средний 2 mG, диапазон от 1,2 до 2,8 mG). В общественном транспорте одним из источников индуцированного магнитного поля являются люминесцентные лампы, широко применяемые в вагонах метрополитена и трамваях. Первые люминесцентные лампы были установлены на станциях и поездах Московского метро в 1947 году. В настоящий момент люминесцентные лампы являются основным источником света в метрополитенах. Только в одном московском метро применяется более 200000 люминесцентных ламп на эскалаторах, в тоннелях и на станциях.

В течение многих лет происходила модернизация вагонов в сторону уменьшения их высоты, вследствие чего люминесцентные лампы, являющиеся источниками УФ, электромагнитных излучений, приблизились к голове стоящих пассажиров на уровень локтевой доступности – менее 30 см. В вагонах типа «Е» подвижного состава расстояние от пола до светильника составляет около 2350 мм, а в новых вагонах – 2050–2100 мм. Наибольшую опасность для головы пассажира представляет магнитная индукция, которая для люминесцентных ламп равна 0,5–2,5 мкТл (на расстоянии 0,3 м) при предельной норме 0,2–0,3 мкТл. Рекомендованное врачами расстояние от люминесцентной лампы до головы человека – 0,5–0,8 м. В вагонах часто применяются по две люминесцентных лампы в светильнике или по две све-

товые линии. На рис. 3.12 представлены расчетные области наибольшего воздействия поля магнитной индукции, источниками которой могут служить люминесцентные лампы.

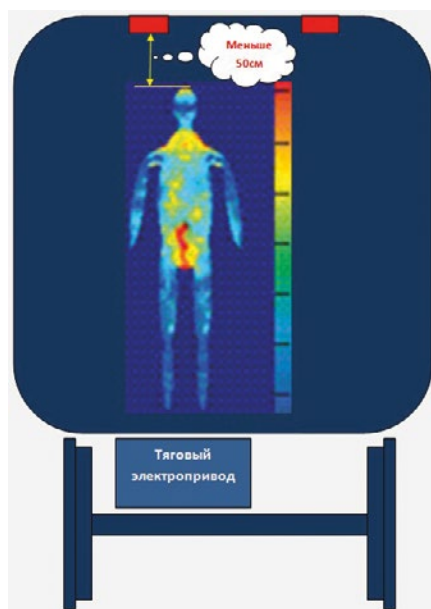


Рис. 3.12. Области наибольшего воздействия поля магнитной индукции

Наибольшее воздействие оказывается на макушку головы и часть тела ниже пояса. При этом необходимо помнить, что все процессы в организме человека связаны с градиентом переноса зарядов ионов (Ca^{+} , H^{+}) и электронов [3.15], которые могут взаимодействовать с индуцированным поляризованным током и магнитным полем.

При этом необходимо отметить, что размер семенных канальцев в группах мышечных, подверженных ЭМП, был значительно меньше, чем в контрольной группе [3.17].

В статье (3.18) приведены математические модели переключения магнитного момента наноструктур в циркулярно-поляризованном поле.

Технологические достижения привели к увеличению электромагнитного (ЭМП) излучения. Существует несколько отчетов и теорий о биологических эффектах ЭМП. Снижение уровня мелатонина является, возможно, одним из таких биологических эффектов. В работе распределение тока, наведенного от линии электропередач, в голове человека было смоделировано с использованием метода конечных элементов (finite element method – (FEM)) [3.19]. На МРТ-изображениях различные слои головы были отделены путем применения методов обработки изображения и распределения индуцированного тока в этих слоях.

Результаты моделирования показали, что шишковидная железа значительно стимулируется в присутствии ЭМП из-за ее специфического анатомического расположения. Однако при построении математической модели

распределения индуцированных токов в голове человека [3.19] не учитывалось, что в шишковидной железе существуют кристаллы CaCO_3 и CaF_2 , влияющие на процессы высшей нервной деятельности человека.

Британские ученые выявили также связь между использованием определенного вида транспорта и вероятностью развития старческого слабоумия. На рис. 3.13 представлены данные вагона лондонского метрополитена.



Рис. 3.13. Низкий потолок в вагоне лондонского метрополитена [3.20]



Рис. 3.14. Люминесцентные светильники прямо над головой пассажира (менее 50 см) [3.20]

Ученые из Университетского колледжа Лондона обработали данные 5 тыс. британцев в возрасте 60–70 лет, ведущих здоровый образ жизни. У 4% из них были выявлены симптомы болезни Альцгеймера. Неожиданно исследователи выяснили, что все пациенты регулярно пользовались метро. А среди здоровых участников исследования практически никто не являлся регулярным пассажиром метрополитена. Они предпочитали пешие прогулки или езду в автомобилях. В результате был сделан вывод, что езда в метро – особенно в «часы пик» – замедляет мыслительные процессы, усиливает враждебность и агрессию, приводит к ненужному стрессу, в результате которого гибнут клетки головного мозга [3.15].

В вагонах современных транспортных систем необходимо заменять люминесцентные лампы. Это замену нужно осуществлять на источники света с биологически адекватным спектром, не индуцирующие магнитные поля, не увеличивающие риски негативного воздействия на здоровье человека и, в частности, на шихковидную железу и сетчатку глаз, которые синтезируют гормон мелатонин.

3.1.3. Синий свет в транспортных системах [3.21]

Сегодняшняя экономика, обороноспособность, национальная и продовольственная безопасность страны в значительной мере обеспечиваются современным транспортным комплексом. Согласно Федеральному закону №16-ФЗ от 9 февраля 2007 г. «О транспортной безопасности» инфраструктура включает используемые транспортные сети или пути сообщения (дороги, железнодорожные пути, воздушные коридоры, каналы, трубопроводы, мосты, тоннели, водные пути), а также транспортные узлы или терминалы, где производится перегрузка груза или пересадка пассажиров с одного вида транспорта на другой (например, аэропорты, железнодорожные станции, автобусные остановки и порты). Пассажирские транспортные средства обычно представлены судами, лифтами, автомобилями, автобусами, трамваями, троллейбусами, поездами, метрополитеном и самолетами. Эта сложная система нуждается в оптимальном управлении, под которым понимается контроль сигналов светофоров, стрелок на железнодорожных путях, управления полетами, а также диспетчеризации движения. Управление транспортной системой – совокупность мероприятий, направленных на эффективное функционирование посредством координации, организации, упорядочения элементов системы как между собой, так и с внешней средой. Обобщенная схема транспортной системы приведена на рис. 3.15.

Настоящее исследование посвящено общей проблеме практически всех транспортных средств – как добиться того, чтобы современные инновационные источники света при их широком использовании не оказывали негативного влияния на пассажиров и персонал транспортных предприятий. Его актуальность обусловлена и тем, что в рамках традиционной транспортной светотехники основное внимание уделяется влиянию света сигнальных приборов и осветительных фар на зрительные анализаторы [3.22, 3.23, 3.24, 3.25], на риски аварийности работы на транспорте [3.26, 3.27, 3.28, 3.29], на здоровье (в частности, стюардесс) [3.30].

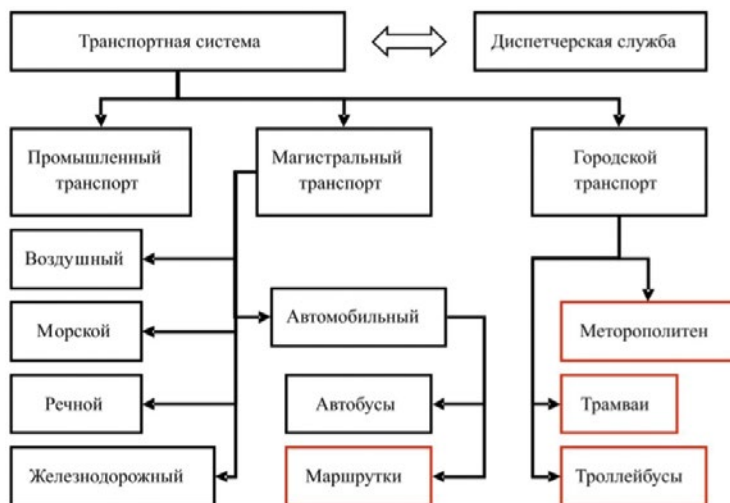


Рис. 3.15. Обобщенная схема транспортной системы

Транспортная светотехника включает в себя систему освещения вагонов и салонов для пассажиров всех видов транспорта, а также фары, сигнальные приборы и светофоры. Сегодня транспортная светотехника формируется в условиях:

- ◆ применения высокоинтенсивных светодиодных источников света;
- ◆ снижения высоты потолков вагонов и салонов (светильники расположены рядом с головой пассажира и, как следствие, близко к сетчатке его глаза);
- ◆ увеличения продолжительности нахождения пассажира в условиях искусственного освещения (увеличивается время негативного воздействия);
- ◆ возрастания напряженности труда (операторов транспортных средств, операторов управления транспортной системой и обслуживающего персонала);
- ◆ обеспечения возрастающих требований по безопасности (распознавание сигналов в условиях светодиодной световой среды).

Важное место в транспортной системе занимает диспетчерская служба, сотрудники которой круглосуточно (посменно) управляют потоками подвижных объектов. Ранее уже были изложены вопросы влияния светодиодного освещения и светодиодной подсветки мониторов устройств отображения информации на работоспособность операторов [3.31].

Среди городского транспорта одно из первых мест занимает метрополитен. Идеология светотехники метрополитенов была заложена еще в далекие 30-е гг. прошлого века архитектором первой станции метро С.М. Кравецом. В своей статье он писал: «На оформление внутренней планировки вагона, кроме повышенных к нему требований, вытекающих из статического характера пребывания в нем пассажиров, неизбежно должно оказать известное влияние и то, что пассажир метро в пути лишен законного пейзажа и все его внимание ... невольно сосредоточивается на оценке этого внутреннего оформления. Это накладывает особую ответственность как на компози-

ционную часть всех деталей, так и на качественную сторону материалов, а в особенности работы. Здесь нет надобности в «шике» вагонов-ресторанов и «международных» вагонов, но в то же время недопустим убогий подход к разрешению внутреннего оформления, подобный тому, какой имеет место в вагонах электрифицированных железных дорог. Намечаемые архитектурные детали и членения необходимо осуществить из полированного дерева, все металлические части должны быть никелированы, стекло должно быть обязательно зеркальным, диваны, если будут жесткими, лучше всего сделать из дуба, чтобы избежать соблазна окраски (что всегда дешево впечатляет) и для меньшей амортизации. Освещение вагона намечается весьма обильным и решается дифференцированно для сидячих и стоячих мест. Первые получают ряды бракетов над окнами, на боковых стенках, вторые же – 2 ряда ламп на потолке вагона. Все источники освещения защищены от непосредственного слепящего действия, и лишь на первое время намечайте из имеющихся в распоряжении ВЭО образцов, в дальнейшем же вся осветительная арматура вагонов будет изготавливаться по специальным для метро моделям» [3.32].

Но проходит время, и на смену профессиональным метростроителям пришли люди с опытом работы на железной дороге. При этом изменилась и концепция освещения метрополитена. Достаточно полно изучен вопрос современных требований к освещению объектов метрополитенов [3.33–3.36].

В настоящее время для внутреннего освещения салонов все чаще применяют белые светодиоды [3.37].

Рынок светодиодов внутреннего освещения салонов автомобилей небольшой, но существенным образом влияет на здоровье водителей и пассажиров. Об этом влияния хорошо известно, но в салонах автотранспорта, особенно в современных маршрутках, оно усиливается из-за небольшого расстояния до светильников и их спектра. В частности, для внутренней подсветки применяются синие светодиоды (рис. 3.16).

Это обусловлено тем, что водители маршруток и руководители транспортных предприятий не знают про «синюю» опасность для детских глаз, а санитарные врачи при сертификации транспортных средств не обращают внимание руководителей этих предприятий на синий свет внутри салона маршруток. Автобусы с синей светодиодной подсветкой курсируют по всем дорогам России, в частности, по дорогам г. Москвы, в курортных зонах Крыма (г. Севастополь и Ялта) и Краснодарского края. Белые и синие светодиоды (СД) имеют выраженную полосу излучения в сине-голубой полосе 440–470 нм, полностью приходящуюся на спектр действия фотохимического повреждения сетчатки глаза и ее пигментного эпителия. Такое излучение представляет повышенную опасность для глаз детей и подростков, так как их хрусталики вдвое прозрачнее в сине-голубой области, чем глаза взрослых. А желтое пятно, которое должно защищать клетки сетчатки от негативного воздействия синего света (460 нм), еще не всегда сформировано. Фотохимическое повреждение сетчатки развивается в отдаленные сроки и может вызвать постепенные необратимые нарушения зрения. Использование светильников с СД может иметь непредсказуемые негативные и необратимые последствия для детского зрения и требует серьезного профессионального офтальмо-физиологического обоснования [3.38].



А



Б

В



Г

Рис. 3.16. Варианты внутреннего освещения пассажирского транспорта:
а – подсветка салонов маршрутки в г. Минске;
б – светодиодное освещение салона автобуса;
в – московский экскурсионный автобус с синей светодиодной подсветкой;
г – экскурсионный автобус Mercedes-Benz Sprinter с синей светодиодной подсветкой

У новорожденных область желтого пятна светло-желтого цвета, имеет нечеткие контуры. С 3-месячного возраста появляется макулярный рефлекс и уменьшается интенсивность желтого цвета. К 1 году определяется фовеолярный рефлекс, центр становится более темным. К 3–5-летнему возрасту желтоватый тон макулярной области почти сливается с розовым или красным тоном центральной зоны сетчатки. Область желтого пятна у детей в возрасте 7–10 лет и старше, как и у взрослых, определяется по бессосудистой центральной зоне сетчатки и световым рефлексам.

Для ускоренной оценки влияния синего света на глаза человека в отделе фотохимии и фотобиологии ФГБУН «Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля» РАН были проведены исследования влияния синего света на глаза японских перепелов *Coturnix japonica*. Глаза этих птиц являются биологическим аналогом человеческих глаз и имеют желтое пятно для защиты сетчатки [3.39, 3.40]. В ходе проведенных исследований было установлено, что под воздействием света от синих светодиодов происходят:

- ◆ изменения в сосудистой оболочке глаза;
- ◆ фотоиндуцированные изменения субклеточных структур ретинального пигментного эпителия [3.40, 7].

3.1.4. Сравнение светодиодных ламп и их люминесцентных аналогов, применяемых для освещения низкопотолочных салонов транспортных средств

В настоящее время для освещения салонов низкопотолочных транспортных средств (вагонов метро, трамваев) широко применяются люминесцентные лампы, которые постепенно заменяются на светодиодные лампы [3.41, 3.42, 3.43].

Учитывая это, представляет большой интерес оценка их фотобиологической безопасности, проведенная по методике IEC 62471:2006 Photobiological safety of lamps and lamp systems. Этот стандарт касается фотобиологической безопасности ламп и устройств, в которых используются лампы, и включает классификацию источника света по нескольким группам риска. Стандарт учитывает все фотобиологические опасности, которые могут повлиять на кожу и глаза (термические и фотохимические опасности) от ультрафиолетовых до инфракрасных длин волн. Определены четыре группы риска: Группа риска 0 (RG0, нет риска), Группа риска 1 (RG1, низкий риск), Группа риска 2 (RG2, умеренный риск), Группа риска 3 (RG3, высокий риск). Группа риска зависит от максимально допустимого времени воздействия (MPE), оцениваемого на данном расстоянии. Оценка риска синего света, связанного со светодиодами, может быть выполнена испытательными лабораториями с использованием стандарта МЭК 62471, который не совсем ясно определяет расстояние обзора, которое необходимо учитывать. Кроме того, этот стандарт не учитывает чувствительные группы населения, такие как дети, афактики, псевдофактики и пожилые люди, несмотря на тот факт, что эти группы подвергаются воздействию более высокого уровня синего света на сетчатку. Нынешние знания о механизмах фототоксичности синего света далеко не полны. Эффекты хронического воздействия и накопленного низкого воздействия в течение очень длительных периодов времени все еще являются

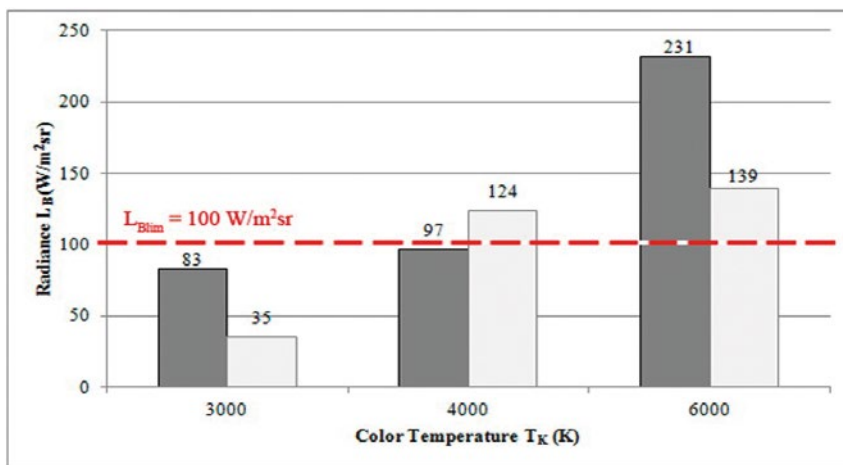
активным предметом исследования. Что касается светодиодов, то лучшее понимание возможных долгосрочных эффектов синего света на сетчатке является основополагающим для гарантии того, что «революция светодиодов» не поставит под угрозу наше видение будущего [3.44].

В статье [3.45] приведены результаты сравнения наиболее применяемой люминесцентной лампы Т8 и светодиодной лампы.

В таблице 3.4 приведены данные о сравниваемых светодиодных и люминесцентных лампах.

Таблица 3.4

Сравнение спектров люминесцентной и светодиодной лампы



Подробно методика оценки и результаты расчетов изложены в статье [3.45], а обобщенные результаты приведены на рис. 3.17.

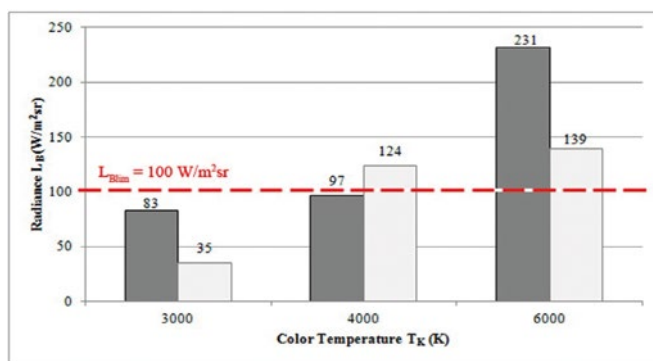


Рис. 3.17. Сравнение приведенной яркости L_B в диапазоне синего света между светодиодными (темно-серый) и люминесцентными лампами (светло-серый) с различными цветовыми температурами на расстоянии 0,20 м [3.45]

Для низкопотолочных вагонов общественного транспорта важно оценить уровень фотобиологического эффекта в зависимости от расстояния от потолка до глаза пассажира.

На рис. 3.18 приведена зависимость взвешенной яркости синего света от расстояний для ламп, приведенных в табл. 3.4.

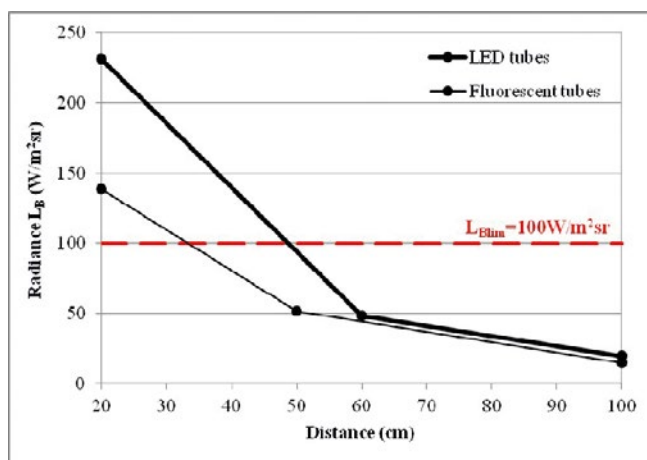


Рис. 3.18. Зависимость приведенной яркости LB в диапазоне синего света для светодиодных ламп и люминесцентных ламп с цветовой температурой 6000 К в зависимости от расстояния [3.46]

Приведенные оценки фотобиологической безопасности показали, что с увеличением мощности светодиодного светильника возрастает синяя опасность световой среды, которую они формируют. Как отмечают эксперты SCHEER, по мере эксплуатации светодиодных светильников в их спектре увеличивается доля синего света, а значит, риски поражения сетчатки глаз возрастают.

Учитывая тот факт, что цветовая температура характеризует дозу синего света, которая присутствует в спектре солнечного света и от негативного воздействия которой применяются гигиенические меры защиты, необходимо оценивать выбросы синей дозы в спектре светодиодных источников белого света с различной коррелированной цветовой температурой.

В результате обобщения данных по сопоставительной оценке сравнения спектров солнечного света (с различными значениями цветовой температуры) и спектров светодиодных источников белого света (с различными значениями коррелированной цветовой температуры) построена обобщенная кривая при равных максимальных значениях уровней синего света (рис. 3.19).

Избыточная доза синего света – это разница между дозами при светодиодном освещении относительно гигиенически безопасного солнечного света при заданном уровне освещенности и одинаковой коррелированной цветовой температуре по нормативам.

В разделе 6.5.2.3 «Задний сегмент глаза» SCENIHR эксперты отмечали: «В процессе эксплуатации качество светодиодного света ухудшается, при этом уровень светового потока (люмен) падает ниже 70% от заявленного уровня. Эта характеристика показывает, что белый светодиод может вызывать большую синюю светоотдачу, чем другие источники освещения в кон-

це их жизни. Кумулятивное воздействие синего света ускоряет старение сетчатки и, возможно, играет этиологическую роль в возрастной дегенерации желтого пятна. Спектр, излучаемый белыми светодиодами, содержит фотоны с энергиями, превышающими порог ферментов, служащих механизмом защиты от стресса (Behar-Cohen et al., 2011) [3.49].

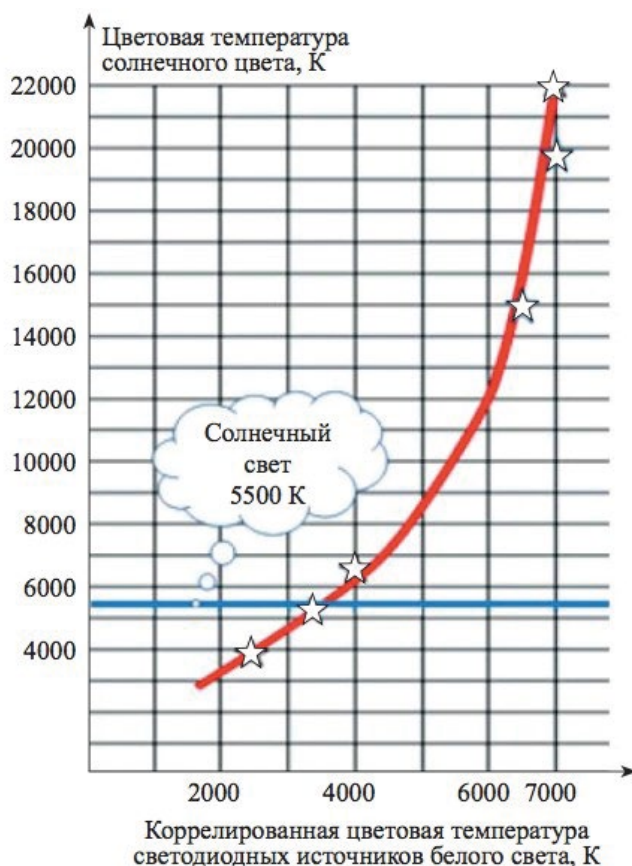


Рис. 3.19. Зависимость коррелированной цветовой температуры светодиодного освещения и цветовой температуры солнечного света при равных значениях уровней выбросов синего света [3.47]

Но негативный эффект от избыточной дозы синего света усугубляется при неадекватности управления зрачком в условиях светодиодного освещения с учетом неравномерности распределения пигментов, поглощающих синий свет 460 нм, по объему и площади. Именно суммарная избыточная доза синего света приводит к ускорению деградиационных процессов, которые увеличивают риски раннего ухудшения зрения по сравнению с солнечным светом при прочих равных условиях (заданном уровне освещенности, цветовой температуре и эффективной работе желтого пятна сетчатки) [3.50].

Литература к главе 3

- 3.1. Преображенский П. В., Шостак В. И., Балашевич Л. И. Световые повреждения глаз. – Л.: Медицина, 1986. – 200 с.
- 3.2. Вернадский В. И. Биосфера и Ноосфера. – Москва: Айрис Пресс, 2004. – С. 142. ISBN: 5-8112-0320-9.
- 3.3. Электромагнитные излучения. <https://mylektsii.ru/3-36606.html>.
- 3.4. Gurwitsch A. G. Die Natur des spezifischen Erregers der Zellteilung // Arch. Entwicklungsmech: Bd. 100. – Н. 1/2. – 1923.
- 3.5. Фокин Е. А., Савельев С. В., Гулимова В. И., Асадчиков В. Е., Сенин Р. А., Бузмаков А. В. Морфогенез и пространственная организация конкрементов эпифиза человека при болезни Альцгеймера, шизофрении и алкоголизме // Архив патологии. – 2006. – Т. 68, № 5. – С. 20–22.
- 3.6. Фокин Е. И. Морфология шишковидной железы человека в позднем постнатальном онтогенезе, при болезни Альцгеймера и шизофрении: дис.... канд. мед. наук. – М., 2008. – 157 с.
- 3.7. Бузмаков А. В. Рентгеновская микротомография с использованием увеличивающих рентгенооптических элементов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. – Москва, 2009. – 131 с.
- 3.8. Luke J. Fluoride deposition in the aged human pineal gland/School of Biological Sciences, University of Surrey, Guildford, UK // Caries Res. – 2001. – № 35 (2). – P. 125–128.
- 3.9. Fluoride is CaF₂. <https://chemlegin.wordpress.com/2013/06/10/fluorite/>.
- 3.10. Капцов В. А. Доклад «Свет, питание и риски нарушения высшей нервной деятельности» VI Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Актуальные проблемы безопасности и анализа риска здоровью населения при воздействии факторов среды обитания». Пермь, 13–15 мая 2015 г. <http://fcrisk.ru/node/953>.
- 3.11. Колотилова О. И., Коренюк И. И., Хусаинов Д. Р., Черетаев И. В. Дофаминергическая система мозга. УДК 612.8: 159.91: 615.3. <http://pdf.knigi-x.ru/21raznoe/147144-1-udk-6128-15991-6153-dofaminergicheskaya-sistema-mozga-kolotilova-korenyuk-husainov-cheretaev-obzore.php>.
- 3.12. Камынин Ю. Ф. Балунов О. А. Болезни дефектных структур головного мозга: дрожательный гиперкинез, атаксия, ригидность, спастика, акинез. http://autist-ru.narod.ru/stati/bolezni_defektnih_struktur_mozga.html.
- 3.13. Dr. Kenneth Olden. NIEHS REPORT on Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields Prepared in Response to the 1992 Energy Policy Act (PL 102–486, Section 2118). https://www.niehs.nih.gov/health/.../report_powerline_electri...
- 3.14. Kanako Wake, Toshiyuki Tanaka, Masao Taki Analysis of induced currents in a rat exposed to 50 Hz linearly and circularly polarized magnetic fields. Bioelectromagnetics 21: 354–363, 2000. © 2000 Wiley-Liss, Inc. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/1521-186X%28200007%2921%3A5%3C354%3A%3AAID-BEM4%3E3.0.CO%3B2-U>.
- 3.15. Дейнего В. Н., Капцов В. А. Электромагнитная индукция и свет люминесцентных ламп как факторы риска транспортных объектов // Гигиена и санитария. – 2016; 95 (2): 163–165. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-2-163-165.
- 3.16. Simon Shum, Raheman Dhalla. Passenger exposure magnetic fields on go trains and on buses, streetcars, and subways run by the Toronto transit commission. In: Biological Effects of EMFs, 3rd International Workshop, 4–8 October, 2004. Kos, Greece; 2004: 1065–71.

3.17. Guangying Qi, Xiaoxu Zuo, Lihua Zhou, Eriko Aoki, Aya Okamura, Mika Watanebe, Haipeng Wang, Qihui Wu, Huiling Lu, Effects of extremely low-frequency electromagnetic fields (ELF-EMF) exposure on B6C3F1 mice. *Environ Health Prev Med.* 2015 Jul; 20 (4): 287–293.

3.18. Поляков А.Ю. Время переключения магнитного момента в циркулярно-поляризованном поле. *Journal of Nano- and Electronic Physics.* 2012; 4 (3): 03012-1-03012-6.

3.19. Merrikhi J., Merrikhi Y. FEM Based Modeling of the Current Distribution, Induced by Power Lines in the Human Head. In: *Computer and Electrical Engineering, 2009. ICSEE '09. Second International Conference.* Dubai; 2009: 149–52.

3.20. История Лондонского метрополитена. Часть 5. <https://humus.livejournal.com/4994654.html>.

3.21. Капцов В.А., Дейнего В.Н. Транспортная светотехника: риски здоровью персонала и пассажиров // Анализ риска здоровью. – 2016. – №3. – С. 4–12. DOI: 10.21668/health.risk/2016.3.01.

3.22. De Boer J.B., Schreuder D. Glare as a criterion for quality in street lighting // *Light Res Technol.* – 1967. – №32. – P. 117–135.

3.23. Discomfort glare from headlamps: interactions among spectrum, control of gaze and background light level / J.D. Bullough, J. Van Derlofske, C.R. Fay, P. Dee // *SAE Technical Paper 2003-01-0296.* – 2003. DOI: 10.4271/2003-01-0296.

3.24. Fry G. Evaluating Disability Effects of Approaching Automobile Headlights // *Highway Research Bulletin.* – 1954. – №89. – P. 38–42.

3.25. Woerdenweber B., Wallaschek J., Boyce P. *Automotive Lighting and Human Vision.* – Springer. – 2010. – P. 95–96. ISBN 3540366970.

3.26. Dorleans G. World Harmonization and Procedures for Lighting and Signaling Products [Электронный ресурс] // *SAE Technical Paper 970913.* – 1997. DOI: 10.4271/970913. – URL: <http://papers.sae.org/970913/> (дата обращения: 18.07.2016).

3.27. Effects of turn-signal colour on reaction times to brake signals [Электронный ресурс] / Juha Luoma, Michael J. Flannagan, Michael Sivak, Masami Aoki, Eric C. Traube // *Ergonomics.* – 1997. – Vol. 40, №1. – P. 62–68. DOI: 10.1080/001401397188378. – URL: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/001401397188378> (дата обращения: 18.07.2016).

3.28. Sullivan J. M., Flannagan M. J. The Influence of Rear Turn Signal Characteristics on Crash Risk // *Journal of Safety Research.* – 2012. – Vol. 43, №1. – P. 59–65.

3.29. Taylor G.W., Ng W.K. Measurement of Effectiveness of Rear-Turn-Signal Systems in Reducing Vehicle Accidents From An Analysis of Actual Accident Data // *Society of Automotive Engineers, Inc.* – 1981, Warrendale, PA.

3.30. Risk of breast cancer in female flight attendants: a populationbased study (Iceland) / V. Rafnsson, H. Tulinius, J.G. Jonasson [et al.] // *Cancer Causes Control.* – 2001. – Vol. 12, №2. – P. 95–101.

3.31. Капцов В.А., Дейнего В.Н. Риски влияния света светодиодных панелей на состояние здоровья оператора // Анализ риска здоровью. – 2014. – №4. – С. 37–46.

3.32. Кравец С.М. Архитектура вагона метро // *Метрострой.* – 1933. – №7. – С. 20.

3.33. Дейнего В.Н. Перспективы замены люминесцентных ламп на световые модули на объектах метрополитена // *МЕТРО INFO International.* – 2015. – №2. – С. 42–46.

3.34. Дейнего В.Н. Светодиодные лампочки для светильников тоннелей метрополитена // *Метро и тоннели.* – 2010. – №2. – С. 26–29.

3.35. Дейнего В. Н. Современные светотехнические решения для метрополитена // Метро и тоннели. – 2009. – № 5. – С. 24–27.

3.36. Дейнего В. Н., Курышев В. А. Безопасность перевозок пассажиров в условиях световой среды энергосберегающего освещения // METPO INFO International. – 2014. – № 1. – С. 34–36.

3.37. Мариса Робле Консе (Marisa Robles Consee). Исследование рынка: светодиоды на пике популярности [Электронный ресурс] // Полупроводниковая Светотехника. – 2011. – № 1. – URL: http://www.led-e.ru/articles/led-market/2011_1_10.php (дата обращения: 14.07.2016).

3.38. Зак П. П., Островский М. А. Потенциальная опасность освещения светодиодами для глаз детей и подростков [Электронный ресурс] // Энергосовет. – 2012. – Т. 24, № 5. – URL: http://www.energosoвет.ru/bul_stat.php?idd=333 (дата обращения: 10.07.2016).

3.39. Фотоиндуцированные изменения субклеточных структур ретиального пигментного эпителия перепела / П. П. Зак, Н. Б. Сerezникова, Л. С. Погодина, Н. Н. Трофимова, Т. С. Гурьева, О. А. Дадашева // Biochemistry. – 2015. – Т. 80, № 6. – С. 931–936.

3.40. Изменения сосудистой оболочки глаза разновозрастных групп японского перепела *Coturnix Japonica* в зависимости от спектрального состава освещения / А. О. Сигаева, Н. Б. Сerezникова, Л. С. Погодина, Н. Н. Трофимова, О. А. Дадашева, Т. С. Гурьева, П. П. Зак // Сенсорные системы. – 2015. – Т. 29, № 4. – С. 354–361.

3.41. Дейнего В. Н. Светодиодные лампочки для светильников тоннелей метрополитена // Метро и тоннели. – 2010. – № 2. – С. 26–29.

3.42. Дейнего В. Н. Курышев В. А. Безопасность перевозок пассажиров в условиях световой среды энергосберегающего освещения // МетроINFOInternational 2014. – № 1. – С. 34–36.

3.43. Дейнего В. Н. Перспективы замены люминесцентных ламп на световые модули на объектах метрополитена // МетроINFOInternational. – 2015. – № 2. – С. 42–46.

3.44. Martinsons C., Light Emitting Diodes (LEDs) and the blue light risk, Points de Vue, International Review of Ophthalmic Optics, N68, Spring, 2013. Publication date: 05/2013.

3.45. Francesco Leccese, Viola Vandelanotte, Giacomo Salvadori and Michele Rocca Blue Light Hazard and Risk Group Classification of 8 W LED Tubes, Replacing Fluorescent Tubes. Optical Radiation Measurements Sustainability 2015, 7 (10), 13454–13468. DOI: 10.3390/su71013454.

3.46. Viola Vandelanotte, Francesco Leccese, Tomasso Corucci, Michele Rocca Optical Radiation Measurements and Risk Group Determination of 8W LED Tubes. General Lightin 15 CIRIAF National Congress Environmental Footprint and Sustainable Development Perugia, Italy. April 9–11, 2015.

3.47. Капцов В. А., Дейнего В. Н. Новая концепция разработки и внедрения энергосберегающих источников света // Вести в электроэнергетике. – № 3 (83). – 2016. – С. 66–72.

3.48. Behar-Cohen F., Martinsons C., Viénot F., Zissis G., Barlier-Salsi A., Cesarini JP, Enouf O., Garcia M., Picaud S., Attia D. (2011). Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: Any risks for the eye? Prog Retin Eye Res. 2011 Jul; 30 (4): 239–57. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2011.04.002. Epub. 2011 May 14.

3.49. Дейнего В. Н. и др. Профилактика глазных заболеваний: светобиологическая безопасность и гигиена энергосберегающих источников света // Глаз. – № 1 (107). – 2016. – С. 18–33.

Глава 4. Гигиенические и экологические проблемы светового загрязнения

Раздел 4.1. Световое загрязнение как общемировая проблема

Искусственный свет в ночное время (Artificial light at night (ALAN)) экспоненциально растет во всем мире, что обусловлено переходом на новые эффективные технологии освещения. В то же время ALAN и вызванное им световое загрязнение могут привести к непреднамеренным физиологическим последствиям [4].

Эффект светового загрязнения в большей степени проявляется в ночное время, вызывая неустойчивый сон или его отсутствие, т. е. бессонницу, в то время, когда человек должен спать, Регулярное несоблюдение правил гигиены сна на протяжении длительного времени вызывающее нарушения в работе мелатониновой и дофаминовой систем, приводит к риску возникновения бессонницы и, как следствие, к спектру болезней.

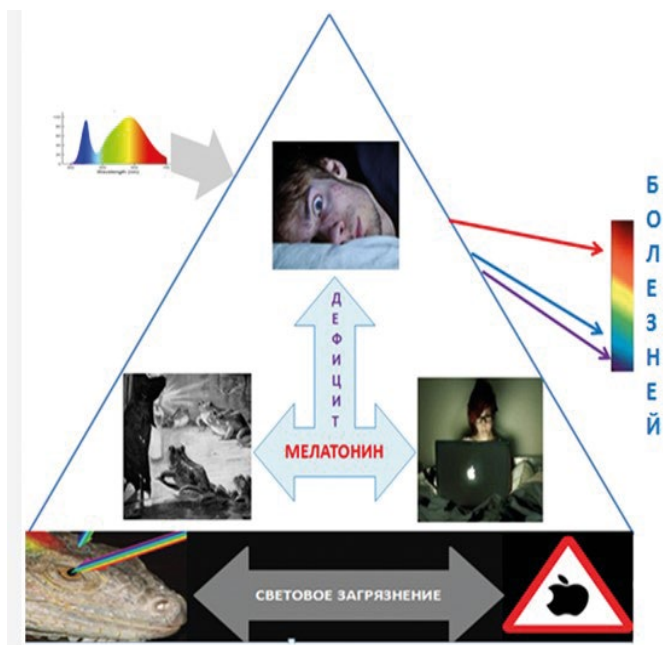


Рис. 4.1. Пирамида взаимодействия в системе: «световое загрязнение – мелатонин – его дефицит – депрессии – спектр болезней»

Проблемами бессонницы в нашей стране занимается Центр медицины сна, Всероссийская ассоциация сомнологов и Национальное сомнологическое общество. Президент этого общества доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник НИО неврологии Первого МГМУ им. Сеченова Геннадий Ковров говорит, что дневная сонливость – явный сигнал проблем со сном. А если вы засыпаете за рулем – это уже повод бить во все

колокола, срочно лечиться. Серьезные нарушения сна и у тех, кто страдает от дневной сонливости и всегда храпит во время сна» [4.1].

Почему бессонница не понаслышке знакома каждому из нас? Сон – своего рода зеркало, он реагирует на все дневные события и безмерно страдает от них. Но есть и хорошая новость. «Сон – не только очень тонкий, деликатный, чувствительный процесс восстановления. Это еще и мощная система, которую сложно полностью сломать, – убежден Геннадий Ковров. – Сон старается подстроиться к тем условиям, которые человек ему навязывает» [4.1].

По оценкам, от 50 до 70 миллионов американцев хронически страдают от расстройства сна и бодрствования, что мешает ежедневному функционированию и отрицательно сказывается на здоровье и долголетию. Известно около 90 различных нарушений сна; большинство из них отмечены одним из этих симптомов: чрезмерная сонливость в дневное время, трудности с началом или поддержанием сна и ненормальные события, происходящие во время сна. Кумулятивные долгосрочные последствия потери сна и нарушений сна были связаны с широким спектром вредных последствий для здоровья, включая повышенный риск гипертонии, диабета, ожирения, депрессии, сердечного приступа и инсульта. После десятилетий исследований можно с уверенностью утверждать, что потеря сна и нарушения сна оказывают глубокое и широко распространенное влияние на здоровье человека.

В этой главе основное внимание уделяется проявлениям и распространённости, этиологии и факторам риска, а также сопутствующим заболеваниям наиболее распространённых состояний сна, включая потерю сна, нарушение дыхания во сне, бессонницу, нарколепсию, синдром беспокойных ног, психические расстройства, неврологические расстройства, медицинские расстройства и *расстройства сна, связанные с циркадным ритмом* [4.2].

Из этих условий вытекают две основные причины бессонницы – это стресс и наше наплевательское отношение ко сну, или, как говорят специалисты, нарушение гигиены сна. Образ жизни человека и условия, в которых она протекает, определяют:

- количество людей в обществе, страдающих от бессонницы. По данным в США до 70 млн человек страдают теми или иными формами бессонницы. Жители этой страны – чемпионы по употреблению искусственного мелатонина;
- уровень прямого и косвенного ущерба, наносимого обществу бессонницей, обходится американской экономике в 63,2 миллиарда долларов в год из-за потери производительности [4.3].

Сон все чаще признается важным фактором, способствующим здоровому образу жизни. Тем не менее это не всегда имело место, и все большее число американцев предпочитают сокращать сон в пользу других социальных, досуговых или связанных с работой действий. Это привело к снижению средней продолжительности сна с течением времени и увеличивает риски проблем со здоровьем [4.4].

У понятия «здоровье» существует множество определений. По определению Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ): «Здоровье – это состояние полного физического, психического и социального благополучия, а не только отсутствие болезней или физических дефектов» [4.5].

По данным ВОЗ, группы факторов, влияющих на здоровье человека, распределены следующим образом (рис. 4.2).

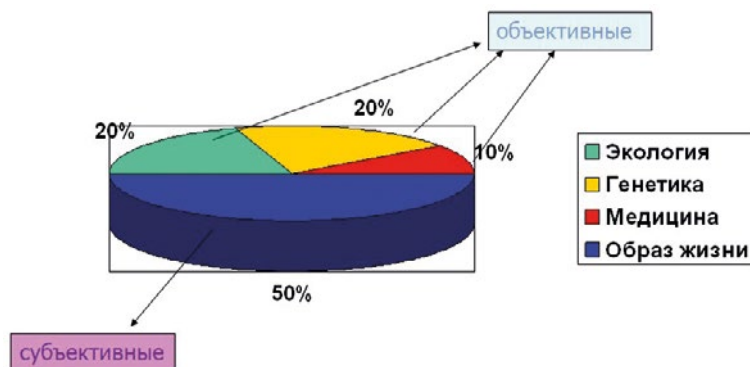


Рис. 4.2. Группы факторов, влияющих на здоровье (по данным ВОЗ) [4.5]

Работодатели в России условно переплачивают 190 млрд руб. в месяц зарплаты из-за снижения эффективности своих невыспавшихся сотрудников, – следует из опроса, проведенного Аналитическим центром НАФИ. Основная причина недосыпания – просмотр ТВ-передач, компьютерные игры или чтение книг допоздна. Второе место занимает сверхурочная работа – эту причину указали 30% недосыпающих. Еще 23% опрошенных объясняют недосыпание возрастом и проблемами со здоровьем. 15% сообщили, что имеют проблемы со сном из-за маленького ребенка в семье. Посторонний шум беспокоит 11%. Не высыпаются из-за увлечений вне дома 8%. Еще 4% указали, что спать им мешает храп супруга. Чаще высыпаются самозанятые граждане (56% от соответствующей профессиональной группы), рабочие (55%) и руководители высшего звена (54%). Меньше всего времени на отдых у военнослужащих и квалифицированных специалистов (по 56% от своей группы) [4.6].

Как было показано в главе 2, одним из механизмов, влияющих на качество сна, является уровень мелатонина, который зависит от освещенности и спектра света. Отсюда важным гигиеническим следствием является обеспечение должным уровнем освещенности спальных помещений, которая зависит от засветки окон или работающих световых приборов (ночники, электронные часы, телевизор.) Засветка окон жилых помещений внешним освещением негативно влияет на мелатониновую систему человека и увеличивает риски возникновения бессонницы. Этот вид засветки является частью общей проблемы светового загрязнения окружающей среды человека.

В работе [4.] представлены результаты систематического обзора исследований в области светового загрязнения, в ней авторами определены уровни светового загрязнения, подавляющие выработку мелатонина у рыб, амфибий, рептилий, птиц и млекопитающих, включая людей. Мелатонин подавляется чрезвычайно низкой интенсивностью света у многих позвоночных: от 0,01–0,03 лк для рыб и грызунов до 6 лк для чувствительных людей. В некоторых исследованиях подразумевается даже более низкая интенсив-

ность, зависящая от длины волны, и она требует тщательного тестирования в экологических условиях. Во многих исследованиях подавление мелатонина происходит при минимальных испытанных уровнях освещенности, а в более изученных группах подавление мелатонина происходит при еще более низких уровнях освещенности.

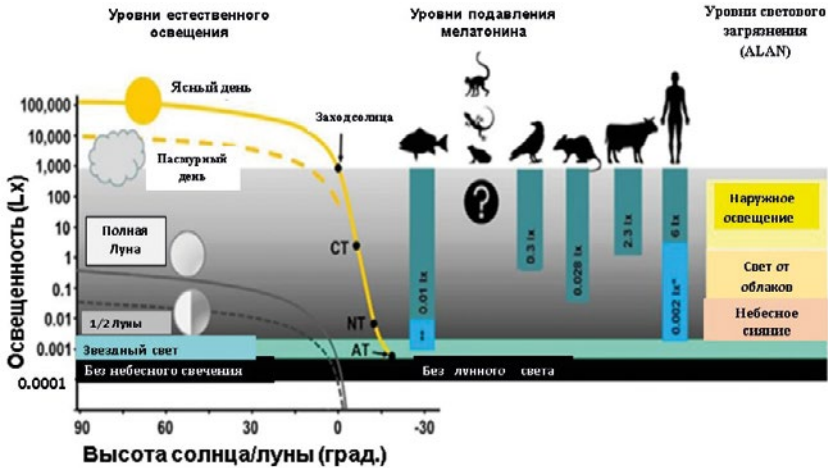


Рис. 4.3. Уровни светового загрязнения окружающей среды, влияющие на подавление синтеза мелатонина для ряда биологических объектов [4] (СТ – конец гражданских сумерек, NT – конец морских сумерек, AT – конец астрономических сумерек)

Особенно интенсивно проводятся исследования о влиянии освещенности на подавления синтеза мелатонина в эпифизе человека (рис. 4.4).



Рис. 4.4. Количество исследований по выявлению уровня освещенности на подавление мелатонина

* указывает на минимальный уровень монохромного света (460 нм), который подавляет MEL в контролируемых лабораторных условиях.

** указывает на значительное подавление MEL в условиях новолуния, вероятно.

В работе [4] в основном приведены результаты исследований для естественных источников света – Солнца, Луны и звездного неба. При этом необходимо отметить, что светодиодные источники света имеют синюю (460 нм) составляющую, которая превышает уровень синего света (460 нм) от естественных источников света.

История человеческой цивилизации сопровождается эволюцией применяемых искусственных источников света от костра, лучины, свечи, ламп накаливания, люминесцентных ламп до светодиодов с качественным изменением спектра. При этом увеличивается площадь и объем засвеченного пространства, что наглядно видно из космоса. В период с 2012 по 2016 год количество освещенных территорий росло на 2,2% в год. Исследователи назвали это явление «эффектом отскока» (rebound effect): чем больше администрация населенного пункта экономит, например, на уличных фонарях, тем больше средств может потратить на освещение новых участков и мест [4.8].

В настоящее время из-за влияния светового загрязнения на здоровье людей [4.9] и окружающую среду – этой проблемой занимается большое количество организаций, которые ведут свои программы [4.10]. Международный проект GLOBE at Night 2010 (можно перевести как «Земной шар ночью – 2010») проводился под эгидой Всемирной программы обучения и наблюдений для сохранения окружающей среды (Global Learning and Observations to Benefit Environment – GLOBE). Целью проекта являлась оценка светового загрязнения ночного неба иллюминацией городов [4.11].

Первыми о световом загрязнении заговорили астрономы, которые предложили оценивать степень светового загрязнения по яркости звездного неба (рис. 4.5).



Рис. 4.5. Информативность звездного неба от степени светового загрязнения [4.12]. Справа налево: 1 – небо в дикой природе, 3 – небо в сельской местности, 5 – небо в пригородной зоне, 7 – небо в переходной зоне между пригородом и городом, 9 – небо в городе

С ростом площадей Земли, на которой обитает человек, значительно растут площади, которые освещаются искусственными источниками света. Так, к известным проблемам экологии Крыма сегодня прибавилась новая проблема – световое загрязнение от светодиодов, которыми под лозунгом безопасности и энергосбережения заменяют люминесцентные лампы в зонах отдыха на побережье, курортных зонах, а также в городах, поселках и дорогах, увеличивая уже имеющуюся площадь светового загрязнения (рис. 4.6) и ухудшая уровень освещенности в условиях тумана.

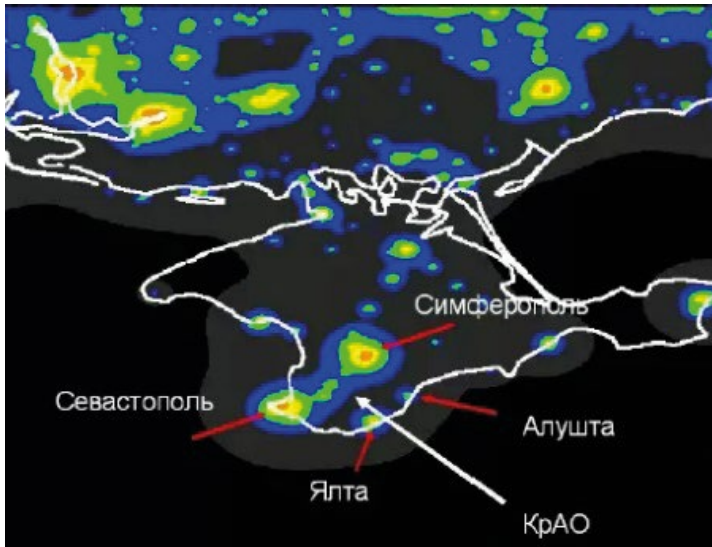


Рис. 4.6. Карта светового загрязнения Крыма до тотального внедрения светодиодного освещения [4.13]

Из рисунка видно, что наибольшее влияние на засветку в Крыму оказывают такие населенные пункты, как Симферополь, Севастополь, Бахчисарай, Ялта и Алушта. Оценить вклад [4.14] этих населенных пунктов в искусственную яркость неба можно по следующей формуле:

$$V_{\text{mag}} = 29 + 0.02r + 2.5 \log(r^2/n), \quad (1)$$

где: r – расстояние до города в км, n – число жителей.

Но в ближайшее время эта карта светового загрязнения может измениться благодаря реализации программ по внедрению светодиодного освещения. В частности, на дорогах Крыма планируется установить более 99000 светодиодных светильников, что резко увеличит площадь светового загрязнения в заповедных степях и лесах, что может негативно сказаться на хрупкой крымской фауне и флоре.

С помощью добровольцев из Ирландской Федерации астрономических обществ, и Ассоциации светового загрязнения, а также сотрудников и студентов Тринити-колледжа Дублина была сформирована база данных яркости неба, которая в настоящее время составляет ≈ 350 отдельных измерений, и тысячи показаний с автоматизированных контрольно-измерительных приборов. Среди целей данного исследования были:

– попытаться получить представление о текущем состоянии светового загрязнения в Ирландии, которая должна послужить основой для будущих измерений.

– повысить уровень информированности о проблеме среди соответствующих органов власти и широкой общественности.

На рис. 4.7 приведены интенсивности свечения неба в зените на различном расстоянии от Дублина. Сплошная линия основана на полуэмпирической модели и подчеркивает, что даже на самом темном участке (более 90 км от города) был зарегистрирован рассеянный свет из Дублина.

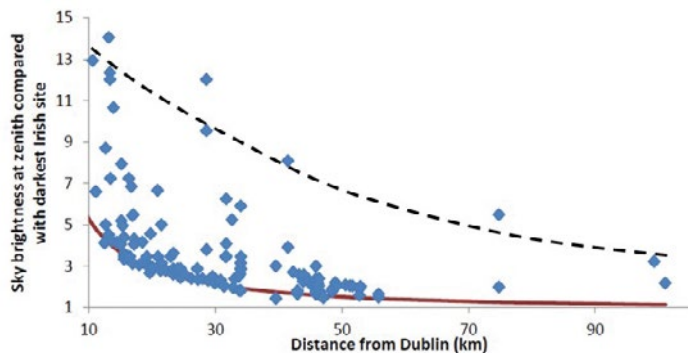


Рис. 4.7. Результаты измерений светового загрязнения вокруг г. Дублина [4.15]

Полученная зависимость уровня светового загрязнения и расстояния от центра города аналогична вышеуказанной зависимости.



Рис. 4.8. Фото ночного Дублина с борта Международной космической станции. Ряд опознаваемых интенсивных источников света указывают на значительные местные потери энергии [4.15]

Пугающими являются темпы светового загрязнения планеты, и это наглядно видно на примере штата Южная Флорида.

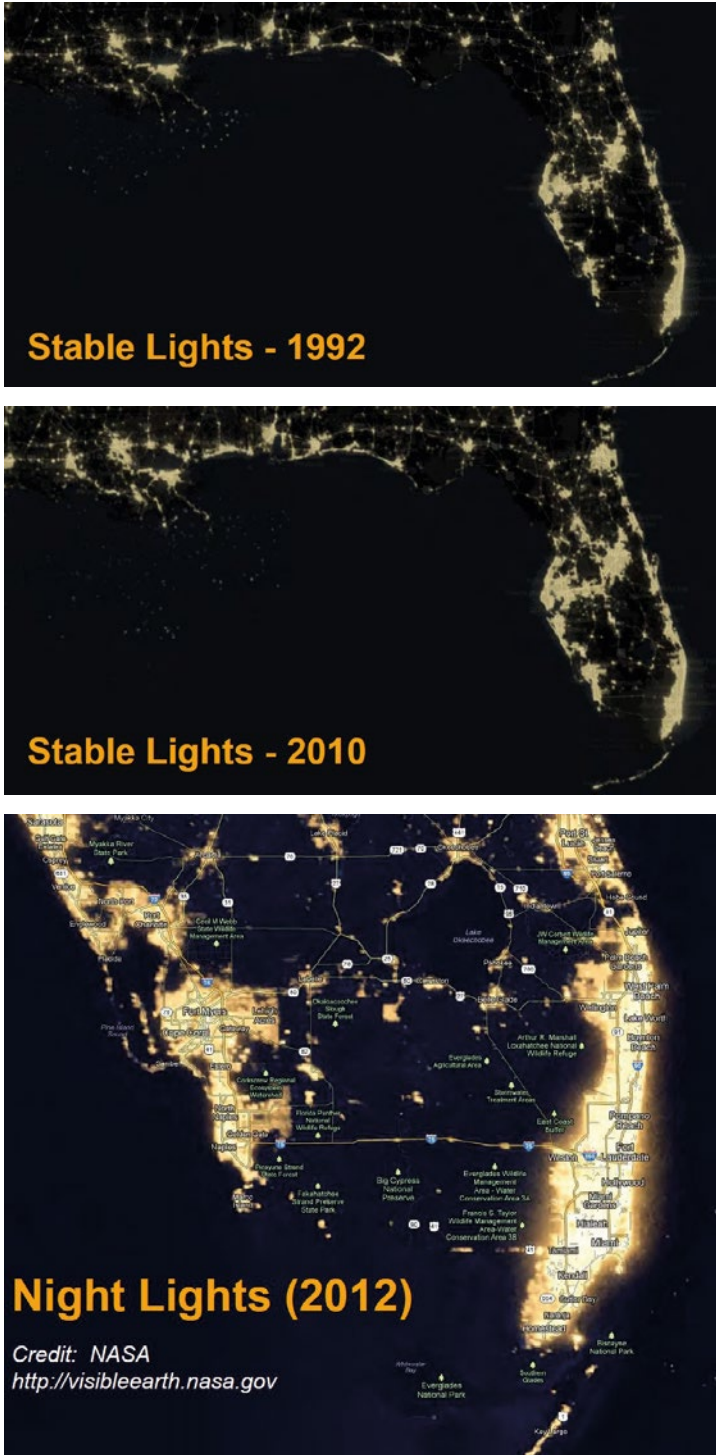


Рис. 4.9. Темпы светового загрязнения штата Южная Флорида

Из сравнительного анализа рисунков видно, как быстро распространяется световое загрязнение, которое в значительной степени зависит от светотехнических характеристик светильника, спектра его света и от загрязнения атмосферы микро- и наночастицами пыли. Свет рассеивается от частиц в атмосфере, что и вызывает ее дополнительное свечение. Поскольку искусственное освещение наиболее интенсивно и чрезмерно в городских районах, они и подвергаются наибольшему световому загрязнению. США являются лидером по уровню светового загрязнения в мире, в результате которого 2/3 населения США не видят звезд. Не исключено, что поэтому США является страной, лидирующей по количеству вымирающих видов живых организмов [4.16].

В настоящее время на первое место по световому загрязнению выходят страны Азии. Университет Гонконга опубликовал исследования, согласно которым город, в котором он расположен, занимает первое место в мире по уровню светового загрязнения. Из-за ярких неоновых ламп, которые никогда не гаснут, некоторые жители никогда не могут выспаться. Ночи в Гонконге примерно в десятки и сотни раз ярче, чем в любом европейском городе вроде Мадрида. При этом Гонконг, в отличие от Шанхая, Лондона или Сиднея, не прописал в законодательстве ограничений уровня светового загрязнения. Плотность населения Гонконга невероятно высока, так что световое загрязнение – серьезная проблема, приводящая к тому, что высокий процент жителей страдают бессонницей.

Кроме того, некоторые места города ночью освещены, как днем, и в этом нет никакого смысла. Сегодня граждане мегаполисов вместо 2500 звезд могут наблюдать только несколько десятков самых ярких. Звездное небо, по мнению психологов, оказывает огромное воздействие на психику человека. На вопрос «Из чего состоит коллективное бессознательное?» К. Г. Юнг отвечает с известной оговоркой, указывая, что мы не можем знать о нем всего. Но, по всей видимости, в него входит нечто наподобие мифологических образов и мотивов. «Вся мифология – это как бы своего рода проекция коллективного бессознательного», – полагает К. Г. Юнг. По его мнению, наиболее яркое воплощение этой проекции мы можем усмотреть в том, как человек воспринимает звездное небо. Человек призван не игнорировать бессознательные силы, а найти для них адекватное культурно-символическое выражение. Ведь бессознательное – это подлинный источник жизненных сил, без которого нет ощущения полноты жизни. Только гармония сознательного и бессознательного устраняет опасность, создавая здоровые и духовно богатые личности.

Из физиологии известно, что свет звездного неба находит свое отражение в матрице ганглиозных клеток сетчатки глаза, которые формируют управляющие сигналы для синтеза гормонов в клетках шишковидной железы. Именно гормональный спектр и определяет психическое состояние человека, когда он смотрит на звезды. Циклический процесс синтеза мелатонина под воздействием искусственного освещения (светового загрязнения) может вступить в диссонанс с астрономическим циклом работы шишковидной железы. Этот диссонанс нарушает гармонию антиоксидантной системы человека и циклического изменения концентрации кальция в пинеалоцитах,

что в итоге отрицательно сказывается на его здоровье, увеличивая риск заболевания в ближайшей и отдаленной перспективе.

Для информирования общественности и должностных лиц о вредном влиянии светового загрязнения на биосферу и человека в США в 1988 г. была создана Международная ассоциация «Темного неба», которая выпустила атлас светового загрязнения. Кроме затруднения наблюдения звездного неба, которое оказывает на человека огромное положительное эмоционально-психологическое воздействие, световое загрязнение приводит к нарушению биологических процессов в природе; цикла сна; приводит к ненужным дополнительным расходам энергии и денег. По причине избыточного освещения в США растрачивается более 2 миллионов баррелей нефти в день, от бессонницы страдает не только здоровье человека, но и его кошелек. Данное явление приносит убытки как отдельным гражданам, так и государству в целом. Американские специалисты подсчитали, что из-за недостатка сна человек не может в полной мере справляться с возложенным на него объемом работ, а также пропускает около 2 недель в год по причине возникающих проблем со здоровьем, вызванных бессонницей. Так, хроническое недосыпание способно привести к снижению годового уровня зарплаты простого американца на 2280 долларов. Сопоставив эту цифру с количеством людей, которые страдают бессонницей, ученые получили совершенно неожиданные данные – ежегодно бессонница «уводит» из экономики США более 63 млрд долларов. Власти Франции приняли решение ради экономии электроэнергии и сокращения светового загрязнения с 1 июля отключать ночную подсветку магазинов и офисных зданий. Со второго полугодия 2013 года владельцы всех нежилых зданий выключают освещение через час после того, как помещение покинет последний сотрудник. Вся внешняя подсветка, а также витрины должны быть выключены к часу ночи по местному времени. При этом для основных достопримечательностей страны, включая Эйфелеву башню, сделано исключение. Местным властям также разрешено осуществлять освещение рождественских и других праздников. По предварительным расчетам, новые правила сделают Францию первой в Европе страной, работающей над предотвращением светового загрязнения, которое разрушает экосистемы и ведет к нарушению сна. Подсчитано, что новый закон спасет около 2 тераватт/часов электроэнергии в год. Эта цифра эквивалентна годовому потреблению электроэнергии 750000 семей.

Кроме локальных примеров борьбы за темное ночное небо, в мире нарастает глобальное движение. К примеру, в Канаде правительство обязало владельцев небоскребов выключать служебное освещение зданий во время миграции перелетных птиц. В США вдоль побережья Флориды владельцы недвижимости обязаны выключать садовое освещение и занавешивать окна специальными шторами, дабы не сбивать с толку новорожденных морских черепашек. Ведь морские черепашки инстинктивно знают, что ночью океан более светлый, чем суша. И ползут на свет – на ярко освещенные городские улицы, где гибнут под колесами автомобилей, от голода, холода и нехватки влаги. Такие простые методы, как светонепроницаемые шторы и системы садового освещения с таймерами, каждый год спасают тысячи морских черепашек.

Небольшой рекламный щит приводит к гибели около 350 тысяч насекомых в год. Сбитые с толку ярким светом, они бессмысленно кружат вокруг лампочек, разбиваются о стекло светильников или сгорают в жаре ламп. Искусственный свет вредит и другим ночным животным. К примеру, летучим мышам, рептилиям и ночным птицам. Он не позволяет им охотиться, сбивает с пути и даже негативно влияет на брачный инстинкт. Чрезмерно яркий свет мегаполисов сбивает с пути и перелетных птиц, которые погибают от нехватки пищи и холода, так и не найдя своего миграционного маршрута. Коллективу биофизиков Массачусетского университета под руководством Стивена Реперта удалось идентифицировать белок, который обеспечивает плодовым мушкам-дрозофилам чувствительность к магнитному полю Земли [4.17].

Для экспериментов над дрозофилами ученые построили T-образный лабиринт, в основании которого поместили электромагнит, а в верхнюю часть – источник света. Часть подопытных мушек была предварительно приучена к получению пищевого стимула в месте электромагнитного излучения. При включенном свете и работающем электромагните все мушки летели в сторону магнита. Но как только ученые блокировали синий участок спектра источника света и ультрафиолет, то ни одна из мушек не смогла найти кормушку, расположенную на работающем электромагните [4.18].

Белок, названный криптохром, обладает высокой светочувствительностью и реагирует на голубой участок спектра, а также на ультрафиолет. Световое загрязнение воздействует на криптохром растений насекомых и птиц. На рис. 4.10 представлена зависимость влияния спектра света на биохимические процессы.

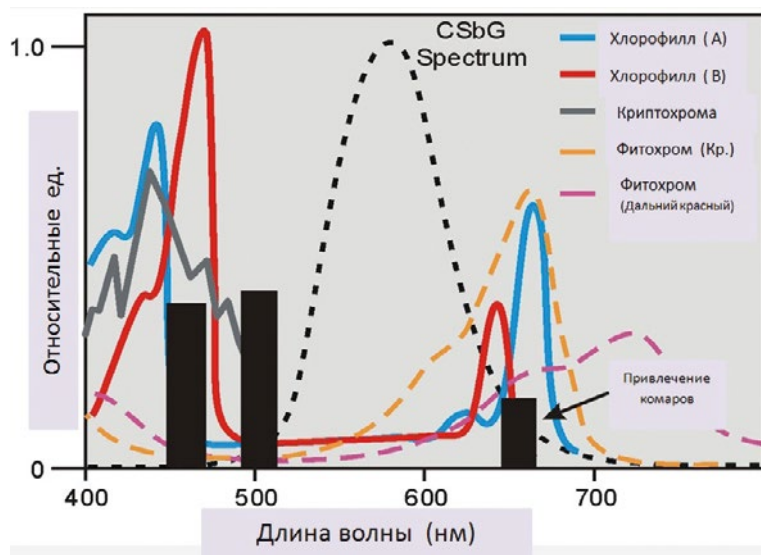


Рис. 4.10. Зависимость влияния спектра света на биохимические процессы

Белки криптохрома управляют как биологическими часами растений, животных, птиц, так и поведением насекомых. У человека основным регу-

лятором биологических циклов является мелатонин, который синтезируется в эпифизе человека в ночное время. При световом загрязнении в ночное время процесс синтеза мелатонина нарушается. Пока мы спим, мелатонин обеспечивает выполнение многих функций организма: он управляет эндокринной системой, оказывает влияние на иммунитет, его участие необходимо для правильного регулирования артериального давления, пищеварения и работы нейронов – клеток головного мозга. Но яркий свет перед отходом ко сну и во время сна нарушает выработку мелатонина, что чревато развитием опасных заболеваний.

Эпидемиолог Ричард Стивенс из министерства энергетики США обнаружил связь между раком молочной железы и световым загрязнением в конце 1980-х годов. Он показал, что темпы развития рака молочной железы были значительно выше в промышленно развитых странах, где ночное освещение (загрязнение) более интенсивно, чем в развивающихся регионах.

Отсутствие нормативных требований по световому загрязнению привело к тому, что при проектировании световых приборов и установок преобладает концепция «освещения максимальной площади».

На рис. 4.11 представлено сравнение в терминах нечетких множеств зависимости конструкции светильника и наблюдаемого звездного неба.

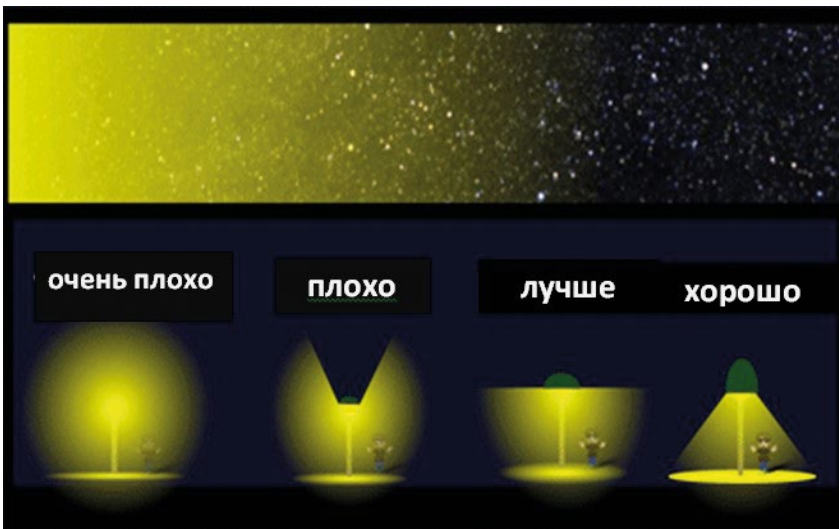
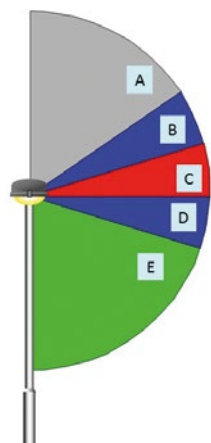


Рис. 4.11. Зависимость в терминах нечетких множеств конструкции светильника и наблюдаемости звездного неба

С точки зрения гигиениста, лучшим является светильник, который светит четко вниз. Диаграмма распределения света современного светильника приведена на рис. 4.12.

Световое загрязнение является нежелательным последствием наружного освещения и включает в себя такие эффекты, как свечение неба и блики света в окнах спальных помещений. Иллюстрация соотношения полезного света и компонентов светового загрязнения показаны на рис. 4.13.



A. 180–100 ° Критическая область для свечения неба изнутри городских районов, но обладающая пропорционально меньшим влиянием в сельской местности
B. 100–95 ° Значительный вклад в свечение неба, особенно в сельских районах, где это зависит от концентрации аэрозоля.

C. 99–90° Критическая зона для свечения неба в 10 км (в сельской местности), где она сильно зависит от аэрозольного рассеяния.

D. 90–70 ° Значительный вклад в свечение неба видится на расстоянии с помощью отражения, но отраженный свет, вероятно, будет затруднен из-за зданий, деревьев и топографии.

E. 70–0 ° Идеальное распределение света.

Рис. 4.12. Диаграмма распределения светового потока современного светильника

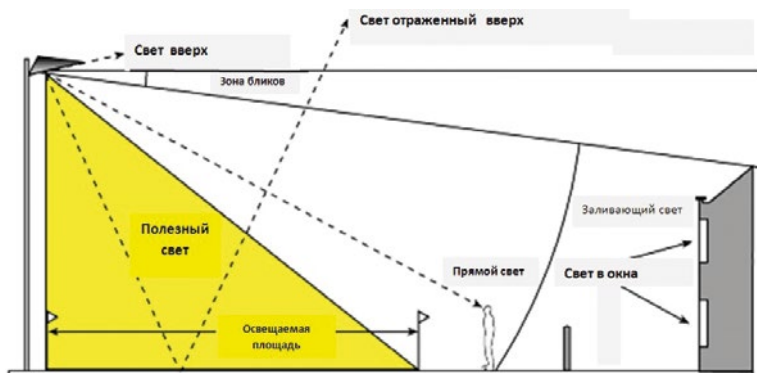


Рис. 4.13. Пример полезного освещения и светового загрязнения от типичного наружного светильника

Свет в окне в ночное время порождает световое загрязнение в жилых комнатах, что приводит к нарушениям сна и, как следствие, к подавлению синтеза мелатонина.



Рис. 4.14. Внешний вид окна со световым загрязнением от уличного светильника

В нормативном документе по светотехнике «Свод правил «Естественное и искусственное освещение» СП 52.13330.2011 в разделе Освещение территорий жилых районов и пункте 7.82 указано, что «Уровни суммарной вертикальной освещенности на окнах жилых зданий, создаваемые всеми видами установок наружного освещения, включая уличное, архитектурное, рекламное и витринное, не должны превышать значений, приведенных в таблице 4.1».

Таблица 4.1

Нормируемые значения вертикальной освещенности на окнах жилых зданий

Нормируемый показатель освещения проезжей части		Вертикальная освещенность на окнах жилых зданий, лк, не более
Средняя яркость, кд/м ²	Средняя освещенность, лк	
0,4	6	7
0,6–1,0	15–20	10
1,2–2,0	20–30	20

В этом же нормативном документе в пункте 7.84 говорится: «В целях ограничения засветки окон следует применять светильники с ограниченными значениями силы света в направлении окон или светильники с экранирующими решетками».

В документе ASSIST (Technical Paper: The potential of outdoor lighting for stimulating the human circadian system ASSIST: Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies) приведены результаты исследования выработки мелатонина при воздействии излучения двух типов светодиодов холодно-белого цвета свечения, металлогалогенной и натриевой лампы для разных уровней освещенности роговицы глаза (рис. 4.15).

При уровнях освещенности менее 20 лк было установлено снижение выработки на 12%, которое зависело от спектра источника света. Чем больше была доза синего света в спектре, тем выше уровень подавления процесса синтеза мелатонина. При полной темноте подавление мелатонина не происходило. Накопление дефицита мелатонина в течение длительного времени (на протяжении ряда лет) приводит к появлению дискомфорта сна – бессоннице – депрессии.

Из вышесказанного следуют очевидные методы уменьшения светового загрязнения:

- применение индивидуальных средств защиты (плотные шторы на окнах и специальные тканевые очки);
- управление диаграммой силы света светильников для обеспечения четких границ между освещенным и не освещенным пространством;
- управление световым потоком (силой света) светильника и продолжительностью освещения;
- управление спектром света светильника по законам его биологической адекватности времени суток и биоритмам окружающей флоры и фауны (при этом нужно помнить, что требуемые уровни освещенности зависят от спектра света).

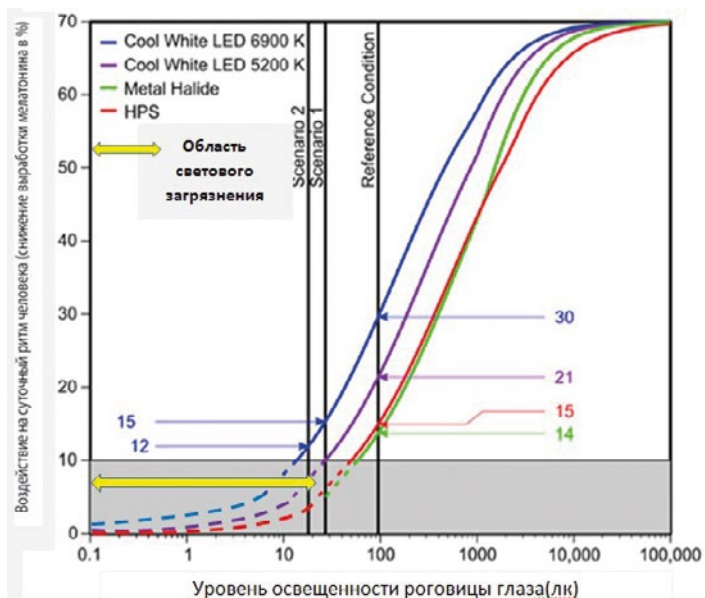


Рис. 4.15. Зависимость снижения выработки мелатонина (%) при воздействии излучения двух типов светодиодов холодного-белого цвета свечения, металлогалогенной и натриевой лампы [4.18]

Одним из направлений уменьшения влияния светового освещения на окружающую среду является управление световым потоком.

В таблице 4.2 представлена сравнительная оценка старой и новой концепции по сокращению светового загрязнения по площади освещения.

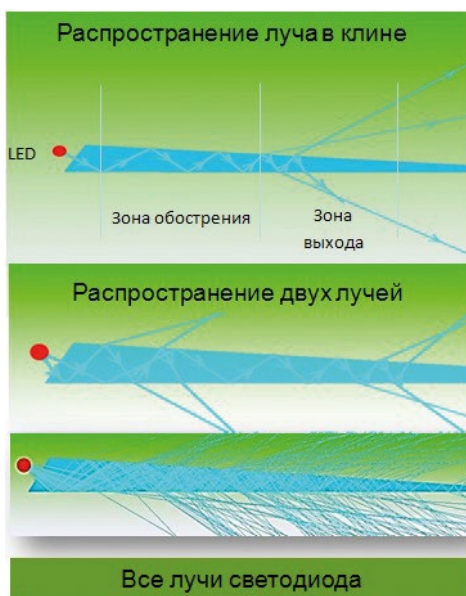
Таблица 4.2

Концепции управления световым потоком

Пример: Управление световым потоком по новой и старой концепции

Световой поток	НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ ОПТИМИЗАЦИИ СВЕТОВОГО ПОТОКА	Обычное уличное освещение
Световой поток		
Потребляемая мощность		
Потребляемая мощность	2кд/м ²	2кд/м ²
Яркость светового потока		
Яркость светового потока	2кд/м ²	2кд/м ²

Учитывая вышесказанное, коллективом авторов была разработана новая концепция проектирования светодиодных светильников с минимальным световым загрязнением. Суть этой концепции – светить нужно с заданным качеством света только в нужное место и в заданный промежуток времени. Для реализации этой концепции было разработано техническое решение, суть которого изложена в патенте [4.20, 4.421] и состоит в следующем. Учитывая, что светодиоды являются идеальными точечными высокоинтенсивными источниками света, для них была разработана вторичная оптика – световая панель в виде градиентного световодного формирователя (ГСФ). Светодиодный светильник с ГСФ-оптикой обладает низким фактором ослепления, повышенной освещенностью дорожного покрытия и низким «световым загрязнением» [4.22]. Панель ГСФ, в упрощенном варианте – плоский тонкий клин, с торца которого вводится свет от линейки светодиодов, – рис. 4.16 а.



а)



б)

Рис. 4.16. (а) – ход световых лучей в ГСФ от СИД-линейки (точка в левом верхнем углу), (б) – светящаяся поверхность ГСФ

Распространяясь вдоль ГСФ, луч света отражается полным внутренним отражением от плоских поверхностей ГСФ, и свет равномерно распределяется по поперечному сечению панели. По мере распространения угол падения луча изнутри на поверхность ГСФ уменьшается и становится меньше угла полного внутреннего отражения, после чего луч за 2–3 отражения выходит из ГСФ. Несложно видеть, что различные области пучка конечной угловой апертуры СИД – линейки выйдут в различных участках клина-ГСФ, таким образом, на выходе ГСФ формируется несколько изображений линейки. Из-за аберраций каждое из изображений расплывается – увеличивается в размерах по сравнению с источниками – светящимися поверхностями самих СИД. На практике изображения СИД-линейки на выходе ГСФ сливаются, и вся поверхность ГСФ, за исключением ее малой части вблизи торца с линейкой СИД, воспринимается, как равномерно светящаяся – рис. 4.14, б. Таким образом, яркость изображений источников, формируемых ГСФ, оказывается существенно ниже яркости исходных СИД, что, как показывают приведенные результаты, достаточно для [4.21] снижения фактора ослепления до приемлемой величины. Отсутствие диффузных рассеивателей в осветительных системах с ГСФ позволяет уменьшить «собственные» (т. е. без учета потерь на ввод излучения) потери в ГСФ до 2%.

Разработанные авторами ГСФ сложнее, чем обычный плоский клин, так как они, помимо снижения фактора ослепления, должны формировать требуемую КСС. В принципе, вариация КСС достигается соответствующим «искривлением» ГСФ – изменением формы клина, но задача точного подбора формы клина под заданную КСС весьма сложна и пока решается, в основном, экспериментально, тем более что реальный ГСФ в светильнике должен удовлетворять различным технологическим (надежность крепления, обеспечение теплоотвода от СИД-линейки, ограничения по габаритам) и экономическим (по стоимости материала и изготовления) требованиям.

Оказалось, что помимо высокой эффективности и низкого ослепления эти светильники весьма экологичны: их КСС такова, что существенно снижает «световое загрязнение»: если такие светильники установить на улицах вблизи окон домов, они практически не посылают свет в окна и не беспокоят находящихся в зданиях людей, но освещают только надлежащую часть улицы, парка – рис. 4.17.

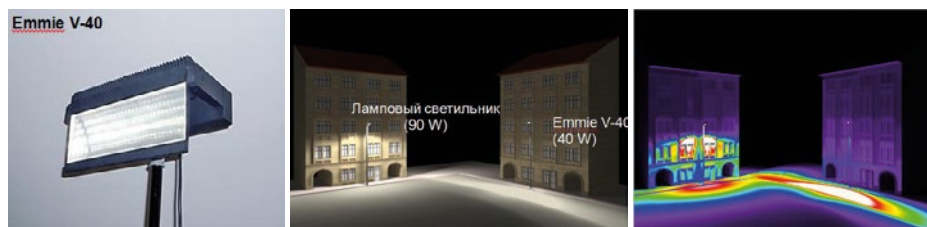


Рис. 4.17. Общий вид светильника с ГСФ типа EMMIE V-40 и результат моделирования светового загрязнения [4.21]

Эта «экологическая» особенность ГСФ-СИД-светильников вызвала большой интерес к ним, в частности, в Германии. Теоретический анализ ГСФ светильников в настоящее время проводится для оптимизации их полезных свойств, в т. ч. «экологической» КСС. Конструкция в целом и отдельные элементы конструкции СИД-светильников с ГСФ запатентованы в РФ и зарубежных странах, имеют сертификаты и призы международных выставок, в том числе золотую медаль выставки IENA 2011, Нюрнберг, 2011.

Из рассмотрения данного раздела вытекают следующие гигиенические следствия.

Следствие первое. Световое загрязнение мегаполисов стало одним из факторов окружающей среды, оказывающих многофакторное воздействие на человека.

Следствие второе. Необходимо пересмотреть нормативную документацию по искусственному освещению с учетом вновь выявленных негативных свойств светового загрязнения.

Kyra Xavia в статье «Уход, осторожность и осведомленность необходимы при использовании светодиодных фонарей» (<https://www.led-professional.com/resources-1/articles/care-caution-awareness-are-needed-when-using-led-lights>) обращает внимание на то, что освещение является обширной и сложной темой, но, несмотря на путаницу, которая окружает светодиодные технологии, ясно, что мы находимся в начале большого пути в его безопасное применение и развертывание. Нигде это не является более очевидным, чем с уличным освещением. Хотя светодиодная технология позволила обильное использование дешевого света с экономией энергии, эксплуатационным и техническим обслуживанием, привлекательным для муниципалитетов по всему миру, такой свет может быть ярче, более светозагрязнительным и разрушительным, чем свет, который он заменяет, вызывая много проблем. Как может светодиодное освещение, которое применяется сегодня, считаться улучшением, если оно повреждает ткани глаза, предотвращает качественный сон, вызывает боль и дискомфорт, вредит здоровью, ухудшает зрение, ставит под угрозу безопасность вождения, ухудшает атмосферу жилых и общественных зданий, исторических мест и архитектуры, подвергает опасности флору и фауну, угрожает окружающей среде?

Проще говоря, не имеет значения, насколько энергоэффективным является источник света, как длинна его продолжительность жизни, – если это вызывает деградацию и вред, это ложная экономика.

В то время как неблагоприятные эффекты голубой длины волн света в ночное время больше не могут быть исключены, прохладные белые светодиоды печально известны своим суровым, фототоксичным светом, сильным контрастом, ослепительной яркостью и опасными бликами, приводящими к инвалидности. Дешевые и плохо спроектированные светодиодные светильники могут неравномерно распределять свет, провоцируя нежелательное нарушение света, мерцание и электромагнитные помехи. Кроме того, хотя это небольшая вероятность, короткие синие длины волн света, направленные на землю, могут легко отразиться обратно в атмосферу, увеличивая световое загрязнение.

Сегодня принято утверждать, что яркое белое освещение повышает безопасность, но мы должны быть осторожны, объявляя «улучшенное» качество света от светодиодов. Такие заявления должны быть поставлены под сомнение до полного выяснения всех их свойств. Образование и прозрачность являются ключевыми моментами для понимания их зрительного и незрительного воздействия. Новые доказательства и миллионы лет эволюции противостоят этим утверждениям. Действительно, чем больше мы узнаем о фотобиологии, хронобиологии и человеческом видении, тем очевиднее, что яркое ночное освещение наших улиц является ошибочным.

Биология на Земле развивалась циклами с чередованием света и темноты, и, как и многие другие организмы, люди изысканно чувствительны к свету. Наше здоровье зависит от использования наименее разрушительного света в ночное время, а восстановительный отдых зависит от полной темноты. Это означает, что искусственный свет должен быть более биологически ответственным.

Думая о будущем, мы задаемся вопросом, что еще нам нужно, чтобы узнать о свете в целом и как организм реагирует на него. Смена парадигмы в использовании света необходима, потому что свет оказывает такое же мощное воздействие на организм человека, как и фармацевтика. По умолчанию, светоиндустрия должна нести ответственность за надежное тестирование светодиодных продуктов, чтобы доказать их безопасность и пригодность, прежде чем они выходят на рынок.

Итак, как должно выглядеть ответственное уличное освещение? В идеале светильник должен быть защищен, приятен для глаз, равномерно распределен, и практически выдавать только нужное количество света там, где и когда это необходимо. Светодиодные фонари не должны быть ярче, чем свет, который они заменяют, с аналогичным или улучшенным соотношением scotopic/photopic (S/P) 0,4 к 0,6 (соотношение S/P характеризует, сколько света, излучаемого источником света, полезно человеческому глазу при скотопическом зрении и сколько светового загрязнения можно ожидать). Свет должен быть теплым (2200 К или ниже) с соответствующим спектральным распределением мощности (минимальные синие и зеленые длины волн) и обеспечивать адекватную цветовую визуализацию.

Раздел 4.2. Световое загрязнение как информационный риск для экосистемы и человека

Проблема светового загрязнения обостряется с внедрением светодиодного освещения, которое в своем спектре имеет значительную дозу синего. Именно в этом диапазоне длин волн экосистема наиболее уязвима. Ученые из Новой Зеландии выяснили, что свет синих светодиодов, за изобретение которых в 2014 году присудили Нобелевскую премию по физике, привлекает в полтора раза больше насекомых, чем излучение обычных уличных фонарей [4.22].

О губительном воздействии света от светодиодов на экосистему сообщается в журнале *Ecological Applications*, а кратко об исследовании рассказывает интернет-издание *Tech Xplore* [4.23].

Системы уличного освещения в развитых странах сейчас представлены натриевыми газоразрядными лампами, излучающими желтый свет. Однако насекомые больше тяготеют к синему свету (460 нм), который испускают светодиоды. Человеку он кажется белым благодаря слою люминофора, «подмешивающему» к излучению синего светодиода белизну, *но насекомые различают истинную окраску лампы*. Чтобы точно сравнить привлекательность светодиодов и натриевых ламп для членистоногих, Стивен Поусон (Stephen Pawson) и Мартин Бэйдер (Martin Bader) расположили фонари обоих типов у больших листов клейкой бумаги и оставили ночью на поле в сельской местности. Утром ученые обнаружили, что светодиод привлек на 48% больше мотыльков, мух и других насекомых. Последующие опыты привели к сходным результатам [4.23]. Независимо от типа, фильтров и фирмы-производителя светодиодов, эти лампы привлекали массу насекомых. Следовательно, синие светодиоды нарушают функционирование пищевых цепей и притягивают беспозвоночных из сельской местности в города. Установка светодиодного освещения в морских портах может способствовать экспансии инвазивных видов (например, непарного шелкопряда), отмечают ученые [4.24]. При этом необходимо отметить, что световое загрязнение негативно воздействует на следующий уровень пищевой цепочки – на лягушек, ящериц и змей. Это обусловлено тем, что они имеют общий светочувствительный опсин – мелатонин, который обнаружен и в ганглиозных клетках сетчатки глаза человека, что породило всплеск исследований по оценке рисков негативного влияния синего света на здоровье.

Именно меланопсин под действием синего света в ночное время подавляет выработку в шишковидной железе мелатонина и сдвигает биологические часы. Это увеличивает риски возникновения нарушений здоровья. Мелатонин объединяет рептилий и человека, а радость познания через ноутбук со светодиодной подсветкой экрана омрачается увеличением риска негативного влияния на гормональную систему. При этом возникает вопрос о биологической адекватности спектра света современных энергосберегающих источников света.

Это связано с известным фактом, что свет от полупроводниковых источников является поляризованным, а от ламп накаливания неполяризованным. Неполяризованный солнечный свет после взаимодействия с атмосферой Земли становится частично поляризованным. После того, как был установлен факт ориентации пчел по поляризованному свету небосвода, исследования по влиянию поляризации света на экосистему и человека стали привлекать внимание все большего числа ученых.

Именно спектры света дневного неба создают на небосводе особую систему координат поляризованного света, которая позволяет пчелам ориентироваться в пространстве и выполнять свои физиологические функции. Многие животные также могут использовать уникальные характеристики света (прямого и отраженного) – его направленную поляризацию – в качестве источника информации. В настоящее время уже введен термин «поляризованное светозагрязнение» (ПСЗ), чтобы обратить внимание на экологическое влияние света, который становится поляризованным после

взаимодействия с антропогенными объектами [4.25], но при этом не рассматриваются вопросы влияния на этот процесс светодиодных прожекторов и светильников.

Изменение естественных циклов света и темноты искусственными источниками света оказывает разрушительное воздействие на биологические объекты экосистемы [4.24]. Неестественные поляризованные источники света могут вызвать неадекватное поведение биологических объектов. ПСЗ является побочным продуктом человеческой технологии, и смягчение его эффектов может решаться избирательным применением строительных материалов, но массовое применение искусственных источников света может существенно исказить картину мира. Эффект деполаризации света небосвода от светового загрязнения представлен на рис. 4.18.

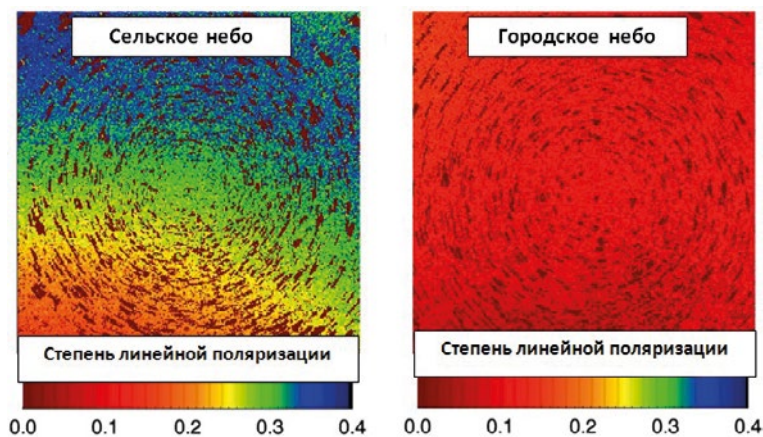


Рис. 4.18. Степень поляризации небосвода в сельской местности и в городе [4.26]

Представленные данные говорят о том, что изменение поляризации небосвода повышает риски негативного воздействия на насекомых и экосистему в целом, так как дезорганизуется их система ориентации по поляризационному свету. Это может стать причиной гибели многих видов насекомых. Например, США, являясь лидером по уровню светового загрязнения в мире, лидируют по количеству вымирающих видов живых организмов и, в частности, пчел. Свето-информационное загрязнение воздействует и на человека, вызывая нарушения в состоянии здоровья. Исследованиями американских и израильских ученых за последние 3 года получены очень интересные эпидемиологические данные. Они наложили карту светового загрязнения на карту распределения зон концентрации опухолевых заболеваний. Эксперимент показал, что карта частоты развития рака молочной железы у женщин и рака предстательной железы у мужчин по 164 странам полностью совпадала с картой светового загрязнения [4.26].

Эпидемиолог Ричард Стивенс из министерства энергетики США, изучая в конце 1980-х годов связь между раком молочной железы и световым загрязнением, обнаружил, что темпы развития заболевания были значитель-

но выше в промышленно развитых странах, где ночное освещение (загрязнение) было интенсивнее, чем в развивающихся регионах. В этих странах и доля ВВП на одного человека была выше. На рис. 4.19 приведена зависимость доли заболевания раком и простатитом на 100000 человек в зависимости от доли ВВП на душу населения.

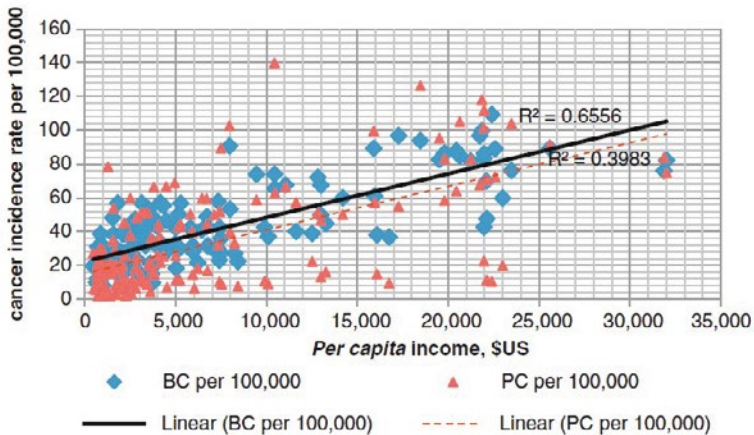
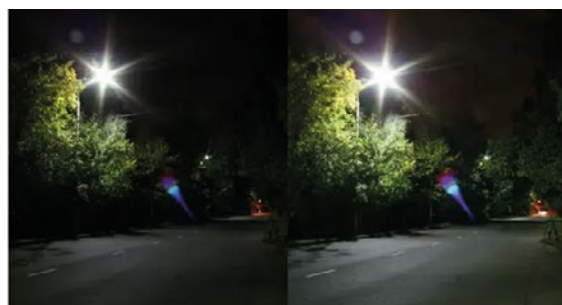


Рис. 4.19. Связь между заболеваемостью раком простаты (ПК) и молочной железы (РМЖ) и ВВП на душу населения (\$США) в 164 странах мира [4.27]

В настоящее время для снижения негативного воздействия свето-информационного загрязнения на экосистему и человека принимаются меры по управлению силой света, уменьшению поляризации света от энергосберегающих ламп (светодиодных ламп) до уровня лампы накаливания. Считается, что человеческий глаз весьма чувствителен к цвету (то есть к длине волны) и яркости света, но третья характеристика света, поляризация, ему практически недоступна. Обычный солнечный свет распространяется во всех направлениях трехмерного пространства, но в атмосфере Земли он частично поляризуется и распространяется преимущественно в двух направлениях – горизонтальном и вертикальном.

«Вертикальная» составляющая приносит человеку полезную информацию, позволяя распознавать цвета и контраст. «Горизонтальная» составляющая создает «оптические помехи», или блики (отсвечивание). Блик – это концентрированный отраженный свет – часто слепящий и всегда болезненно воздействующий на глаза. Концентрированный горизонтальный свет просто создает оптические шумы, которые ограничивают поле нашего зрения и могут привести к неверной оценке или дискомфорту при обработке зрительной информации. Особенно опасен слепящий блеск для работников транспорта. Асфальтовое покрытие шоссе, полированные поверхности автомобилей, снег, залитый солнцем или мокрые после дождя поверхности – идеальные источники отраженных бликов. Блики снижают зрительную активность водителя до 30%. Кроме того, ему часто приходится бороться с бликами от приборной панели на переднем стекле транспортного

средства. Эта ситуация опасна не только усталостью глаз, головной болью, но и возможностью аварий. Наглядным примером воздействия светодиодного света на дискомфорт его восприятия являются результаты сравнительных испытаний, проведенных ВНИСИ им. С. И. Вавилова по заданию ГУП «Моссвет». На рис. 4.20 и 4.21 приведены результаты сравнительных испытаний светильников со светодиодами с «холодным» и «теплым» светом при освещении сухого и мокрого асфальта.



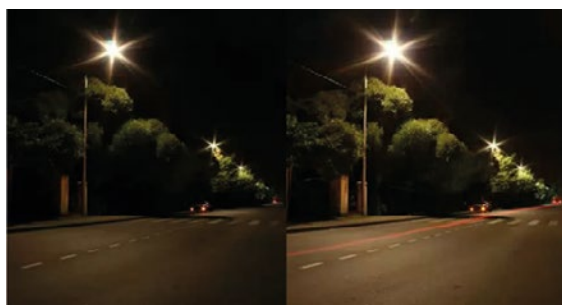
Сухой асфальт

Мокрый от дождя асфальт

Рис. 4.20. Эффект ослепления от светодиодного светильника (со светодиодами «холодного света») и от бликов на мокром асфальте

Мнение эксперта.

Применены светодиоды с линзами «холодный свет» с большой дозой синего света. В спектре получилась яркая звездочка. Увы, в жизни так и есть – этот светильник действительно сильно ослепляет водителей. В дождь от него еще и неприятный сильный блик на мокром асфальте. Это худший светильник по степени ослепления.



Сухой асфальт

Мокрый от дождя асфальт

Рис. 4.21. Эффект ослепления от светодиодного светильника (со светодиодами «теплого света») и от бликов на мокром асфальте

Мнение эксперта.

Применены светодиоды с линзами «теплый свет». В их спектре доза синего света меньше. Получилась менее яркая звездочка. Ослепление присутствует, но за счет использования теплого оттенка света светодиодов оно имеет в разы меньший эффект. Нет серьезных бликов на мокром асфальте.

Зрительный анализатор человека ощущает больший дискомфорт от горизонтальной поляризации «холодного» света, отраженного от мокрого асфальта, чем от отраженного «теплого» света. Чем выше цветовая температура источника света, тем большая доля синего света в спектре и тем значительнее ощущается негативное влияние горизонтальной поляризации света. Чем выше степень вертикальной поляризации синего света, тем мощнее воздействие бликов. Глаз водителя не распознает эффекты поляризации света, но он ощущает пагубное воздействие горизонтальной

поляризации. Специалисты лаборатории профессионального отбора психофизиологии и реабилитации ФГУП ВНИИЖГ Роспотребнадзора провели исследования по влиянию света светодиодов и от штатных ламповых светильников на психофизиологическое состояние человека (машиниста подвижного состава РЖД). В ходе проведенных исследований были выявлены случаи, когда испытуемые в условиях светодиодного освещения путали цвета сигналов. Специалисты ГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России в результатах исследований по влиянию светодиодного освещения на зрительный анализатор отмечали у 13% волонтеров, принявших участие в эксперименте по оценке восприятия предметов, текста на бумаге и электронных носителях в условиях светодиодного освещения, незначительное ухудшение восприятия света и цвета. Цвет – это зрительное восприятие отраженного света. Вертикально поляризованный свет несет информацию о цвете. Это значит, что для правильного определения цвета предмета его нужно освещать неполяризованным источником света с широким спектром (солнце, галогенная лампа и лампа накаливания). Правильного восприятия цвета в условиях светодиодного освещения можно достигнуть, решив проблему свето-информационного загрязнения. В частности, информационное загрязнение для водителя – это затруднения в распознавании дорожных знаков. В условиях тумана дорожные знаки видно лучше при освещении натриевыми лампами высокого давления (HPS), чем при светодиодном освещении [4.29].

Из рассмотрения данного раздела вытекают следующие гигиенические следствия.

Следствие первое. Минимизации новых рисков негативного влияния на экосистему и человека в условиях светоинформационного загрязнения, которое расширяется по логарифмическому закону, можно добиться после тщательного изучения этой проблемы, принятия и реализации научно обоснованной Государственной программы.

Следствие второе. После разработки критериев светоинформационного загрязнения они должны обязательно вноситься в нормативно-правовые документы по гигиене труда, коммунальной гигиене и охране труда.

Гигиенические и экологические проблемы энергосберегающего освещения при урбанизации Крыма [4.31].

Возрастающая энерговооруженность энергосистемы Крыма в скором будущем приведет к буму в развитии его промышленности и транспорта, явится побуждающей предпосылкой к росту темпов его урбанизации. Локализация возрастающего населения в Крыму обострит старые экологические проблемы и породит новую проблему – световое загрязнение. В перспективе с ростом населения Крыма уровень светового загрязнения может достигнуть уровня урбанизированного острова Сицилии. Эти территории сопоставимы по площади (площадь полуострова Крым – 27000 км² при населении 2284400 человек, а площадь острова Сицилия – 25832,39 км² при населении 5092732 человека), но разнятся по уровню населения. Высокий уровень светового загрязнения хорошо коррелирует с увеличением бессонницы, которая может быть предпосылкой для возникновения многих тяже-

лых болезней, снизит курортно-оздоровительную роль Крыма и потребует комплексного решения проблемы освещения его территории.

Следующим посылом к урбанизации Крыма может стать создаваемая международная транспортная артерия Китай – Европа, транспортный поток которой рассекает его территорию на две части и создаст дополнительную экологическую нагрузку. Главным звеном этой артерии является транспортный переход через Керченский пролив (Керченский мост), проект которого разрабатывался с учетом рекомендаций представителей научного сообщества Крыма и Кубани, специалистов Росприроднадзора, Росводресурсов, Росгидромета, Росрыболовства, ВНИИ охраны окружающей среды, Институтов геоэкологии и океанологии РАН, географического факультета МГУ.

Транспортные характеристики Керченского моста хорошо известны, в том числе информация о принятых мерах по снижению экологической нагрузки, но отсутствуют сведения о световой нагрузке светотехнического оборудования моста на окружающую среду (фауну и флору прибрежной зоны пролива, острова, косы Тузла и водной среды пролива).

Через пролив между Азовским и Черным морями мигрируют косяки хамсы, керченской сельди и других промысловых рыб. Для сохранения этой популяции очень важно не нарушать графики ее миграции из Азовского в Черное море, с учетом исторически сложившейся береговой линии, которая в течение многих веков освещалась только естественным светом Солнца и Луны. В работе [4.31] показано, как изменение береговой линии косы Тузла влияет на изменение поведения рыб и промысловой обстановки в Керченском проливе в период с 1925 г. и до 2008 года.

До прорыва косы Тузла в 1925 г. она была естественным барьером в южной части Керченского пролива, который способствовал осенней концентрации у входа в Таманский залив вдоль кубанского берега рыбных косяков, мигрирующих из Азовского моря в Черное море на зимовку. Отсюда рыба шла далее вдоль косы Тузла на запад к Павловской узости и в Черное море. Весной коса Тузла также направляла в Павловскую узость кефаль, часть сельдей, барабули и молодь хамсы, следующих уже из Черного моря для нагула в Азовское море. При этом косяки рыбы скапливались в районе Камыш-Бурунской косы. После сильного шторма и прорыва косы Тузла в 1925 году пути осенних и весенних миграций рыбы существенно изменились. Виды, зимующие у черноморских берегов Кавказа, стали проходить туда и возвращаться весной для нагула в Азовское море кратчайшим путем через Тузлинскую промоину, что снизило вероятность, продолжительность и сроки ее скопления в Таманском заливе и вдоль западного побережья пролива у Камыш-Бурунской косы. Учитывая рекомендации ихтиологов и океанологов [4.31], по обеспечению миграции рыб и судоходства маломерных судов, между островом Тузла и косой Тузла был построен мост, а не дамба. Проектировщики оставили водный проход шириной 1,4 км для миграции рыб.

Основные виды рыб, постоянно или периодически встречающихся сегодня в зоне Керченского пролива, и особенности их жизненных циклов наиболее представлены в табл. 4.3.

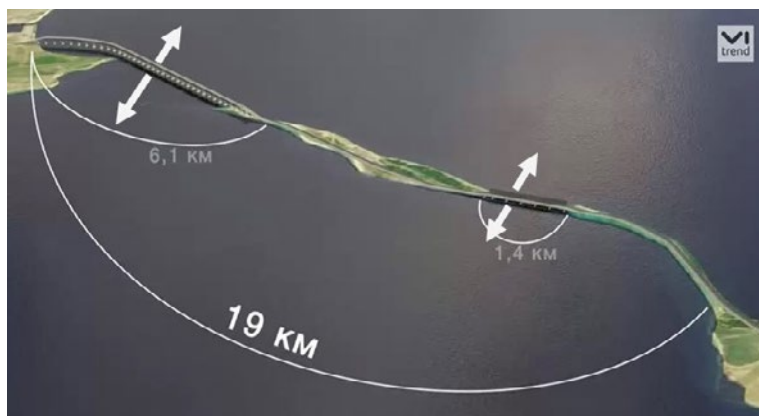


Рис. 4.22. Общая схема Керченского транспортного перехода с указанием стрелками пути миграции рыб

Таблица 4.3

Биологическое состояние и поведение основных промысловых рыб Керченского пролива в течение года

Объект	Сезон			
	Весна	Лето	Осень	Зима
Бычок	Конец марта – начало апреля. Подход к берегу на нерест ($T_{воды}=10^{\circ}\text{C}$). Биомасса 20-60 кг/га	Июль-август (до ноября). Взрослые особи и сеголетки нагуливаются в зоне порт Крым-Кавказ, Керченская бухта, ЮЗ побережье пролива	До ноября нагул в прибрежной зоне пролива. После ноября отход от берега в более глубоководные районы Азовского моря	Зимовка в Азовском море в основной вне зоны пролива
Азовская хамса	В апреле ($T_{воды}=9-11^{\circ}\text{C}$) в течение 20 дней взрослые особи проходят пролив разреженными косяками с мест зимовки в Черном море для нагула и нереста в Азовское море. В мае-июне за ними следует молодь	До конца июля нерест и нагул в Азовском море вне зоны пролива при температуре $18-26^{\circ}\text{C}$. Июль-сентябрь молодь начинает обратную миграцию в Черное море	Сентябрь-ноябрь к мигрирующей в Черное море молоди присоединяются взрослые особи. Отдельные косяки задерживаются в проливе больше месяца. При резком похолодании миграция проходит более активно	Зимовка в восточной части Черного моря вне зоны пролива
Кефаль-лобан	Середина марта – заход в пролив из Черного моря, а в конце апреля – начале мая – массовый ход косяков через пролив в Азовское море для нагула. В мае-июне половозрелые особи выходят из пролива для нереста в Черное море	Июль-сентябрь – нагул молоди в проливе и Азовском море. Нерест взрослых особей в Черном море вне зоны пролива	Сентябрь – выход молоди и сеголетков из пролива и Азовского моря в Черное море на зимовку	Зимовка в бухтах Северного Кавказа вне зоны пролива
Кефаль-сингиль	Середина марта – начало мая – подход к проливу со стороны Черного моря для нагула. Май-июнь – половозрелые особи выходят (до сентября) из пролива на нерест в Черное море	Нагул в проливе и Азовском море. Август-сентябрь – пролив покидают половозрелые особи. Со второй половины августа (до ноября) сеголетки держатся в проливе	Октябрь-ноябрь – из пролива уходят в Черное море неполовозрелые особи ($T_{воды}=12,4-16^{\circ}\text{C}$)	Зимовка в Черном море в бухтах Крыма вне зоны пролива
Азовский пузанок, проходная (керченская) сельдь	Середина, максимум конец марта – начало апреля – заход в пролив с Черного моря при $T_{воды}=4-5^{\circ}\text{C}$ и выше. Крупные особи заходят с начала марта по начало мая, а мелкие – со второй половины марта по конец мая	До июля нагул в Азовском море. Конец июля – начало обратной миграции через пролив в Черное море мелких форм	До ноября миграция через пролив в Черное море крупных особей	Зимовка в Черном море вне зоны пролива

Как видно из таблицы 4.3, большинство рыб нагуливают биомассу в Керченском проливе, поедая фитопланктон.

В настоящее время Керченский пролив становится перекрестком пути миграции рыб и транспортного потока по мосту, осветительное оборудование которого создаст световое загрязнение поверхности моря и новые риски возникновения «кормовой пробки» из фитопланктона на мелководье между островом и косой Тузла. Это пример пересечения гигиенической проблемы создания оптимального освещения для транспорта и экологических проблем для биоценоза.

Возникновение «кормовой пробки» повышает риски смещения временных графиков миграции рыб из-за изменения массы фитопланктона в районе Керченского транспортного перехода, который состоит из двух транспортных ниток – автомобильной и железнодорожной. Автомобильный транспортный переход оборудован светодиодными дорожными светильниками, которые наряду с освещением дорожного полотна будут создавать световое загрязнение на водной поверхности пролива.

На рис. 4.23 представлен фрагмент общей схемы размещения осветительного оборудования автомобильного моста керченского транспортного перехода.

Общая световая нагрузка на окружающую среду около 26945000 лм при:
 общей длине осветительной сети автомобильного перехода – 38000 м;
 шаге между опорами – 30 м;
 кол-во опор (светильников) – 1268 шт.;
 световой поток одного светодиодного светильника – 21250 лм.

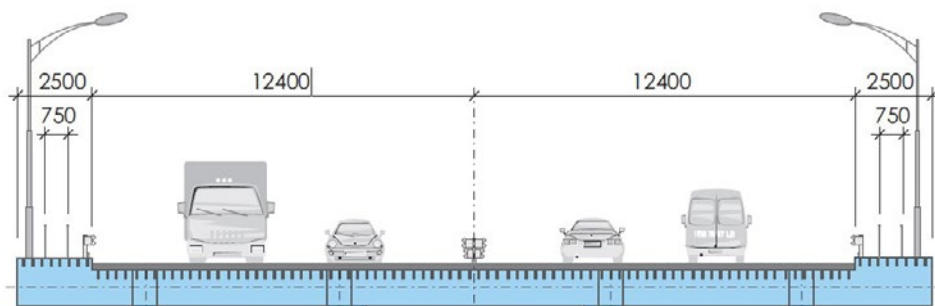


Рис. 4.23. Общая схема размещения осветительного оборудования автомобильного моста Керченского транспортного перехода

Согласно проектной документации, автомобильный мост имеет перепады по высоте от уровня береговой линии до 35 м в месте пересечения морского канала в Керченском проливе между островом Тузла и береговой линией Крыма в районе города Керчи.

В настоящее время разработчики осветительной системы моделируют световую нагрузку на водную среду Керченского пролива. На рис. 4.24 приведен фрагмент результатов моделирования уровня светового загрязнения поверхности моря при высоте моста 24 метра. Чем ниже мост, тем выше уровень светового загрязнения от светодиодных источников света, который

соизмерим с уровнем освещенности при лунном освещении (от 0,03–0,04 лк до 0,2–1 лк).

При этом важно отметить, что от колбочкового к палочковому зрению рыбы переходят уже при освещенности 1–0,01 лк, что может привести к дисгармонизации их суточных ритмов.

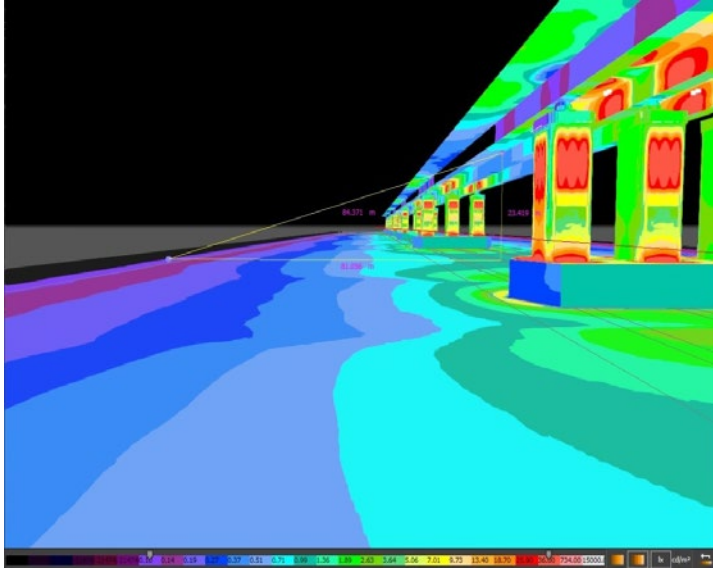


Рис. 4.24. Фрагмент результатов моделирования светового загрязнения водной поверхности в акватории Керченского моста

При высоте моста 24 метра световое загрязнение распространяется более 80 метров в каждую сторону от моста. Из консультаций с учеными-ихтиологами и океанологами, которые в той или иной степени сталкивались с изучением Керченского пролива, можно сделать вывод, что предполагаемый уровень освещенности моря, который будет наблюдаться вблизи моста, по их мнению, мало повлияет на установившееся поведение рыб в данном ареале, но при этом они не учитывают изменения биомассы фитопланктона.

Все их исследования и моделирование увеличения массы фитопланктона основаны исходя из освещенности солнечным спектром света с учетом времени суток и года [4.3, 4.33, 4.34, 4.35 и 4.36] без учета влияния искусственного света. При этом в их модели учитываются следующие параметры (таблица 4.4).

Все приведенные в таблице 4.4 параметры относятся к солнечному свету и поглощению его фитопланктоном.

Однако светодиодный свет отличается от спектра солнечного света по уровню избыточной дозы синего света и его избирательному воздействию на фитопланктон.

Фитопланктон в Азовском море включает в себя около 183 форм. В Керченском проливе по биомассе господствуют диатомовые – 94%, на долю синезеленых приходится 4%, динофитовых – 2%, остальные – менее 1%.

Фитопланктонные сообщества Азовского моря являются основными производителями органического вещества и, располагаясь в начале трофической цепи биоценоза, во многом обуславливают состояние кормовой базы и, следовательно, жизнеспособность популяций промысловых рыб и скорость их миграции. У основной массы рыб и планктона, обитающих в водах Керченского пролива, присутствует положительный светотаксис (они стремятся к свету).

Таблица 4.4

Моделирование увеличения массы фитопланктона

Наименование	Единицы измерения	Значение
Глубина фотического слоя	м	100
Коэффициент турбулентной диффузии	$\text{м}^2 \text{сут}^{-1}$	10.0
Максимальная удельная скорость роста фитопланктона	сут^{-1}	0.96
Удельная смертность фитопланктона	сут^{-1}	0.1
Константа полунасыщения для питательных веществ	г м^{-3}	4.0
Константа полунасыщения для освещенности	моль фотонов $\text{м}^{-2} \text{сут}^{-1}$	6.0
Доля учтенных минеральных веществ в фитопланктонных организмах	–	0.2
Доля возвращаемых после минерализации веществ	–	0.75
Ослабление света	м^{-1}	0.045
Ослабление света фитопланктоном	$\text{г}^{-1} \text{м}^2$	0.018
Ослабление света минеральными веществами	$\text{г}^{-1} \text{м}^2$	0.010
Температура на поверхности моря летом	град. С	16
Температура на поверхности моря зимой	град. С	4
Оптимальная температура для фитопланктона	град. С	12
Допустимое среднеквадратичное отклонение температуры от оптимальной	град. С	12

В основании пищевой пирамиды для рыб лежит фитопланктон, биомасса которого зависит от энергии света и концентрации минеральных веществ в воде.

Хамса плывет с раскрытым ртом и фильтрует планктон ситом жаберных тычинок; время от времени она проглатывает накопившуюся пищу. Так же питаются другие черноморские рыбы планктофаги – атерина, шпрот. Хамса нападает на планктон ночью и будет есть всех – диатомей, динофлагеллят, рачков, икру и личинок – в том числе своих собственных! Ночью – потому что именно ночью зоопланктон поднимается к поверхности, и хамса следует за ним. Именно ночью включается светодиодное освещение автомобильного и железнодорожного мостов, которое формирует пятно светового загрязнения поверхности моря.

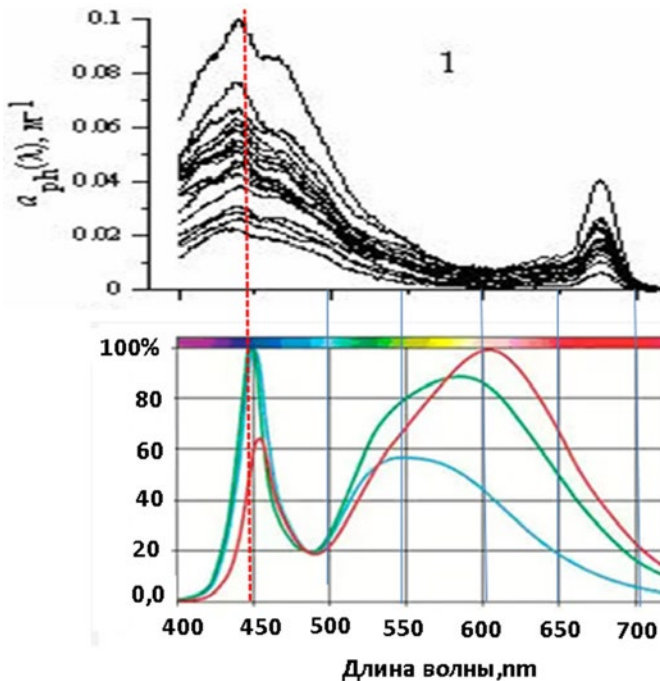
Есть еще очень много неясного в сложнейшем процессе воздействия чистой энергии на морской фитопланктон. Какова реакция живой клетки водорослей на спектр светового загрязнения и как он влияет на поведение рыб и биомассу фитопланктона.

Но уже известно, что спектральная кривая чувствительности глаза у хамсы, ставриды, кефали и некоторых других видов рыб, обитающих в верхних слоях моря, близка к кривой видности человеческого глаза [4.37].

Их глаза эффективно работают в условиях лунного света, который является отражением солнечного света. Энергетический спектр лунного света по форме похож на кривую чувствительности глаз рыб.

Большинство исследователей уделяло внимание связи вертикальных миграций зоопланктона с изменениями освещенности, созданной солнечным светом. Однако очень немногие изучали влияние лунного света на миграции. Японский океанограф Уда утверждает, что Луна влияет на положение звукорассеивающих слоев. При лунном освещении они уходят от поверхности моря [4.34, 4.35]. В звукорассеивающих слоях находятся (скапливаются) фитопланктон и рыбы размером до 20 см.

В работе [4.38] приведено спектральное распределение коэффициентов поглощения света пигментами фитопланктона.



2

Рис. 4.25. Характеристики спектров поглощения фитопланктона – 1, и светодиодов белого света для различных значений коррелированной цветовой температуры – 2

Из сравнения спектра поглощения фитопланктоном и излучения светодиода белого света видно, что пик максимального поглощения и пик максимального излучения совпадают и лежат в диапазоне синего света 450–460 нм. Облучение синим светом фитопланктона способствует увеличению его биомассы.

Светодиодное осветительное оборудование должно создавать необходимый уровень освещенности полотна автомобильной дороги при минимальном световом загрязнении поверхности моря и острова Тузла. При этом светодиодный свет должен обеспечить адекватное восприятие цвета сигналов для обеспечения безопасности движения на мосту, т. к. аварии на мосту опасны не только для жизни и здоровья пассажиров, но и экологическими последствиями. Поэтому для анализа влияния спектра светодиодного освещения мы применили гигиенический метод, который позволяет комплексно оценить визуальные и не визуальные эффекты его воздействия на человека и фотосинтез в живой природе.

Гигиенический подход к анализу спектра оказался эффективным для оценки спектра и при решении экологических проблем.

Для спектра светодиодного освещения является характерным выброс при 450–460 нм, который оказывает влияние как на гормональную систему человека, так и на динамику роста фитопланктона. Избыточная доза синего в спектре белого светодиода определяется по отношению к солнечному свету. Так как лунный свет является отражением солнечного света, то правильное количество дозы синего распространяется и на него. В лунном свете, по сравнению с солнечным, меньше синего и инфракрасного света.

Избыточная доза синего света – эта разница между дозами синего света при светодиодном освещении и при освещении солнечным светом (лунным светом), с той же цветовой температурой и заданном уровне освещенности. Избыточная доза синего при светодиодном освещении по сравнению с дозой синего в спектре лунного света имеет значительно большие значения, чем при солнечном свете. Этот эффект светодиодного освещения (освещения люминесцентными и энергосберегающими лампами) должен учитываться ихтиологами и океанологами при оценке поведения фитопланктона в ночное время при наличии светового загрязнения поверхности моря светодиодными осветительными установками. В своей работе «Лунный свет – краткий обзор спектра, интенсивности, фотопериода и его взаимосвязи с размножением кораллов и рыб» Дана Риддл подчеркивает, что интенсивность света даже одного синего светодиода, *скорее всего*, будет выше, чем при естественном лунном свете (исследования касались имитации лунного света для подсветки аквариумов (www.advancedaquarist.com)). Специалисты факультета биоинженерии Калифорнийского университета разработали методику оценки влияния различных источников света на рост биомассы водорослей, но эта оценка была проведена без учета избыточной дозы синего света для белого светодиода [4.39].

По мнению новозеландских исследователей, избыточная доза синего света светодиодного освещения значительно влияет на поведение насекомых и комаров [4.40].

Это может негативно сказываться на пищевой цепочке для земноводных и птиц, которыми богаты прибрежные зоны косы и острова Тузла.

Для создания условий безаварийной езды по мосту необходимо учитывать особенности восприятия человеком в условиях светодиодного освещения зеленых и красных сигналов, а также изменение его восприятия при длительной езде на автомобиле в условиях светодиодного освещения. По оценкам американской страховой компании, езда в условиях светодиод-

ного освещения относится к дискомфортной. Этот же эффект подтвердили специалисты лаборатории профессионального отбора психофизиологии и реабилитации ВНИИЖГ Роспотребнадзора [4.41].

Учитывая вышесказанное, для уменьшения негативного влияния светового загрязнения от светодиодных осветительных установок на снижение курортно-оздоровительного потенциала Крыма, на окружающую фауну и флору его территории и для снижения рисков аварийности на транспортных переходах и дорогах необходимо разработать научную программу, в рамках которой должны быть разработаны специальные светильники, полупроводниковые источники белого света с биологически адекватными спектрами света, определены области их эффективного применения на всей территории Крыма.

1. Для уменьшения светового загрязнения территории Крыма, профилактики нарушений здоровья жителей и сохранения фауны и флоры необходимо разработать и реализовать специальную программу «Светотехническая концепция искусственного освещения Крыма».

2. У светодиодов доля синего света, обуславливающего зрительные и незрительные негативные эффекты, во много раз больше, чем в солнечном спектре при заданном уровне освещенности. Эффект избыточной доли синего распространяется и на лунный свет.

3. Для реализации программы «Светотехнической концепции искусственного освещения Крыма» необходимо проведение комплексного научного исследования для разработки рекомендаций по областям применения и внедрения современных источников белого света с биологически адекватным спектром.

Литература к главе 4

4. Maja Grubisic, Abraham Haim, Pramod Bhusal, Davide M. Dominoni, Katharina M.A. Gabriel, Andreas Jechow, Franziska Kupprat, Amit Lerner, Paul Marchant, William Riley, Katarina Stebelova, Roy H.A. van Grunsven, Michal Zeman, Abed E. Zubidat and Franz Hölker. Light Pollution, Circadian Photoreception, and Melatonin in Vertebrates Sustainability 2019, 11, 6400. DOI: 10.3390/su11226400. www.mdpi.com/journal/sustainability.

4.1. Бессонница, чем опасна. <https://7sleep.ru/bessonnica-chem-opasna.html>.

4.2. Colten Harvey R. and Altevogt Bruce M. Sleep Disorders and Sleep Deprivation: An Unmet Public Health Problem. 3 Extent and Health Consequences of Chronic Sleep Loss and Sleep Disorders National Academies Press (US); 2006. ISBN 10: 0-309-10111-5. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK19960/>.

4.3. Insomnia costing US workforce \$63.2 billion a year in lost productivity, study shows September 2, 2011. <https://www.sciencedaily.com/releases/2011/09/110901093653.html>.

4.4. St-Onge Marie-Pierre, Grandner Chair Michael A., Brown Devin, Conroy Molly B., Jean-Louis Girardin Sleep Duration and Quality: Impact on Lifestyle Behaviors and Cardiometabolic Health Circulation. 2016 Nov 1; 134 (18): e367 – e386. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5567876/>.

4.5. Одишцова Т. В., Булдакова Н. В. Здоровьесберегающие технологии в условиях образовательного процесса // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2017. – Т. 29. – С. 406–412. – URL: <http://e-koncept.ru/2017/770887.html>.

4.6. Николаева Дарья. Недосыпание работников дорого обходится компаниям. <https://www.kommersant.ru/doc/3423678>.

4.7. Капцов В. А., Герасев В. Ф., Дейнего В. Н. Световое загрязнение как гигиеническая проблема // Гигиена и санитария. – 2015, 94 (7). – С. 11–15.

4.8. Экологи обеспокоены световым загрязнением Земли: яркость освещения ежегодно увеличивается на 2%. http://rosregistr.ru/v-mire/77361.html?label_41cc0e4945e162021cfd993f4c1104d=1.

4.9. Влияние светового загрязнения на человека. <https://bezotxodov.ru/zagraznenija/svetovoe-zagraznenie>.

4.10. Light Pollution Science and Technology Institute (<http://www.inquinamentoluminoso.it/worldatlas/pages/index.html>).

4.11. GLOBE at Night 2010: измерим световое загрязнение неба. <http://prostonauka.com/GLOBE-at-Night-2010-izmerim-svetovoe-zagraznenie-neba>.

4.12. Световое загрязнение представляет большую угрозу для многих видов дикой природы. <http://www.priroda.su/item/1872>.

4.13. Гранкин К. Н. Анализ засветки в КраО, 8 июня 2009 г. <http://www.astrotourist.info/analiz-zasvetki-v-krao>.

4.14. Климик В. У. и др. в сб. «Атмосферная нестабильность и адаптивный телескоп». – Ленинград: Наука, 1988. – С. 122.

4.15. Изображение NASA ISS016-E-25297. <http://city.jsc.nasa.gov/cities/search.pl>.

4.16. Количество исчезающих видов растений и животных по странам мира. <http://www.priroda.su/item/1185>, <http://www.priroda.su/item/1872>.

4.17. Ориентация в магнитном поле: Молекула криптохром. <https://www.pop-mech.ru/science/7876-orientatsiya-v-magnitnom-pole-molekula-kriptokhrom/>.

4.18. Ри Марк (Rea Mark), Смит Эрон (Smith Aaron), Бирман Эндрю (Bierman Andrew), Фигейро Мариана (Figueiro Mariana). Анализ влияния наружного освещения на систему суточного ритма человека // Современная светотехника. – № 3, 2010.

4.19. Герасев В. Ф., Семенов А. В., Сигалаев С. К., Алексахин А. Н., Проценко И. Е. Осветительный прибор. Заявка на патент РФ № 2011112325/07 от 31.03.2011.

4.20. Герасев В. Ф., Семенов А. В., Сигалаев С. К., Алексахин А. Н., Проценко И. Е. Световая панель с торцевым вводом излучения (варианты). Заявка на патент РФ № 2010150258/12 от 08.12.2010.

4.21. Алексахин А. Н., Проценко И. Е., Усков А. В. Оптика для светодиодного освещения, основанная на изогнутых клинообразных структурах // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2012, 17 (1). – С. 60–67.

4.22. Синие светодиоды губительно влияют на мир насекомых. <http://elektroas.ru/sinie-svetodiody-gubitelno-vliayut-na-mir-nasekomyx>.

4.23. Что хорошо Нобелевскому лауреату, то смерть для мотыльков, 17 октября 2014 г. <https://dnevniky.ykt.ru/%D0%A1%D1%83%D1%80+%D0%91%D0%B5%D1%80%D0%B5/712787>.

4.24. Horváth Gábor, Kriska György, Malik Péter, Robertson Bruce. Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution (англ.) // Frontiers in Ecology and the Environment. – 2009. – August (Vol. 7, No. 6). – P. 317–325.

4.25. Light pollution facts for kids. https://kids.kiddle.co/Light_pollution.

4.26. График работы влияет на заболеваемость раком. Анисимов В. Н., д. м. н., президент Геронтологического общества при РАН. http://www.trud.ru/article/05-04-2011/261212_grafik_raboty_vliyaet_na_zabolevaemost_rakom_vidolektsija.html.

4.27. Haim Abraham, Portnov Boris A. Light pollution as a new risk factor for human breast and prostate cancers November 2013. DOI: 10.1007/978-94-007-6220-6. <https://www.springer.com/gp/book/9789400762190>.

4.28. Chen Cheng-Hsien et al. the visibility studies of dynamic road-lighting on a foggy road Proceedings of the 29th CIE SESSION Washington D. C., USA, June 14–22, 2019.

4.29. Hsu S. W., Chen C. H. and Hung S. T. Contrast ratio studies of a flashing LED lit traffic sign on a foggy road, Proceedings of CIE, 2018.

4.30. Дейнего В. Н. Елизаров В. Б., Капцов В. А. Гигиенические и экологические проблемы энергосберегающего освещения при урбанизации Крыма. Гигиена и санитария. 2016; 95 (10): 909–913. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-10-909-913>.

4.31. International Dark-Sky Association. Visibility, Environmental, and Astronomical Issues Associated with Blue-Rich White Outdoor Lighting. Tucson, Arizona; 2010.

4.32. Очаковский Ю. Е., Копелевич О. В., Войтов В. И. Свет в море. – М.: Наука, 1970.

4.33. Шифрин К. С. Введение в оптику океана. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1983.

4.34. Мантейфель Б. П. Экология поведения животных. – М.: Наука, 1980.

4.35. Абакумов А. И., Израильский Ю. Г. Моделирование годового цикла жизнедеятельности фитопланктона в океане // Моделирование систем. – 2013, (2). – С. 14–23.

4.36. Запар Е. В. Динамика лабораторных и природных сообществ планктонных водорослей в зависимости от обеспеченности органическим и минеральным азотом: Автореф. дисс.... канд. биол. наук. – М., 2009.

4.37. Курноцик Милан. Энциклопедия нахлыста. Внутренние факторы, влияющие на успех ловли. http://piterhunt.ru/Library/kurnocik/e_nahlist/81.html.

4.38. Джулай А. А. Межгодовая изменчивость содержания пигментов и поглощения света фитопланктоном в прибрежных водах Черного моря в районе Севастополя // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2012, (7). – С. 179–190.

4.39. Chang R. L., Ghamsari L., Manichaikul A., Hom E. F., Balaji S., Fu W. et al. Metabolic network reconstruction of *Chlamydomonas* offers insight into light-driven algal metabolism. *Mol. Syst. Biol.* 2011; 7: 518.

4.40. Pawson S. M., Bader M. K. LED lighting increases the ecological impact of light pollution irrespective of color temperature. *Ecol. Appl.* 2014; 24 (7): 1561–8.

4.41. Капцов В. А., Сосунов Н. Н., Викторов В. С., Шищенко И. И., Тулушев В. Н., Дейнего В. Н. и др. Функциональное состояние зрительного анализатора при использовании традиционных и светодиодных источников света // Гигиена и санитария. – 2014, 93 (4). – С. 120–123.

Глава 5. Современные концептуальные конструкции полупроводниковых источников света. Законы гигиены света

Темой IX Международного светового профессионального симпозиума + Ехро (LpS 2019), проходившего 22–24 сентября в австрийском городе Брегенц, стало определение тенденций в светодиодном освещении и дизайне. На этом мероприятии в программном выступлении Марк Ридлер, руководитель отдела освещения в Партнерстве по проектированию зданий (BDP, Лондон), представил делегатам свою методологию, лежащую в основе *lighting an idea* («идеи в освещении»). Он, в частности, отметил, что «необходимо иметь основную идею, которая определяет концепцию, и учитывать интересы всех людей, которые взаимодействуют и пересекаются с вашим проектом, понимать их потребности и проблемы, объединять их вместе, а затем использовать в качестве основы, которая будет сопровождать вас при разработке дизайна». Сейчас на мировом светотехническом рынке каждый производитель светодиодов или светодиодных источников наряду с технологией патентует и концептуальный бренд для внедрения своих технологических решений, которые обещают, что спектр только их источников света благотворно влияет на здоровье человека и подобен спектру солнечного света или спектральным характеристикам стандартных источников типа А или D. Представляет интерес история создания концептуальных брендов светодиодного освещения с позиции гигиены света и методологические подходы к их гигиенической оценке. Стандартный источник типа «А» был стандартизирован в 1931 году для искусственных источников освещения с цветовой температурой 2856 К, к которым относятся лампы накаливания. Источники света типа D50 (с цветовой температурой 5000 К) стандартизированы в 1964 году с целью более точного моделирования солнечного освещения. К недостаткам источников типа D относятся сложность их эмуляции с помощью искусственных источников света. В настоящее время для этого применяются галогенные лампы накаливания с голубым стеклянным фильтром, ксеноновые лампы с фильтром, а также люминесцентные лампы. Стандартизированные спектры источников света типа D50, D65 и А приведены на рис. 5.1.

С гигиенической точки зрения для сравнительной оценки спектров необходимо использовать источник света типа D50 [5.1], но при сравнении светодиодных спектров инженеры-светотехники зачастую применяют стандартный эталон солнечного света типа D65 (цветовая температура 6500 К) и выше. При этом выброс синего 460 нм в спектре света светодиодной лампы при 4200 К не выглядит столь значимо, как доза синего света 460 нм в спектре солнечного света при 6500 К при одинаковом уровне освещенности 500 лм [5.2]. Для примера в работе [5.3] был проведен сравнительный спектральный анализ следующих типов источников света: • стандартный источник дневного света D65 (Тц = 6500 К); • стандартный источник света «А» (Тц = 2865 К); • планковские излучатели (абс. черное тело) – P2700 и P4000 (Тц, соответственно, 2700 и 4000 К); • компактная люминесцентная лампа тепло-белого света (CFL-ww, Тц = 2795 К); • компактная люми-

несцентная лампа холодного дневного света (CFL-kw, $T_{ц} = 6163$ К); • светодионный модуль тепло-белого света – LED2500 ($T_{ц} = 2488$ К, высокое качество цветопередачи – $R_a = 96,9$); • светодионный модуль нейтрально-белого света – LED4000 ($T_{ц} = 3695$ К, высокое качество цветопередачи – $R_a = 95,1$); • серийная светодионная лампа тепло-белого света retrofit-LED ($T_{ц} = 2891$ К, $R_a = 87$). Результаты сравнительного спектрального анализа приведены на рис. 5.2.

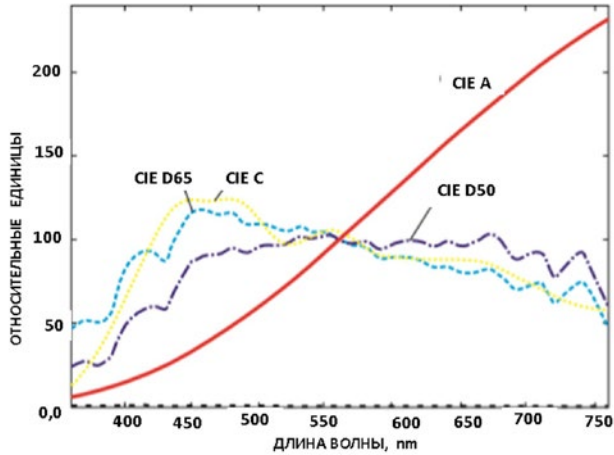


Рис. 5.1. Спектры излучения стандартных источников света

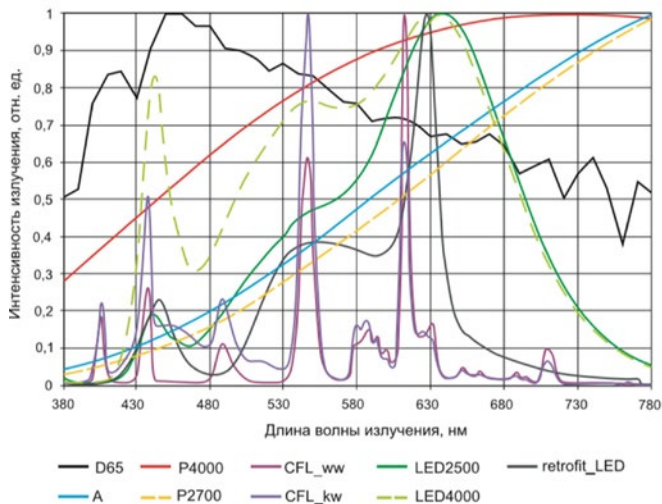


Рис. 5.2. Спектры излучения различных источников белого света

По сравнению со стандартными источниками света энергосберегающие источники света имеют в своем спектре провал в области 480 нм и значительный выброс синего света. С вводом стандартных источников света типа D50, D65 мировое светотехническое сообщество признало, что их спектр

подобен солнечному спектру света при аналогичной цветовой температуре. Ключевым здесь является слово «подобен». С гигиенической точки зрения степень подобия определяется шириной спектра искусственного источника света и количеством световых стимулов $A(\lambda_i)$, побуждающих адекватные биологические процессы, как и при солнечном спектре света с цветовой температурой 5000 К. Для биологических систем световым стимулом $A(\lambda_i)$ является световой поток фотонов, энергия которого определяется конкретной длиной волны (λ_i). Значения λ_i берутся из последовательного ряда длин волн 380–900 нм. В таблице 5.1 приведена примерная взаимосвязь длины волны, текущего номера светового стимула и процессов, которые им стимулируются.

Таблица 5.1

Взаимосвязь длины волны, текущего номера светового стимула и процессов, которые им стимулируются

Значение λ_i , нм	380	440-450	460	480	650	670	780	900
Номер светового стимула	1	2	3	4	$n(i)$			m
Стимулирующий процесс	Стимуляция дофаминовой системы глаза Управление оптической осью глаза	Окислительная реакция в сетчатке	Управление гормональной системой	Управление зрачком. Эффект удерхания зрачка	Нижняя граница одновременного определения света и его цвета	Повышение эффективности синтеза АТФ в митохондриях	Граница кривой ВИСДОСТИ	Синтез илеточного мелатонина

С учетом кривой видности множество M_c можно разделить на два упорядоченных подмножества: M_{c1} и M_{c2} . Подмножество M_{c1} включает световые стимулы в диапазоне длин волн 380–555 нм, а подмножество M_{c2} – световые стимулы в диапазоне длин волн 555–900 нм. Подмножество называется упорядоченным, если между его элементами установлено некоторое соотношение. Например, соотношение $A(\lambda_i) < A(\lambda_{i+1} + \Delta\lambda)$ для множества M_{c1} и соотношение $A(\lambda_j) > A(\lambda_{j+1} + \Delta\lambda)$ для множества M_{c2} есть условия монотонно возрастающей функции в множестве M_{c1} и монотонно спадающей функции в множестве M_{c2} . Для гигиениста спектрально-энергетическая характеристика источника света – это множество $M = \{\lambda_i/A(\lambda_i)\}$ световых стимулов. Количество световых стимулов в заданном интервале длин волн ограничено. Два упорядоченных множества M_c и M называются подобными, или имеющими один и тот же порядковый тип, если между их элементами можно установить взаимно однозначное соответствие, сохраняющее порядок элементов (то есть такое, что для любых двух элементов $A_{opt}(\lambda_i)$ и $A_{opt}(\lambda_{i+1} + \Delta\lambda)$ множества M_c и соответствующих им элементов $A(\lambda_i)$ и $A(\lambda_{i+1} + \Delta\lambda)$ множества M из $A_{opt}(\lambda_i) < A_{opt}(\lambda_{i+1} + \Delta\lambda)$ следует $A(\lambda_i) < A(\lambda_{i+1} + \Delta\lambda)$ и обратно). Все конечные вполне упорядоченные множества, содержащие одинаковое число элементов, подобны между собой. Для выполнения условия сближения спектральных характеристик необходимо, чтобы $A(\lambda_i) = A_{opt}(\lambda_i)$. Если $A(\lambda_i) < A_{opt}(\lambda_i)$ или $A(\lambda_i) > A_{opt}(\lambda_i)$, это говорит о неадекватности воздействия светового стимула. Если количество световых стимулов $A(\lambda_i)$ в спектре искусственного источника света мень-

ше, чем количество световых символов $A_{opt}(\lambda_i)$, то нарушается условие подобия, или можно говорить о подобии в интервале номеров световых стимулов $1 - n$, или ограниченном интервале длин волн. Диапазон 380–780 нм, ограниченный кривой видности, является видимым светом и лежит в области интересов светотехники. Критерием гигиенической оценки спектров может служить его ширина, в которой соблюдается равенство $A(\lambda_i) = A_{opt}(\lambda_i)$ или неравенство $|A(\lambda_i) - A_{opt}(\lambda_i)| < \varepsilon$, где ε малая, предварительно заданная величина. С момента открытия меланопсина все внимание светотехников было приковано к множеству световых стимулов, способных управлять меланопсиновыми эффектами ганглиозных клеток, – это длины волн 460 и 480 нм. Если в спектре светодиода уменьшить выброс синего стимула $A(460)$, то снизится риск нарушения циркадного ритма, а если уменьшить провал голубого светового стимула $A(480)$, то улучшится адекватность управления диаметром зрачка глаза. Применяя технологические методы, разработчики проводят кусочно-гладкую аппроксимацию спектра светодиодного источника света в диапазоне 440–500 нм с той или иной степенью приближения к спектру выбранного стандартного источника света типа D или A. Степень приближения или сближения в заданном диапазоне длин волн может определяться хорошо отработанными математическими методами. На основе этого разработчиками были предложены концепции, построенные на компенсации того или иного меланопсинового эффекта ганглиозных клеток. На этой основе производителями источников света разработаны следующие концептуальные бренды, которые приведены на корневой диаграмме (рис. 5.3).

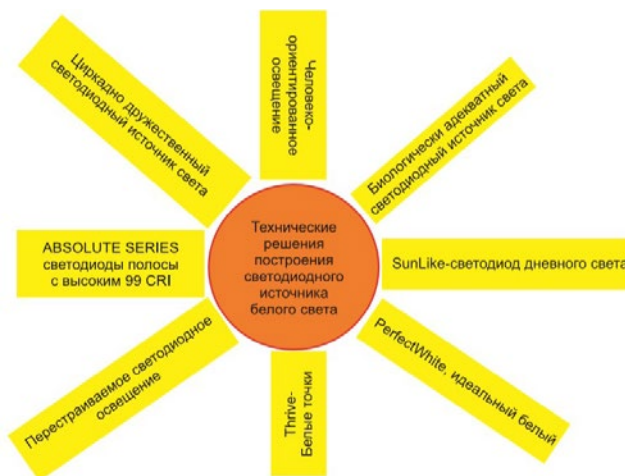


Рис. 5.3. Корневая диаграмма применяемых запатентованных концептуальных брендов светодиодного освещения

В основу данной диаграммы положены технологические решения, которые по замыслу разработчиков приближают спектр спроектированного источника света к спектру стандартного источника типа D или A с соответствующей цветовой температурой. Все разработчики источников света

спешно патентуют технические решения и концептуальные бренды, чтобы на рынке светодиодного освещения оказаться первыми с заявительным правом, что спектры их источников света подобны (близки) к спектру солнечного света в определенном диапазоне длин волн. При этом вспоминаются строчки из стихотворения Марины Цветаевой:

Солнце – одно, а шагает по всем городам.

Солнце – мое. Я его никому не отдам.

В настоящее время именно патенты определяют объем интеллектуальной собственности производителя источника света (примеры патентов: патент US2015/0062892 A1 от 5 марта 2015 Circadian friendly led light source («Циркадный дружественный светодиодный источник света») (SORAA, INC, Fremont, CA (US); патент RU2692632 C1 (RU) «Светодиодный источник белого света с биологически адекватным спектром излучения» 18.01.2019), патенты LG Innotek на разработку Eye Pleasing' LED («светодиоды, радующие глаз»). Ветеран светотехнической индустрии Ян Деннеман, президент Глобальной Ассоциации Освещения, предложил термин nutritional light («пищевой свет»). Он говорил: «Свет так же важен, как и питание для тела и мозга, как витамины, белки, минералы. Миллиарды людей сейчас живут в свете, который не стимулирует тело и мозг. Наша цель состоит в том, чтобы они могли наслаждаться питательным светом» [5.4]. В нашей стране на уровне государства принят общий концептуальный бренд – природоподобные (конвергентные) технологии [5.5]. Конвергенция (от лат. convergo «сближаю») – процесс сближения, схождения (в разном смысле). Конвергенция в математике – «сходимость». Для светотехники – это проектирование источников света, спектр света которых подобен спектру солнечного света. Современные светотехнические технологии должны развиваться на основе знаний о солнечном свете и реакции светочувствительных систем человека на это воздействие. Такое взаимодействие изучает научное направление гигиена света, которое находится на стыке медицины и светотехники. Академик Сергей Иванович Вавилов заканчивал свою замечательную книгу «Глаз и Солнце» такими словами: «Глаз нельзя понять, не зная Солнца. Вот почему глаз – солнечен, по словам поэта». Недаром еще в Библии говорилось: «Сладок свет и приятно для глаз видеть солнце» (Екклезиаств, 11:7). С гигиенической точки зрения важно понять суть многообразия концептуальных брендов по продвижению светодиодного освещения и сближения его спектра со спектром солнечного света, которые приведены на рис. 5.3. В 1887 году Ф. Ф. Эрисман отмечал, что «...неминуемой точкой отправления при всех гигиенических исследованиях является стремление найти те законы, которые управляют здоровьем человека, и исследовать как при помощи эксперимента, так и путем статистических наблюдений все те общественные и частные явления, понимание которых непосредственно может содействовать открытию этих законов, так что все явления окружающей среды интересуют гигиенистов лишь настолько, насколько они могут отражаться на здоровье человека».

В основе разработки светодиодных источников света лежат закон Вавилова и закон Стокса. По закону Вавилова, для эффективного возбуждения люминофора длина волны должна лежать в диапазоне 410–460 нм. Но в этом

диапазоне свет негативно влияет на клеточные структуры биообъекта и его циркадные ритмы. Закон Стокса гласит: спектр люминесценции сдвинут относительно спектра возбуждения, вызвавшего эту люминесценцию, в сторону больших длин волн. Энергия, поглощенная молекулами вещества, больше, чем энергия люминесценции. Часть энергии идет на безызлучательные переходы (темновая релаксация) с колебательных и вращательных уровней на электронные возбужденные уровни. Поэтому: $E_{\text{возб}} > E_{\text{люм}} \Rightarrow h\nu_{\text{возб}} > h\nu_{\text{люм}} \Rightarrow hc/\lambda_{\text{возб}} > hc/\lambda_{\text{люм}}$, а значит, $\lambda_{\text{люм}} > \lambda_{\text{возб}}$ [5.5 и 5.6]. В спектре белого светодиода (излучающий кристалл, покрытый люминофором), по закону Стокса, нарушаются условия упорядоченности подмножества M1 световых стимулов в диапазоне 380–555 нм, что обуславливает наличие провала в спектре белого света между частотой возбуждения и частотой люминесценции. Значит, спектр белого светодиода (синий кристалл, покрытый желтым люминофором) не подобен спектру солнечного света в заданном диапазоне длин волн. В своих исследованиях в области световой среды гигиенисты, учитывая закон Стокса и закон Вавилова, руководствуются следующими законами:

- законом оптимума, или законом В. Шелфорда, согласно которому имеют место минимальный и максимальный уровни адекватного стимула Аорт (λ), при несоблюдении которых в системе начинают развиваться негативные процессы;
- закон упорядоченного множества световых стимулов – соотношение между оптимальными значениями воздействующих адекватных стимулов Аорт (λ). В области световой чувствительности мелатонина ганглиозных клеток значимыми являются соотношения между световыми стимулами Аорт (460) и Аорт (480);
- закон необходимого многообразия, который определяет мощность упорядоченного множества световых стимулов, то есть их количество и ширину спектрально-энергетической характеристики искусственного источника света, которая может побуждать адекватные реакции в биообъекте, как при воздействии световых стимулов спектра солнечного света.



По У.Р. Эшби, управление тем лучше, чем больше разнообразие управляющего воздействия и чем меньше потери от неоднозначности управления [5.7]. В нашем случае спектр света является управляющим воздействием.

С гигиенической точки зрения и на основе механизмов воздействия света на человека ширина спектра искусственного источника света должна быть шире спектра кривой видности и видимого света 380–780 нм. Он полагал, что потеря управления может происходить только из-за низкого разнообразия (низкой интенсивности) управления $H(u)$.

$$O < H(u) < 1$$

где:

– $H(u)$ – энтропия соответствующей случайной величины;

u – управление из множества управлений U . В нашем случае множество – это спектрально энергетическая характеристика источника света.

Когда спектр искусственного света не соответствует спектру солнечного света, возникает неоднозначность состояния системы рецепторов, что негативно сказывается на дальнейших процессах управления. Неоднозначность управления возникает при малых значениях $H(u)$, что характерно для провала в спектре искусственного света. Для спектра солнечного света $H(u) = 1$.

Наряду с известными колбочками и палочками первыми воспринимают свет ганглиозные клетки, многообразие которых сформировалось при солнечном спектре света. Пример многообразия множества ганглиозных клеток сетчатки глаза приведен на рис. 5.4.

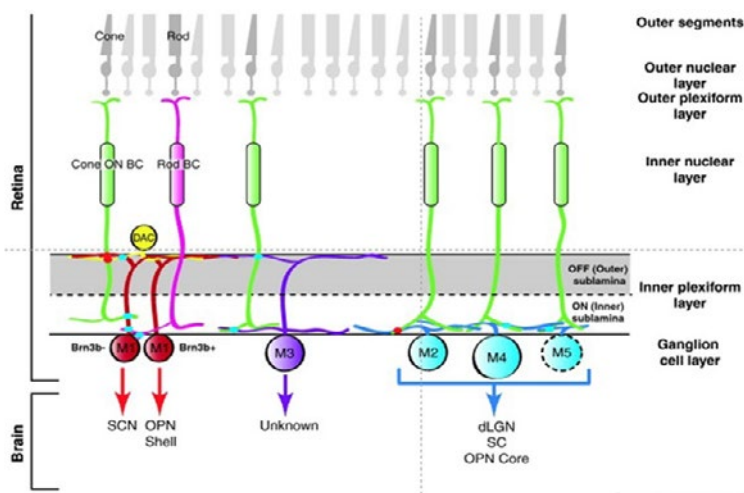


Рис. 5.4. Фрагмент многообразия типов ганглиозных клеток сетчатки глаза

В соответствии с законом необходимого разнообразия для адекватной работы многообразия ганглиозных клеток необходимо иметь в спектре искусственного света необходимое многообразие световых стимулов (потоков фотонов с определенной энергией, которая определяется длиной волны). Данный подход распространяется на мир животных и растений.

В работе [5.8], опубликованной в 2003 году специалистами НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина РАМН З.А. Скобарева и Л.М. Текшевой, говорилось, что изучение биологического действия света на человека остается актуальной проблемой гигиены освещения. А также указывалось, что экспериментально на клеточном, биологическом и психофизиологическом уровне доказана биологическая неадекватность естественного и искусственного света равной интенсивности, которая сохраняется и при повышении уровня освещенности от искусственных источников света. Современным искусственным источником

света являются светодиоды, которые вначале применялись как индикаторные. Но с 2007 года светодиоды стали активно использоваться для подсветки мониторов и в технических системах видеоконтроля технологических процессов в промышленном производстве. В частности, компания Creative Customer Satisfaction (CCS) – ведущая компания как в Японии, так и за рубежом – стала применять светодиодные светильники для обработки оптических изображений при управлении качеством в различных областях производства. Изображения с камеры использовались для определения, является ли продукт нормальным или дефектным в процессах, включающих визуальный осмотр, позиционирование и распознавание символов. Здесь жизненно важно качество освещения. Поскольку выбранный свет может существенно изменить точность проверки, освещение служит ключом к обработке изображений. С момента своего основания в 1993 году CCS, в качестве производителя светодиодов и промышленной инспекции, является ведущей компанией, которая занимает лидирующую позицию в сфере инспекции светодиодного освещения. В ноябре 2007 года специалисты CCS разработали Natural light Led – «светодиоды естественного света», спектр которых был очень близок к спектру солнечного света и обеспечивал оптимальный свет для полей (зон видеоконтроля), требующих высококачественного света [5.9]. На рис. 5.5 приведен общий вид спектров светодиодов Natural light Led.

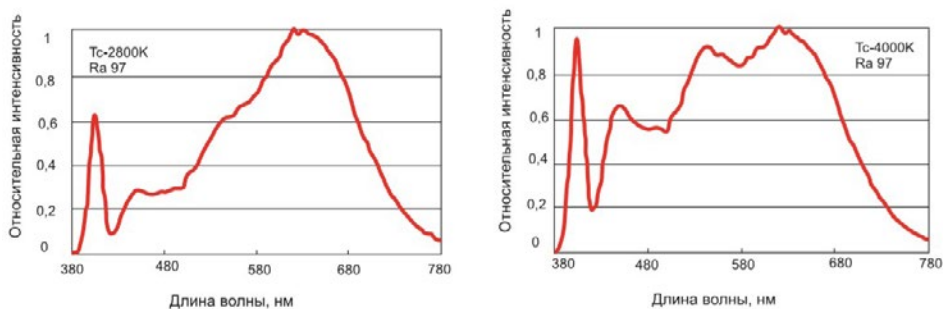


Рис. 5.5. Типовые спектры Natural light Led

Из этих спектров видно, что длина волны возбуждения смеси люминофоров лежит в пределах 405–420 нм. В соответствии с законом Стокса выброс фиолетового света будет на длине волны около 410 нм. Этот выброс может и не сказаться на работоспособности технических систем, но его воздействие на зрительный анализатор человека требует скрупулезного анализа гигиенистами. Спектр света светодиода Natural light Led при 2800 К подобен источнику света типа А в интервале длин волн 420–640 нм. По мере повышения эффективности белых светодиодов разработчики стали применять для возбуждения желтого люминофора синие светодиоды 450 или 460 нм. Учитывая это и основываясь на выводах работы [5.10] и на работах Brainard G. С [5.11] и Thapan К. [5.12] о спектральной чувствительности мелатонина, в 2007 году в рамках выполнения НИР по заказу МО РФ был про-

анализирован спектр белых светодиодов и спектр ламп накаливания и галогенных ламп, которые широко применяются на объектах МО РФ и ВМФ. Сравнительный анализ проводился в диапазоне максимальной чувствительности меланопина ганглиозных клеток 460–480 нм. В ходе выполнения данного проекта руководство ИЦНИИ МО РФ настаивало на обязательной гигиенической сертификации светодиодных источников света для объектов МО РФ, но в 2007 году работы по исследованию влияния светодиодного освещения на глаза и здоровье военнослужащих выполнить не удалось. Однако в то же время (2008 г.) в рамках программы DARPA специалистами США были проведены исследования – SB082055 (DARPA) A Spectrally Dynamic Berth Light for Active Circadian Cycle Management («Спектрально-динамическое освещение причала для активного управления циркадным ритмом»). Исследование DARPA выявило изменения суточного ритма у служащих военно-морского флота под влиянием новых источников освещения. В этих источниках света регулировался их спектр в течение дня для улучшения сна и производительности личного состава, что особенно важно для бойцов, чьи обязанности включают 24-часовую оперативную готовность [5.13]. В том же 2008 году, не привлекая широкого внимания, три профессора – Стив Ден Баарс, Джим Спек и Сюззи Накамура, к которым присоединились ведущие специалисты из Philips Lumileds и Intel, собрали команду высококлассных инженеров и основали новую компанию Sogaа по выпуску светодиодных ламп нового поколения на базе технологии GaN on GaN. В начале своего пути исследовательский отдел Sogaа занимался тестированием возможностей технологии GaN on GaN для производства света, полезного для здоровья. «Мы работаем над этим, создали прототип и сейчас тестируем его, – сказал Паркер в ходе телеконференции для СМИ. – Мы считаем, что есть много проблем в области циркадных ритмов и обеспечения бдительности, которые можно решить, имитируя солнечный свет и стимулируя светочувствительные клетки глаз». Далее он отметил: «Просто мы начинаем синтезировать свет с полным спектром, который позволяет отрегулировать спектр света для циркадных моделей. Мы считаем, что находимся в очень хорошем положении, чтобы развивать биодинамическую светотехнику» [5.14]. В основу своих разработок специалисты фирмы Sogaа положили циркадную модель, которая зависит от дозы синего света в спектре белого света [5.15 и 5.16].

Но не только синий свет влияет на подавление циркадного мелатонина. В работе [5.17] для оценки влияния света другой длины волны на циркадные ритмы была проведена серия экспериментов на добровольцах в возрасте 18–30 лет. В ночное время их помещали на 6,5 часа под постоянный свет с длиной волны 460 нм (на него реагируют меланопсиновые клетки) или 555 нм (его не воспринимают меланопсиновые клетки, зато распознают колбочки). Внутри каждой группы («меланопсиновой» и «колбочковой») были свои подгруппы, отличающиеся по яркости предлагаемого света. У испытуемых измеряли уровень мелатонина и сдвиг суточных ритмов. У большинства испытуемых 460-нм («меланопсиновый») свет снижал уровень мелатонина в течение всех 6,5 ч, в то время как 555-нм («колбочковый») свет вызывал только кратковременное, хотя и сильное понижение мелатонино-

вого уровня в самом начале своего предъявления. На следующий день после эксперимента наблюдался «фазовый сдвиг»: уровень мелатонина начал повышаться позже, чем до эксперимента, причем графики изменения этого уровня для «меланопсиновых» и «колбочковых» испытуемых имели абсолютно разную форму. Чем ярче свет, тем сильнее сдвигались циркадные ритмы, что было справедливо для обеих групп испытуемых. Однако если построить график зависимости фазового сдвига от интенсивности синего и зеленого света (рис. 5.6), получается, что при низкой яркости зеленый свет гораздо эффективнее синего, а при высокой – наоборот.

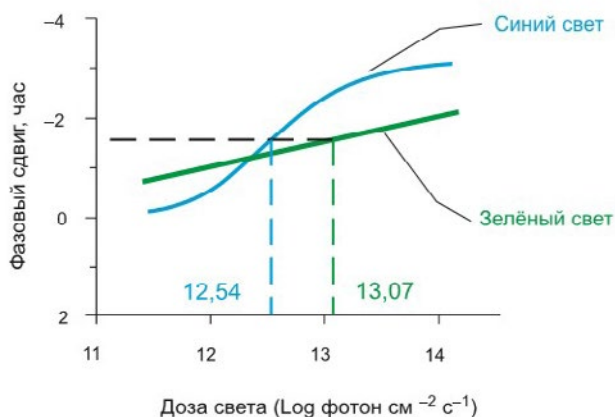


Рис. 5.6. Зависимость фазового сдвига от интенсивности синего и зеленого света ($13 \lg$ фотонов $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \sim 24$ лк для 555 нм света и ~ 2 лк для 460 нм) [5.17]

Отсюда следует, что риск нарушения циркадных ритмов будет иметь разные величины в зависимости от цвета света и его интенсивности. С точки зрения врача-гигиениста, только полное отсутствие света ночью не нарушает циркадные ритмы человека. Это и есть адекватная реакция организма на отсутствие света, а в остальных случаях можно говорить о степени риска нарушения циркадных ритмов. Но читатель может сказать, что в ночное время светит Луна. Лунный свет есть отраженный солнечный свет и от него есть защита – ставни и шторы на окнах. Сегодня некоторые считают, что могут создать искусственный лунный свет. Свет уличного фонаря на 4000 К, как говорят, похож на лунный свет и, следовательно, «естественный свет». Но так ли это на самом деле? Светодиодный свет не адекватен лунному свету, так как сильнее воздействует на организм человека [5.18]. 26 октября 2010 года в рамках Российской недели электроники Международная ассоциация «Метро» провела семинар «Светотехническая продукция для транспортных применений» при участии более 70 специалистов, представляющих метрополитены, структуры ОАО «РЖД», городского транспорта, организаций – разработчиков и поставщиков продукции. В ходе данного мероприятия были приняты Рекомендации семинара по вопросам освещения метрополитенов [5.20]. В докладе [5.19] и рекомендациях говорилось, что нормы освещенности и цветовая температура светодиодного источника све-

та должны быть выбраны исходя из условий комфортности освещения и минимального ущерба для системы биологических циклов человека, а на искусственных источниках света должны указываться значения показателей, влияющих на содержание мелатонина в крови человека. Кроме того, было рекомендовано обратиться в соответствующий департамент Минпромторга РФ с просьбой поддержать ОКР по разработке отечественных люминофоров и комплектующих элементов для источников света и светодиодных светильников, безопасных для здоровья человека [5.19]. Но работа не была профинансирована, и исследования пришлось продолжить в инициативном порядке при поддержке главных технологов Международной ассоциации «Метро», участвуя в их семинарах, конференциях и совместных публикациях. В результате сопоставительного анализа результатов проведенных за рубежом исследований по влиянию света на многообразное сообщество ганглиозных клеток было установлено, что меланопсин в ганглиозных клетках имеет два пика максимальной фоточувствительности – M1 Brn^{3b}- на 460 нм и M1 Brn^{3b}+ на 480 нм. При этом необходимо отметить, что спектрально-энергетическая характеристика солнечного света, ламп накаливания и галогенных ламп в области синего, голубого и зеленого диапазона имеет монотонно возрастающий характер, а у светодиодного света в области голубого диапазона монотонно спадающий характер. При сравнении спектральных характеристик галогенных и светодиодных ламп в области 460 и 480 нм образуется крестообразное пересечение, которое мы определили как «меланопсиновый крест». Основное соотношение «эффекта меланопсинового креста» можно представить как неравенство вида:

$$A(480) < A(460),$$

где: $A(460)$ – амплитуда светового стимула при 460 нм; $A(480)$ – амплитуда светового стимула при 480 нм. Это соотношение говорит о неадекватном управлении диаметром зрачка глаза. При соотношении $A(460) < A(480)$ происходит адекватное управление диаметром зрачка глаза при условии равенства $A(480)$ значению $A_{opt}(480)$ при соответствующей цветовой температуре.

Предварительные результаты проведенных исследований были доложены на Ученом совете ВНИИЖГ Роспотребнадзора [5.21]. Итогом проведенных исследований стал доклад «О влиянии светодиодного освещения на глаза и здоровье человека» на Ярославском энергетическом форуме 4–6 декабря 2012 года, где светотехнической общественности была представлена информация об эффектах, связанных с меланопсином ганглиозных клеток глаза, в частности, была раскрыта суть эффекта меланопсинового креста, из чего следовало, что в спектре белых светодиодов необходимо заполнять провал в области 480 нм, а для уменьшения риска сбоя циркадных ритмов человека – уменьшать уровень светового стимула в области 460 нм [5.22]. В рамках VI международной специализированной выставки EXPORAIL-2012 представители Mitsubishi Chemical Corporation LED Materials Department Information & Electronics Division сообщили, что в их стране применяются Natural light LED со спектром, как у солнечного света. Стремление японцев к солнечному небу выразил и основоположник светодиодного освещения С. Накамура. Он всегда хотел создать источник света, который соответство-

вал бы характеристикам нашего самого естественного освещения – Солнца. Именно поэтому компания называется Soraа, что в переводе с кандзи означает «небо». На конференции «Стратегия света – 2012», которая прошла в феврале 2012 года, Soraа анонсировала светодиоды GaN-on-GaN, которые излучают в пурпурной части спектра (вероятно, в диапазоне 405–420 нм), и лампу MR16, объединившую светодиоды GaN-on-GaN с трехфосфорной смесью [5.23]. Было заявлено, что в настоящее время светодиодные лампы GaN-on-GaN рассматриваются как лучшие в мире, имеющие качество света, который значительно превосходит любые другие светодиодные изделия. Компания объединила фиолетовые светодиоды со смесью из трех люминофоров, что позволило предоставить полный спектр, избегая как «синего выброса», так и «голубого пробела», характерных для обычных белых светодиодов [5.24]. Общий вид спектра ламп Soraа приведен на рис. 5.7.

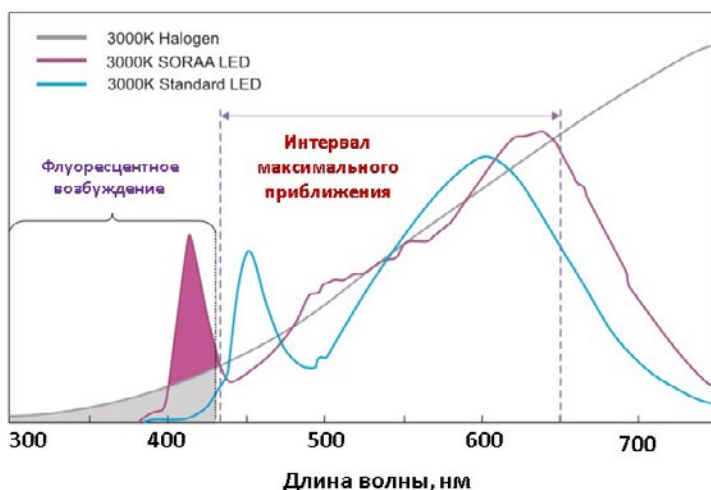


Рис. 5.7. Общий вид спектров света галогенной, светодиодной и лампы Soraа Led [5.25]

Смещением спектра возбуждения люминофоров влево от 450 нм в область фиолетового света специалистам Soraа удалось в диапазоне 440–650 нм приблизить спектр лампы MR16 к спектру света галогенной лампы (на рис. 5.7 указан диапазон максимального приближения). Исходя из мелатониновой концепции воздействия света на человека, специалисты ФГУП НИИ «Платан» в рамках стендового отчета [5.26] на 4th International Workshop on Photoluminescence in rare Earths: photonic materials and devices (Киото, Япония, 28–30 марта 2012 года) предложили создать биологически адекватные белые светодиодные лампы на основе редкоземельных фосфоров. Доклад был посвящен исследованиям по созданию нового ФК на основе двух редкоземельных люминофоров. Новый конвертер (ФК) состоит как минимум из трех компонентов: • гетеропереход GaN-InN с излучением в диапазоне фиолетового спектра видимого света 405–420 нм; • широкополосный люминофор с насыщенным сине-голубым излучением; • широкополосный люминофор с желто-оранжевым спектром излучения. Однако

в своей мелатониновой концепции авторы стендового отчета [5.26] не учли, что только отсутствие света формирует в цепи «ганглиозная клетка – шишковидная железа» адекватную реакцию, при которой не нарушается циркадный ритм. Комбинация конвертеров, согласно патенту [5.27], при возбуждении первого конвертера чипами СИД типа SL-V-U40AC фирмы SemiLEDs с длиной волны излучения 375 нм, расположенными по его периферии, обеспечивает эффективность белого света, исходящего от второго конвертера, возбуждаемого излучением первого конвертера, на уровне 80–100 лм/Вт в зависимости от толщины конверсионных листов. При таком возбуждении конвертеров и их комбинации уменьшается выброс в синей части спектра и заполнение провала в его голубой части, а также наблюдается большее количество световых стимулов в диапазоне 380–780 нм, чем при возбуждении люминофоров при длине волны 410 нм [5.26]. В своих дальнейших исследованиях специалисты ФГУП НИИ «Платан» придерживались циркадномелатониновой концепции [5.28]. В докладе на V заседании Координационного совета Президиума Генерального совета Всероссийской политической партии «Единая Россия» по вопросам энергосбережения и повышения энергетической эффективности, состоявшемся 12 февраля 2013 года, прозвучала информация о результатах исследований по программе DARPA, об успехах специалистов Soraа по созданию лампы MR16, а также о негативном влиянии светодиодного освещения на гормональный уровень и неэффективности управления зрачком глаза человека. Было высказано пожелание, что надо реформатировать светодиодную политику и вкладывать деньги в те технологии, которые будут адекватно отражать биологию зрения глаза человека [5.29]. В докладе И. А. Ганина, вице-президента некоммерческого партнерства «Энергоэффективный город», было отмечено, что отсутствие системы и требований к обязательной гигиенической экспертизе энергосберегающих источников света способствует распространению на рынке светильников со спектральными характеристиками, существенно влияющими на сетчатку глаза и в целом на гормональную систему человека [5.29]. Но ни руководство ГУП Республики Мордовия «Научно-исследовательский институт источников света имени А. Н. Лодыгина», ни главные редакторы ведущих светотехнических журналов не услышали эту информацию, а присутствующие производители светодиодного освещения должных выводов не сделали и тем самым упустили исторический момент по выпуску нового поколения светодиодов с солнцеподобным спектром излучения типа Natural light Led Sunlike, PerfectWhite, ABSOLUTE SERIES, Thrive, хотя на тот момент имели технологические возможности. Профессор Петер Бойс (Peter R. Boyce), который занимался исследованиями в области визуальных проблем светотехники и циркадными эффектами, отмечал, что скрупулезный подход к разработке наших знаний о влиянии света на здоровье и благополучие быстрее приведет нас к внедрению безопасных, успешных и общепринятых способов применения света на благо здоровья и благополучия, чем необдуманные поспешные действия, напоминающие самоубийственное поведение леммингов [5.30].

Великий Н. И. Пирогов говорил: «Я верю в гигиену. Вот где заключается истинный прогресс нашей науки. Будущее принадлежит медицине преду-

предительной». Предупреждены – значит, вооружены знаниями о гигиене света и, следовательно, знаете, как скорректировать спектр светодиодного источника света на благо здоровья человека.

Литература к главе 5

5.1. Дейнего В. Н., Капцов В. А., Балашевич Л. И., Светлова О. В., Макаров Ф. Н., Гусева М. Г., Кошиц И. Н. Профилактика глазных заболеваний у детей и подростков в учебных помещениях со светодиодными источниками света первого поколения // Российская детская офтальмология. – 2016, № 2.

5.2. CELMAELC LED WG (SM) 011_ELC CELMA position paper optical safety LED lighting_Final_July2011.

5.3. Спектры излучения и цветопередача: сравнительный анализ различных источников света. www.k-to.ru/ru/interesting/detail.php?ID=1414.

5.4. Out with ‘human centric,’ in with ‘nutritional light’. www.ledsmagazine.com/smart-lighting-iot/white-point-tuning/article/14033985/former-philips-lightingexecutive-founds-organization-dedicatedto-healthy-light.

5.5. Ковальчук М. Природоподобные (конвергентные) технологии – глобальные угрозы и вызовы. Лекция, 12.01.2016. www.ousnano.sbras.ru/sitepage.php?PageID=5543.

5.6. Лекция №15. Люминесценция. Оптические квантовые генераторы и их использование в медицине. Радиоспектроскопия. ЭПР и ЯМР. www.allfizika.com/article/index.php?id_article=1986.

5.7. Законы и принципы кибернетики, применяемые в управлении организациями. www.de.ifmo.ru/bk_netra/page.php?tutindex=3&index=16.

5.8. Скобарева З. А., Текшева Л. М. Биологические аспекты гигиенической оценки естественного и искусственного освещения // Светотехника. – 2003, № 4.

5.9. CCS Natural Light LEDs are very close to sunlight. www.ccs-grp.com/natural_led/.

5.10. Gooley J.J., Lu J., Chou T.C., Scammell T.E., Saper C.B. Melanopsin in cells of origin of the retinohypothalamic tract // Nat Neurosci. 2001. No. 4.

5.11. Brainard G.C. et al. Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor // Nat Neurosci. 2001. No. 21.

5.12. Thapan K. et al. An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans // Physiol. 2001. No. 535 (Pt 1).

5.13. A Spectrally Dynamic Berth Light for Active Circadian Cycle Management. www.sbir.gov/sbirsearch/detail/4555.

5.14. Капцов В. А., Дейнего В. Н. Изменения в концепции построения светодиодов для освещения с учетом здоровья человека // Энергосовет. – 2015, № 4.

5.15. Narukawa Y. et al. Conventional White LED (Blue LED+Phosphor) Strong Blue LED light disrupts the circadian cycle or suppresses melatonin? // Physics. 2010. No. 43.

5.16. Narukawa Y. et al. White light emitting diodes with super-high luminous efficacy // Physics. 2010. No. 43.

5.17. Gooley J.J., Rajaratnam S.M. W., Brainard G. C., Kronauer R. E., Czeisler C. A., Lockley S.W. Spectral Responses of the Human Circadian System Depend on the Irradiance and Duration of Exposure to Light // Science Translational Medicine. 2010. Vol. 2. Iss. 31.

5.18. Is a 4000 Kelvin LED street light like the moon? 20 April 2018. www.nachhaltig-beleuchten.de/blog/en/is-a-4000-kelvin-ledstreet-light-like-the-moon/.

5.19. Дейнего В.Н. Некоторые аспекты влияния светодиодного освещения на глаза и здоровье человека. Доклад на втором семинаре по проблемам освещения метрополитена. Международная ассоциация «Метро», 26 ноября 2010.

5.20. Рекомендации семинара по вопросам освещения метрополитенов. – Москва, 26 октября 2010. www.e-transport.ru/node/27.

5.21. Дейнего В. Н. Влияние светодиодного освещения на орган зрения и здоровье пассажиров и машинистов. Доклад на Ученом совете ВНИИЖГ. Протокол № 5 от 3 декабря 2010.

5.22. Дейнего В. Н. Некоторые аспекты негативного влияния света энергосберегающих и светодиодных ламп на глаза и здоровье человека. Сборник материалов III Ярославского энергетического форума, 4–6 декабря 2012. www.libed.ru/knigi-nauka/227407-9-sbornik-materialov-iii-yaroslavskogo-energeticheskogo-foruma-4-6-dekabrya-2012-goda-obrascheniya-uchastnikam-foruma.php.

5.23. Sora unveils GaN-on-GaN LEDs and MR16 lamps. www.ledsmagazine.com/manufacturing-services-testing/researchdevelopment/article/16698696/sora-unveils-gan-on-gan-leds-and-mr16-lamps.

5.24. Капцов В. А., Дейнего В. Н. Изменения в концепции построения светодиодов для освещения с учетом здоровья человека // Энергосвет. – 2015, № 4.

5.25. Líderes de la transformación de la industria del LED a partir de una innovador fuente de luz. www.difusiona.eu/project/sora/.

5.26. Ulsyuk V., Soschin N. Report (poster). Biologically adequate white LED lamps based on rare earth phosphors. 4th International Workshop on Photoluminescence in rare Earths: Photonic materials and devices (PRE'12) Kyoto, Japan, 28–30 March 2012.

5.27. Дейнего В. Н., Сощин Н. П., Уласюк В. Н. Светодиодный источник белого света с комбинированным удаленным фотолуминесцентным конвертером. Заявка на изобретение № 2011154397 РФ, МПК F21S 13/00, заявл. 30.12.2011; опубл. 10.07.2013. Бюл. № 19.

5.28. Уласюк В. Н. Использование удаленных фотолуминесцентных конвертеров для создания новых биологически адекватных светодиодных источников белого света. Доклад на II Всероссийском светотехническом форуме с международным участием. 3–4 декабря 2013. – Саранск, АУ «ТехнопаркМордва».

5.29. Ганин И. А. Тепло, свет, энергоэффективность. Часть 2 // Энергосвет. – 2013, № 3.

5.30. Петер Бойс. Свет и здоровье // Светотехника, 2006, № 2. <https://lightworld.livejournal.com/11835.html#/11835.html>.

Глава 6. Современные концептуальные бренды конструкций полупроводниковых источников света. Гигиеническая оценка спектров

Авторы статьи в работах [6.1, 6.2] с позиций гигиениста рассмотрели классическую и современную парадигму восприятия света и его влияние на здоровье человека и предложили модель, которая позволила сформулировать требования к биологически адекватному спектру света для глаз человека:

- светодиодный источник света должен продуцировать длину волны 480 нм, при этом должны соблюдаться условия по исключению «эффекта меланопсинового креста»;

- спектр светодиодных источников света должен лежать в пределах от чуть менее 380 нм и до чуть более 670 нм, создавая условия для восстановительных процессов в сетчатке глаза человека и обеспечения индекса цветопередачи более 95. Учитывая тот факт, что гигиенисты разрабатывают требования к световой среде обитания человека, и в частности к спектральному составу, в публикации [6.2] было введено понятие «биологически адекватный спектр света», суть которого раскрыта в последующих исследованиях. Каждая биологическая система имеет свой адекватный отклик на спектр света и его оптимальный уровень интенсивности или на отсутствие света в ночное время. С позиции гигиены света особый интерес представляют итоги работы фирмы Soraа, которая для уменьшения рисков нарушения циркадных ритмов взяла курс на создание белого света «без синего» (Soraа BlueFree). Не менее двух лет фирма Soraа разрабатывала концепцию «без синего», для чего была создана технология, позволяющая иметь высокий показатель цветопередачи [6.3]. На рис. 6.1 приведены спектры светодиодов BlueFree и ламп накаливания.

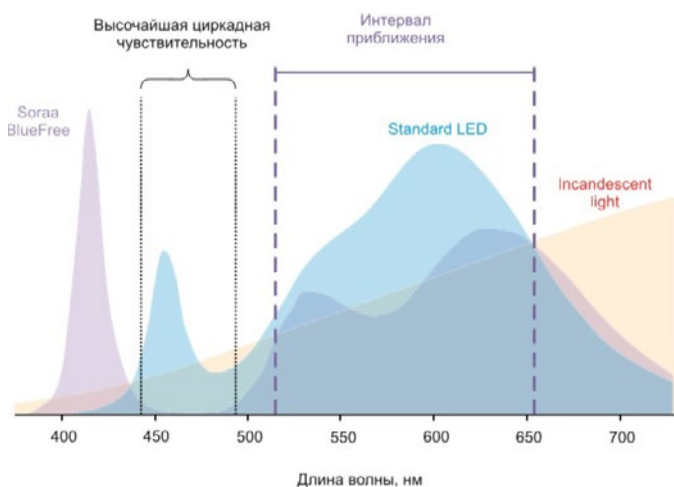


Рис. 6.1. Область синей опасности и сравнение спектров света стандартных светодиодов (синий кристалл, покрытый желтым люминофором), светодиодов Soraа BlueFree и ламп накаливания [6.3]

На рис. 6.1 указан интервал максимального приближения спектра лампы BlueFree к спектру лампы накаливания, с небольшим провалом в области зеленого света 555 нм. Степень приближения спектральных функций в заданном интервале диапазона длины волны можно оценивать методом наименьших квадратов [6.5–6.7]. Спектр света лампы BlueFree подобен спектру света источника света типа А в диапазоне длин волн 515–655 нм. В июне 2017 года специалисты компании Soraа представили свою концепцию [6.8]. В последнее время С. Накамура стал более активно работать над лазерными источниками белого света. Современными источниками в SLD Laser – дополнительном проекте Soraа. По сообщениям, новые светодиодные лампы Healthy Family от Soraа уменьшают меланопический люмен примерно на 40% по сравнению с обычными светодиодными лампами, включающими фиолетовый излучатель и смесь красного и зеленого люминофора. «Мы вступаем в новую эру здорового освещения, – сказал С. Накамура. – С введением продукта Soraа Healthy, первого в своем роде, мы теперь можем более точно и положительно влиять на поддержку правильного циркадного здоровья. Soraа Healthy – это единственный светодиод ZERO BLUE. Естественный белый свет с нулевой синей длиной волны, прорыв, который поможет вам получить сон, необходимый вашему организму. Проблема со стандартными светодиодными лампами заключается в постоянном невидимом синем свете, который они излучают при включении. Вечером, когда вы чаще всего используете свет, этот невидимый синий свет подавляет выработку мелатонина и затрудняет засыпание. Решения без синего цвета – это только начало, поскольку мы продолжаем разрабатывать передовые решения для динамического освещения, наиболее точно соответствующие свету, встречающемуся только в природе». Однако С. Накамура намекает на проблему, которую Soraа не указала явно в своем сообщении. Без сомнения, люди нуждаются в синей спектральной энергии в начале дня и даже днем, но лампы Healthy не могут ее предоставить. Поэтому проектировщикам освещения и даже конечным пользователям придется устанавливать лампы в специальные держатели, которые используются в основном ночью, – например, в настольной лампе в гостиной или спальне. В конечном итоге динамически настраиваемые лампы и светильники обеспечат идеальное SPD в зависимости от времени суток и активности. Создать идеальный перестраиваемый источник света дорого и сложно. Замена коррелированной цветовой температуры (CCT) двумя светодиодными каналами может создать приятную атмосферу, но эксперты сходятся во мнении, что такая простая система не обеспечит освещение для улучшения здоровья. Ученые и исследователи все еще пытаются полностью понять физиологию человека и точно определить, что нужно организму [6.9]. На конференции Strategies in Light 2019 прозвучал доклад Кеннета Ли (Kenneth Li), в котором была высказана идея использования светодиодов, люминофоров с лазерным возбуждением и/или обоих дополнительных источников света для увеличения выходной мощности всей системы RGB [6.10]. Для проверки эффективности подхода BlueFree руководство фирмы Soraа попросило Джейми Цейтцера (Jamie Zeitzer), профессора Стэнфордского университета и мирового эксперта в области медицины сна, изучить его физиологиче-

ское воздействие. Ученый провел эксперимент по измерению реакции зрачков на постосвещенность (PIPR) субъектов после воздействия света [6.11]. Это представляет интерес, поскольку после временного воздействия света, в течение которого зрачок переходит от полного расширения к полному сужению, а затем возвращается в состояние остаточного сужения, чья величина контролируется, по мнению профессора Джейми Цейтцера, теми же рецепторами ipRGC [6.12], что управляют циркадным циклом. Профессор считает, что более высокая доза синего света вызывает большее остаточное сужение, что предполагает более высокую циркадную стимуляцию. Однако следует отметить, что циркадными и зрачковыми эффектами управляют разные подтипы ганглиозных клеток. «Эффект удержания зрачка» наблюдается только при 480 нм (при голубом свете). На рис. 6.2 показана скорость расширения зрачка после того, как он подвергся воздействию света при освещенности 35 лк, вызванной двумя источниками света: стандартным светодиодом и светодиодом BlueFree (оба при цветовой температуре 2700 К).

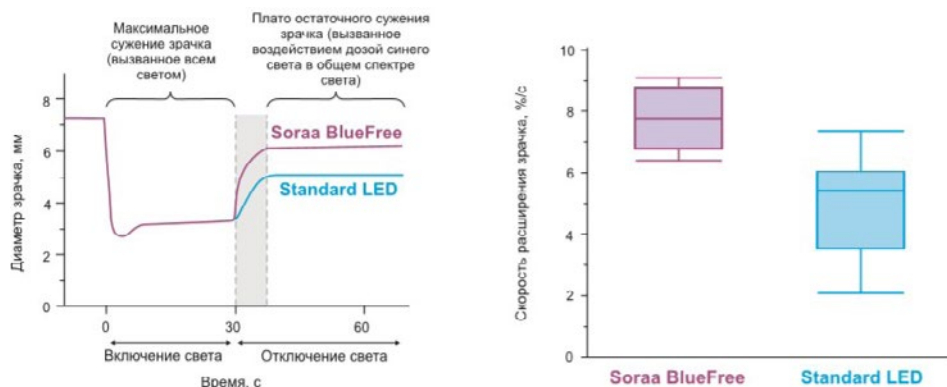


Рис. 6.2. Реакция зрачка на разные источники света [6.11]

Оба источника имеют одинаковую цветность, а значит, участники не могут различить их визуально. Светодиод BlueFree вызывает большую скорость повторного расширения, поскольку испытуемый возвращается к более низкому уровню остаточного сужения, что свидетельствует, по мнению профессора Цейтцера, о снижении циркадных нарушений. Клинический эксперимент показывает, что лампы BlueFree значительно менее разрушительны для нашей циркадной системы по сравнению со стандартными светодиодами. При этом следует отметить, что зрачок больше открыт при BlueFree, чем при стандартном светодиодном освещении, что может негативно сказаться на зрении человека при длительном пребывании в подобной световой среде – например, при длительном чтении или медицинском дежурстве. Как было показано в первой части статьи, при малых уровнях освещенности сдвиг циркадных ритмов происходит при зеленом свете больше, чем при синем свете. Мы снова возвращаемся к тому, что только выключенная лампа не влияет на циркадные ритмы человека. Но мелатонин-циркадная концепция завладела умами разработчиков светодиодных источников све-

та, и они используют ее в обоснование НИОКР [6.12, 6.13] и новых ОКР, таких как «Источники биологически адекватного светодиодного освещения для космических аппаратов» [6.14]. Суть инновации состоит в следующем: «Спектр излучения максимально приближен к спектру естественного освещения или спектру традиционных ламп накаливания, что обеспечивает через зрительные и нервно-мозговые каналы нормальные процессы генерации гормона мелатонина в организме и, соответственно, отсутствие тяжелых медико-биологических последствий, связанных с нарушениями указанных процессов» [6.14]. В мае – июне 2017 года специалисты Seoul Semiconductor анонсировали концептуальный бренд SunLike с новой технологией TRI-R от Toshiba Material Co. Проект TRI-R сфокусирован на спектре солнечного света, чтобы фактически убрать из него вредные ультрафиолетовые и инфракрасные лучи. Разработчики преуспели в создании «спектра, наиболее соответствующего для человека», сочетая люминофоры по запатентованной технологии. Главное достижение технологии TRI-R – это возможность создать светодиодный источник света с «воспроизводством 95% солнечного света внутри спектра видимого света». Результаты исследования Toshiba Material Co., LTD показали, что коэффициент воспроизводимости солнечного света является числовым показателем целостности между солнечным светом (излучением черного тела) той же цветовой температуры и одинаковой интенсивностью излучения и спектральным излучением искусственного освещения. Специалисты Toshiba Material Co., LTD считают, чем больше величина этого числа, тем спектр излучения искусственного источника ближе к качеству солнечного света [6.15 и 6.16]. Ведущий производитель светодиодов Seoul Semiconductor Toshiba Material Co. сообщает, что их технология сводит к минимуму выброс синего света, излучаемого обычными светодиодами, который нередко обвиняют в нарушениях сна и других проблемах со здоровьем. На рис. 6.3 приведен спектр SunLike LED. В SunLike используются кристаллы, излучающие фиолетовый свет с длиной волны 418–426 нм, и люминофор, преобразующий фиолетовый свет в красный, зеленый и синий [6.17].

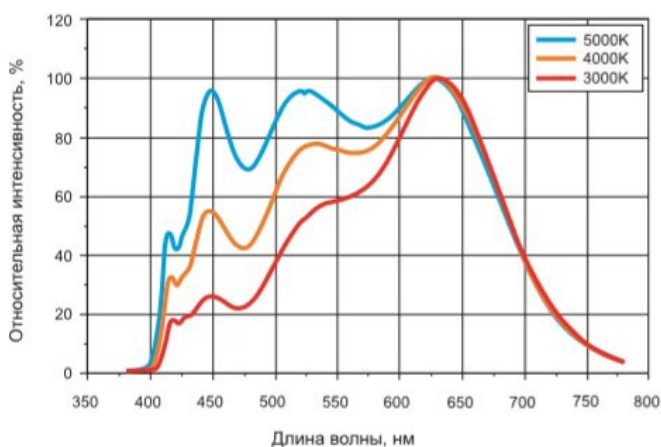


Рис. 6.3. Спектр SunLike LED [6.17]

На рис. 6.4 приведен спектр света светодиодной лампы, собранной на базе светодиода SunLike [6.17].

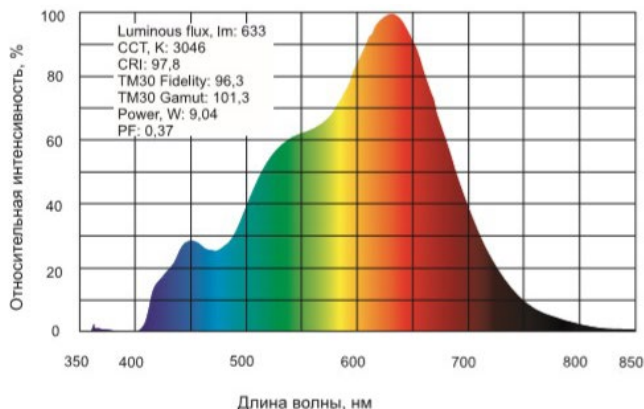


Рис. 6.4. Спектр светодиодной лампы SunLike

Китай быстро улавливает передовые тенденции в разработке полупроводниковых источников света и на своей технологической базе создает свои решения. Спектр светодиодной лампы на базе светодиода компании Smart Eco Lighting приведен на рис. 6.5.

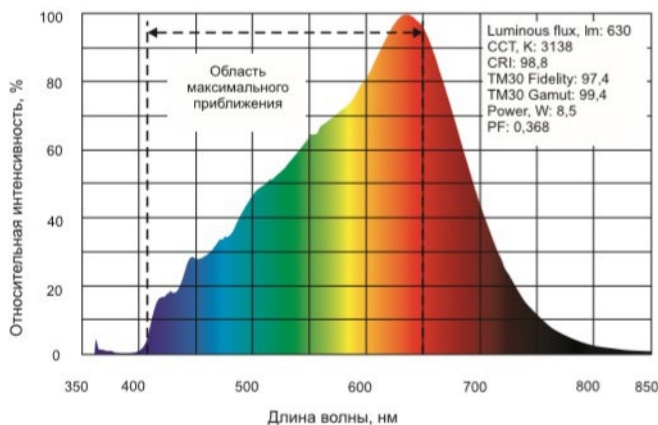


Рис. 6.5. Спектр светодиодной лампы компании Smart Eco Lighting

Компания Smart Eco Lighting, в отличие от корейской SunLike, одновременно использует фиолетовые (424–425 нм) и синие (456–459 нм) кристаллы [6.17]. Данный спектр лампы со светодиодами компании Smart Eco Lighting подобен спектру стандартного источника света типа А в диапазоне длин волн 405–650 нм. В статье [6.18] приведены результаты исследования Базельского университета в Швейцарии о положительном влиянии светодиодов SunLike, имитирующих дневной свет, на визуальный комфорт, бодрствование и сон. В Европе получил распространение концептуальный бренд «человекоориен-

тированные системы освещения». Отечественные производители светодиодного освещения поддерживают новую тенденцию в светотехнике – идеологию человекоориентированного освещения (Human Centric Lighting), которую активно продвигает Ассоциация Lighting Europe, представляющая интересы индустрии освещения в Европе. Ее ежедневная цель – продвигать и защищать интересы индустрии освещения в Европейском парламенте в соответствии с политическими целями ЕС. Ассоциация поддерживает экономное освещение, которое обеспечивает максимальный комфорт, здоровье и безопасность пользователей [6.19, 6.20]. Обычный метод для достижения этих функций на существующих перестраиваемых светильниках заключается в установке нескольких светодиодных пакетов на одной плате. Такой подход обеспечивает гибкость в дизайне, но сложен и требует изобретательности, чтобы правильно смешивать цвета каждого светодиода. Для устранения этих недостатков разработано новое поколение светодиодов chip-on-board (COB) или их функциональных наборов. 19 июля 2018 года компания LG Innotek объявила в Сеуле (Южная Корея), что впервые в мире выпустила Eye Pleasing LED (светодиод, радующий глаз) – светодиодный светильник новой конструкции, вдохновленный предыдущими исследованиями взаимодействия света и глаза [6.21]. Компания применила свою запатентованную технологию для проектирования светодиодных чипов для контроля световой длины волны. Фактически EP LED контролирует длину волны «синего света», которая соответствует 380–500 нм видимого света. Он генерирует волны 415–455 нм, которые, как известно, участвуют в выработке реактивного кислорода в сетчатке и создают напряжение для глаз на 60–70% меньше, чем солнечный свет или светодиоды. EP LED также можно использовать для создания света, улучшающего когнитивные способности и концентрацию по сравнению с обычными белыми светодиодными продуктами. Это возможно, потому что EP LED излучает волны между 465 и 495 нм (480 нм), которые активируют физиологические функции человека на 20% больше, чем естественный солнечный свет. Кроме того, светильник EP LED применим для настройки цветовой температуры в офисе, розничной торговле или больницах. За счет высокой цветовой температуры, близкой к естественному солнечному свету, он может активировать биоритмы, улучшать чувство стабильности персонала в комнате отдыха или пациентов в больничных палатах [6.21]. 21 ноября 2018 года Nichia запустила новую серию цветных перестраиваемых chip-on-board (COB) для общего освещения, отличающихся высокой плотностью потока (номера моделей: NJCWL024Z-V1MT/NVCWJ024Z-V1MT) [6.20]. Общий вид светодиода NJCWL024Z-V1MT и спектр его света приведены на рис. 6.6.

При взгляде на изображения перестраиваемых chip-on-board на рис. 6.6, кажется, что Nichia покрывает один из двух светодиодов теплым люминофором, а затем наносит на всю упаковку светодиодов более холодный люминофор. Поскольку два излучающих светодиода расположены ближе друг к другу, чем в случае с соседними холодными и теплыми упаковками светодиодов, смешивание происходит более эффективно. Это означает, что вторичная оптика может быть расположена ближе к светодиоду и может быть тоньше. По мнению разработчика, данная технология не является концепцией или прототипом; это новаторская, изменяющая восприятие реальность, которая

знаменует собой значительный прогресс для производителей светильников и промышленности. Настраиваемый белый светодиод «2-в-1» имеет все возможности для того, чтобы стать эталонной светодиодной технологией для большинства светильников, позволяющей в будущем легко создавать конструкции, ориентированные на человека. Однако с гигиенической точки зрения современные «человекоориентированные системы освещения» часто не соответствуют своему названию, было бы лучше обозначить их термином «изменяющие цветовую температуру» [6.22]. Изменение цветовой температуры освещения в течение дня является смыслом «человекоориентированных систем», но при этом паттерн спектра света не меняется, а его недостатки остаются прежними – выброс синего 450–460 нм, провал 480 нм и дефицит красного 670 нм. Этот недостаток присущ и спектрам светодиодов по технологии chip-on-board (COB) NJCWL024Z-V1MT/NVCWJ024Z-V1MT для общего освещения с люминофорами с разной цветовой температурой.

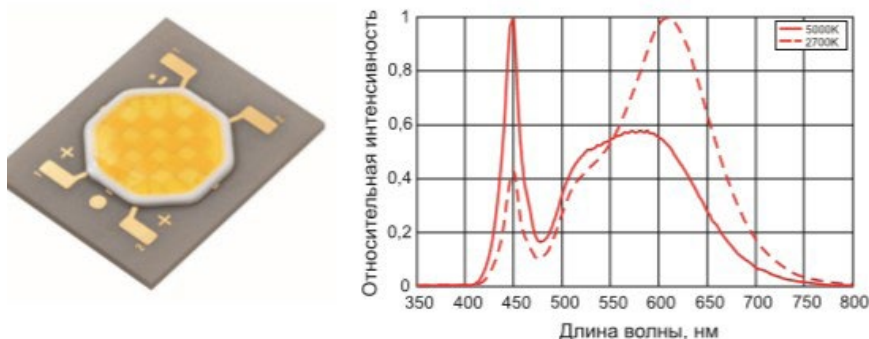


Рис. 6.6. Общий вид светодиода NJCWL024Z-V1MT (NICHIA STS-DA1-5411, Cat. No181005) и спектр его света

Концептуальный бренд Perfect White («идеальный белый») компании Luminus Devices, Inc., базирующейся в Саннивейле, штат Калифорния, США, представляет третью запатентованную спектральную технологию Perfect White, которая точно повторяет визуальные характеристики галогенных ламп (3000 K) [6.23]. По мнению разработчика, улучшенные светодиоды Perfect White заполняют голубой пробел 480 нм, который не заполнен в большинстве типов белых светодиодов [6.23]. Типовой спектр светодиода Luminus Perfect White приведен на рис. 6.7.

Продукты Luminus Perfect White изготавливаются по технологии Chip-on-Board (COB) и выпускаются по нормативной документации Perfect White Series Product Datasheet PDS-002983 Rev 012018 Luminus Devices [6.24]. Спектр света светодиодов Luminus Perfect White подобен источнику света типа А в интервале длин волн 460–630 нм. Концептуальный бренд «ультра-высокой цветопередачи». В Сан-Франциско, Калифорния, США, была выпущена световая линейка со светодиодами ABSOLUTE SERIES. По замыслу разработчиков эта технология является первым светодиодным продуктом для достижения 99 CRI на D50–5000 K и D65–6500 K. Традиционные белые светодиоды используют синий кристалл 455 нм в качестве основного

источника света, а также смесь зеленого и красного люминофоров для достижения светопередачи с неполным спектром света. Это приводит к тому, что обычно называют «голубой разрыв» (голубой провал) – когда в области между синей и зеленой длинами волн не хватает световой энергии, а также наблюдается превышение энергии синей длины волны (выброс синего). Чтобы устранить спектральные недостатки в стандартных светодиодах, светодиоды ABSOLUTE полагаются на другой набор композиций материалов на разных длинах волн. Чтобы смягчить воздействие острого пика в области синей длины волны, пиковая длина смещается до 420 нм, что обеспечивает дополнительное преимущество в фиолетовой области. При добавлении голубого люминофора в смесь излучение света в синей области спектра становится более плавным, одновременно устраняя синий выброс и голубой промежуток (голубой провал) [6.25]. На рис. 6.8 приведен общий вид спектра света светодиода ABSOLUTE.

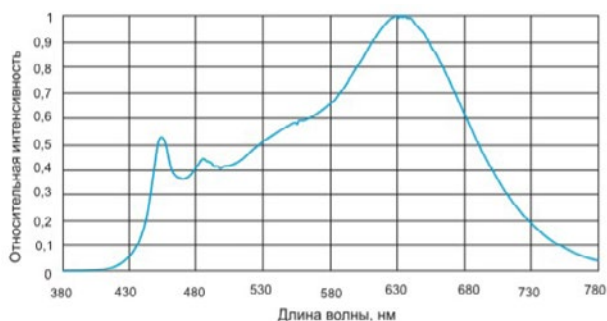


Рис. 6.7. Типовой спектр светодиода Luminus Perfect White и спектр светодиода CLM-22-30-90-36-PC32-F4-3 с типовым световым потоком 3685, при типовом потреблении 36,2 Вт при цветовой температуре 3000 К

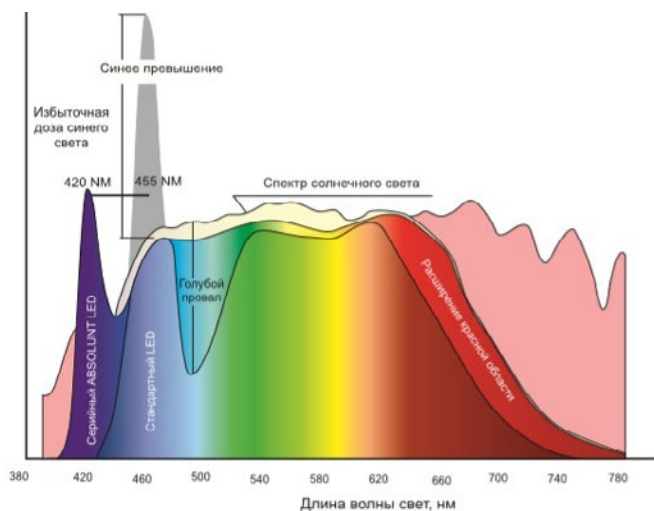


Рис. 6.8. Общий вид спектра света светодиода ABSOLUTE в сравнении со стандартным светодиодом и солнечным светом

Для стандартного светодиода с высоким индексом цветопередачи условия подобию солнечному свету сохраняются в диапазоне длин волн 530–630 нм. Для светодиода ABSOLUTE условия подобию спектру солнечного света сохраняются в диапазоне длин волн 430–650 нм. Все эти интервалы находятся в пределах кривой видности.

Концептуальный бренд Thrive Компания Bridgelux объявила о выпуске светодиода Thrive, семейства вариантов «белых точек» для устройств поверхностного монтажа (SMD), V Series, Vero Series и Vesta Series чип-наплате (COB), чтобы точно имитировать Солнце и обеспечить новый класс решений с точечным белым светоизлучающим диодом (LED) полного спектра, ориентированного на человека [6.26]. Используя запатентованные чипы, люминофор и производственные технологии, Thrive имитирует спектры Солнца без увеличения фиолетового света, генерирует более низкую интенсивность синего света на более коротких длинах волн и обеспечивает плавный спектр в диапазоне видимых длин волн. Спектры света светодиодов Thrive приведены на рис. 6.9.

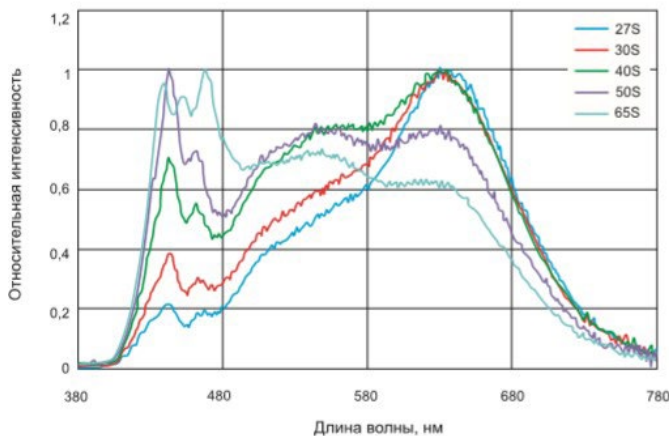


Рис. 6.9. Спектры света светодиодов Thrive

Для данного источника света условия подобию стандартному источнику света А сохраняются в интервале 470–630 нм. С увеличением цветовой температуры в спектре наблюдаются явные провалы в области 480 нм.

Концептуальный бренд – визуально ориентированное светодиодное освещение Tunable LED [6.27]. Длительные часы нахождения в помещениях и отсутствие дневного света вызывают эпидемию близорукости среди молодежи во всем мире, пишет Стивен Мейсон, но реализация светодиодного освещения с настраиваемым спектром может замедлить развитие близорукости. Доктор Стивен Мейсон занимается частной практикой более двадцати лет. Он имеет патенты в области биометрии, идентификации личности и безопасности. А недавно им был разработан новый и запатентованный IP в области светодиодного освещения и предотвращения близорукости и макулярной дегенерации [6.27]. Доктор Стивен Мейсон считает, что спектр светодиодного светильника должен быть перестраиваемым, излучать белый

свет и сохранять голубой пик при 480 нм, предлагая максимальную возможность стимулировать высвобождение ipRGC/амакринных клеток сетчатки в сочетании с предпочтительно суточным циклом человека от восхода солнца до заката [6.27]. В основе его технического решения лежит одновременное применение белого и голубого светодиодов, чтобы получился источник света со спектром, приведенным на рис. 6.10.

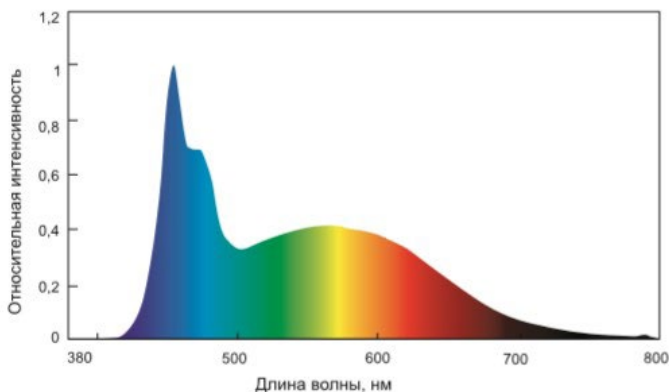


Рис. 6.10. Суммарный спектр светодиода с пиком синей энергии, смещенным до 480 нм

Стивен Мейсон считает, что голубой пик в 480 нм в идеале должен иметь более высокую энергию утром и предпочтительно уменьшаться в течение периода дневной экспозиции более или менее линейно, чтобы к концу дня было минимальное излучение на длине волны, к которой ipRGCs наиболее чувствительны. Хотя определяющие параметры в этом решении основаны на длине волны и яркости во времени, решение будет создавать более высокую коррелированную цветовую температуру (CCT) около 5000 К утром и уменьшенную CCT около 2700 К днем. Примечательно, что хотя солнечный свет, конечно, содержит длины волн 415–455 нм, исследователи считают их потенциально опасными для сетчатки. Спектр Солнца 480 нм обеспечивает максимальное устойчивое сужение зрачка благодаря реакции ipRGC, описанной ранее. Но типичные белые светодиоды с преобразованным люминофором обычно имеют впадину в SPD при 480 нм, поэтому максимальное зрачковое сужение не может быть реализовано в глазу, чтобы автономно обеспечивать его собственную естественную защиту от более коротких длин волн синего цвета. Следует также учитывать большую прозрачность детских глаз и сценариев, в которых может быть развернута предлагаемая система (детские сады, школы и больницы). Важно, чтобы защита сетчатки от «синей опасности» была приоритетной, особенно когда она предлагается в качестве терапевтического эффекта. Не менее важно, что любой источник света с голубым пиком на длине волны 480 нм должен быть так перестраиваемым, чтобы SPD и яркость можно было изменять в соответствии с естественным циркадным ритмом [6.27, 6.28].

Концептуальный бренд YUJILEDS – перестраиваемого спектра с высоким CRI. Компания YUJILEDS, известная своими красными светодиодами-

ми люминофорными материалами с превосходной яркостью и стабильностью, установила партнерские отношения во всем мире, включая Mitsubishi Chemical Corporation. Чтобы опираться на опыт создания люминофоров и удовлетворить потребности рынка высококачественного освещения, требующего высококачественных белых светодиодов, компания предлагает собственную линейку упакованных светодиодов и решений с полным спектром светодиодов дневного света, пользовательских светодиодов и экспертных решений для специального освещения. Компания производит светодиодные продукты для специальных применений, требующих полного или специализированного спектрального покрытия [6.29]. Лаборатория YUJILEDS объявила о самых современных результатах исследований и разработок в области монохроматического перестраиваемого спектра с высоким CRI. Основываясь на суперпозиции спектра, новый продукт 7070 состоит из пяти интегрированных каналов – красного, зеленого, синего, холодного белого и теплого белого – в одном упакованном светодиоде (рис. 6.11) [6.29].

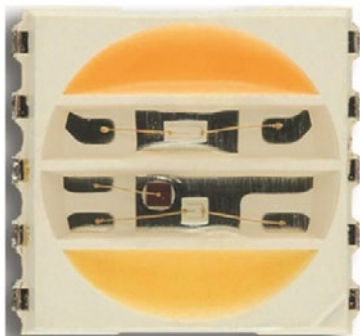


Рис. 6.11. Внешний вид светодиода RGBWW с высоким CRI YUJILEDS

На рис. 6.11 приведен внешний вид чипа YUJILEDS. Цветовая температура чипа перестраивается в пределах 2700–6500 К.

На рис. 6.12 приведены спектр светодиода YUJILEDS при 2700 К в сравнении со спектром стандартного светодиода и лампы накаливания (а) и спектр светодиода YUJILEDS при 6500 К при сравнении со спектром стандартного светодиода и источника света типа D65 (б).

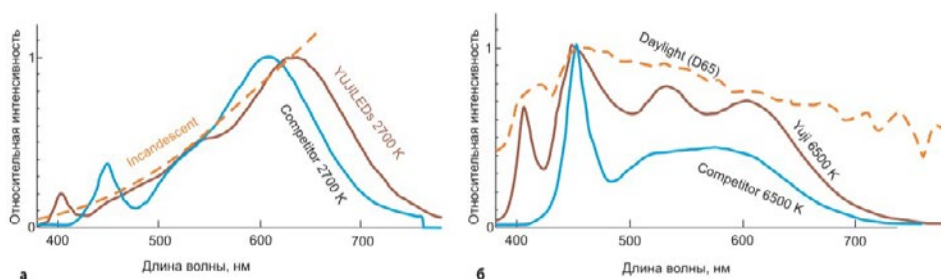


Рис. 6.12. Типовые спектры светодиодов YUJILEDS: а) при 2700 К и б) при 6500 К [6.30]

Для светодиода YUJLEDS при 2700 К условия подобию к спектру стандартного источника света А сохраняются в диапазоне длин волн 425–650 нм. Партнеры из Южной Кореи и Японии говорят о концептуальном бренде – «солнечном свете», а первым российским брендом был «Светлана». В отделении «Светлана» акционерного общества «Я. М. Айвз» в 1914 году была выпущена первая электрическая лампочка России, на которую была нанесена маркировка товарного знака «Светлана» как аббревиатура словосочетания «световая лампа накаливания». В настоящее время известным отечественным концептуальным брендом является «Пандора ЛЕД». Компания «Пандора ЛЕД» – торговая марка Завода опытного приборостроения, г. Калуга. По мнению руководства, они имеют одну из лучших в России научно-исследовательских баз для работы с современными полупроводниковыми материалами. Одной из целей исследований было получить свет, более приятный человеческому глазу, при котором человек видит лучше и меньше утомляется [6.31], и добиться рекордной отдачи света на один ватт затраченной энергии, а значит, высочайшей энергоэффективности. Но с гигиенической точки зрения о качестве света наилучшим образом говорит его спектр и индекс цветопередачи. На рис. 6.13 приведен внешний вид модуля DL-12/5100 (а) и его спектр белого света (б) [6.32].

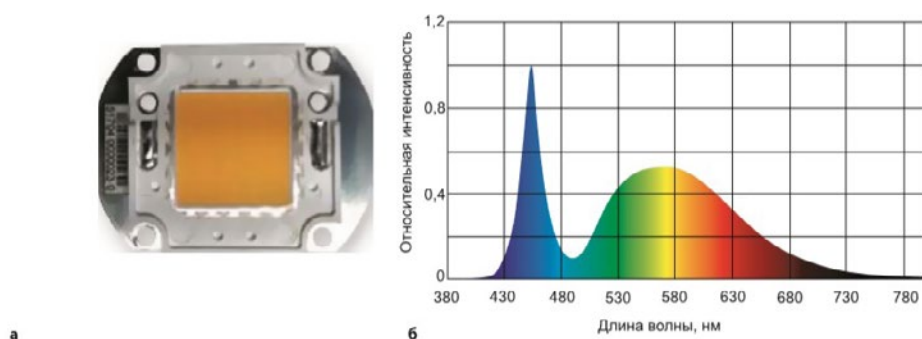


Рис. 6.13. а) Внешний вид кристалла DL-12/5100 и б) спектр его света [6.32]

Увеличение в спектре света доли зеленого света не спасает ситуацию, так как имеется значительный выброс синего и провал в области 480 нм при коррелированной цветовой температуре 4000 К и индексе цветопередачи 72.

В настоящее время на отечественном светодиодном рынке ярким примером частично скорректированного спектра света является светодиодный источник с биологически адекватным спектром излучения [6.33]. Автор патента считает, что «создание светодиодных источников освещения с биологически адекватным спектром белого света, решаемое в настоящем изобретении, становится все более актуальным, особенно для светодиодных источников, предназначенных для использования в вечернее время, поскольку новейшие современные светодиодные устройства SunLike (Seoul Semiconductor и Toshiba Chemicals) или Eye-Pleasing (LG Innotek), которые могут использоваться в дневное время в условиях недостаточного солнечного освещения как дополнительное освещение, непригодны для вечернего

домашнего освещения в силу подавления генерации мелатонина высокой синей составляющей их спектра, несмотря на минимизацию провала в спектре при 480 нм. Технической задачей, решаемой предлагаемым патентом, является создание светодиодных ламп с биологически адекватным спектром белого излучения, в них уменьшено вредное воздействие излучения на человеческий организм, присущее известным техническим решениям, они предназначены для замены ламп накаливания и стандартных СИД-ламп и имеют увеличенную надежность и эффективность источника света». В патенте приводятся спектры разработанных типов ламп. В качестве примера рассмотрим параметры линейной светодиодной лампы, приведенные в патенте [6.33]. Данная линейная светодиодная лампа изготовлена по дискретной технологии с использованием SMD СИД производства фирмы Lumileds: 48 белых типа L130-3090003000W21 и 12 голубых СИД типа L135-B475003500001. Выходные поверхности голубых СИД покрыты фотолюминесцентной пленкой толщиной 200 мкм, созданной на основе оптического двухкомпонентного силиконового компаунда OE 6636 производства фирмы DowCorning с добавлением фотолуминофора $Y_2,79Ce_0,12Lu_0,09Al^3,1Ga_1,9O_{12}$ в соотношении 1:1. Пленки приклеены компаундом OE 6636. Установившийся световой поток лампы 3110 лм при потребляемой мощности 30,7 Вт (постоянное напряжение 51,13 В), светоотдача 101 лм/Вт, CRI 92%, TC = 2900 К. Спектр этой светодиодной лампы приведен на рис. 6.14, который взят из патента [6.33], а также для сравнения показан типовой спектр светодиодов SunLike 3000К.

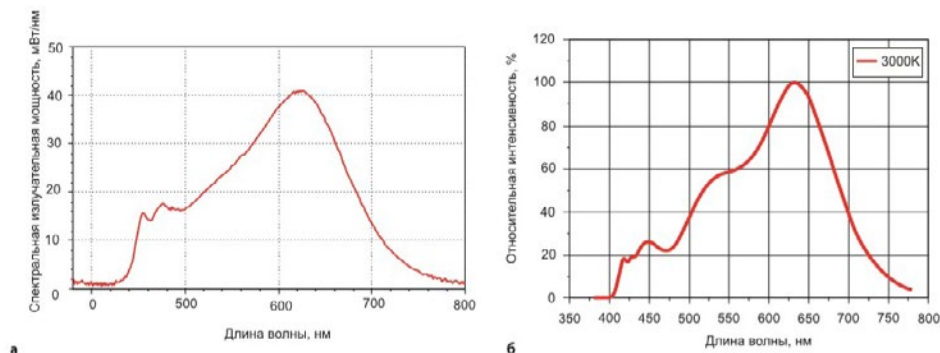


Рис. 6.14. а) Спектр линейной светодиодной лампы длиной 560 мм [6.33] и б) спектр светодиодов SunLike с цветовой температурой 3000 К (Seoul Semiconductor и Toshiba Chemicals)

Общий паттерн спектров одинаков, а значит, они одинаково воздействуют на циркадные ритмы. Повторим еще раз: только отсутствие света дает адекватную реакцию циркадного ритма. При этом необходимо отметить, что, по заявлению разработчика LG Innotek, технология Eye Pleasing' LED позволяет контролировать необходимый уровень доли синего и голубого в спектре белого света своих светодиодных модулей. Современные светодиодные лампы являются малым подобием полупроводниковых источников света с биологически адекватным спектром излучения для человека, а тем более солнцеподобного спектра излучения типа D и A. Зарубежные фирмы и от-

дельные отечественные предприятия (ООО «Биолюмен» [6.33] и ООО «Светодиод» [6.34]) стремятся как-то исправить спектры светодиодного освещения, но их ресурсов пока не достаточно для решающего прорыва в сторону природоподобных технологий в светотехнике. В соответствии с проводимой АПСС и чиновниками технической политикой отечественный светотехнический рынок наполнен светодиодами и светодиодными светильниками со спектрами типа «Пандора ЛЕД» – выброс синего и провалы в области 480, 380 нм и в красной области спектра. Их усилиями на отечественном светотехническом рынке открыт светодиодный ящик Пандоры. В это же время министерство энергетики США (DOE) устанавливает новую политику федерального реестра на сентябрь 2019 года и устраняет возможность широкого перехода на светодиодные источники начиная с 1 января 2020-го [6.35]. При этом необходимо отметить, что ведущий производитель светодиодов в мире и в США фирма Cree меняет инвестиционные приоритеты со светодиодного сектора на сектор по выпуску комплектующих для беспроводной 5G и выпуск силовых полупроводников для электрических и автономных транспортных средств [6.36]. В статье [6.37] медицинский директор офтальмологических клиник «Де визу» к. м. н. Александр Андреев говорит о проблеме воздействия синего света на сетчатку при облучении ее светодиодным светом: «...проблема формально не стоит. Нет спроса со стороны социума, нет соответствующего «заказа» со стороны государства, практически отсутствует обсуждение в сфере офтальмологического сообщества. Проблема излучения 440–460 нм завуалирована и недооценена, но она обязательно выстрелит в будущем, когда дегенеративные заболевания сетчатки резко помолодеют... государство озадачится в связи с потерей части трудоспособного населения и увеличения расходов на медицину». Далее он отмечает, что «несмотря на доказанную роль вредного синего в патогенезе возрастной макулярной дегенерации и налаженное производство интраокулярных линз с желтым фильтром, офтальмохирурги продолжают имплантировать хрусталики без фильтра, особенно по бесплатным медицинским программам, поскольку они дешевле. И никто не запрещает это делать. Настолько же двоякая ситуация и со светодиодами: с одной стороны, многие потребители и производители не знакомы с риском излучения 440–460 нм, с другой – контакт с представителями отраслевого бизнес-сообщества приводит к пониманию, что вопросы здоровья для них не являются приоритетом. Хотя крупными потребителями (директорами парков, чиновниками) и осознается важность обозначенных рисков, доминирующей для них остается роль экономической составляющей при закупках». Справедливость этих слов подтверждает и руководитель Ассоциации производителей светодиодов (АПСС) Е. В. Долин: «Варварство и нечестничество «заслуженных врачей» привело к немалым издержкам как у АПСС, так и у всех честных участников рынка в открытии школьного рынка для средств качественного освещения в преддверии активной фазы реализации правительственной программы «Школа-2020» [6.38].

Внедрение светодиодов на российском рынке похоже на фарс. Спустя семь лет после презентации главой «Роснано» руководству страны первой российской светодиодной лампочки разработки «Оптаган» Анатолий Чубайс заявил, что крупной технологической потерей «Роснано» стал проект

по производству светодиодной светотехники компанией «Оптоган» [6.39]. Имеющий уши да услышит, имеющий глаза да увидит, а руководство ведущих светотехнических предприятий не увидело и не услышало и начиная с декабря 2012 года мер не приняло. Не имеющий стратегии – жертва чужой тактики, способной привести к серьезным потерям. Так, в экспертной справке руководства АПСС к «Проекту «Стратегия развития фотоники...» говорится, что в России технологиями массового серийного корпусирования (герметизации) светодиодов обладают несколько предприятий [6.40]:

- «ЛЕД Энергосервис» (Санкт-Петербург) возобновил производство СД под брендом «Оптоган».
- НИИ полупроводников (Томск) ведет опытное производство маломощных светодиодов.
- РоСАТ (Армавир) ведет ограниченное производство специальных светодиодов для светофоров РЖД.
- «Пандора» (Калуга) ведет мелкосерийное производство для собственных нужд.
- «Протон» (Орел) ведет массовое производство маломощных и индикаторных светодиодов.
- Уральский оптико-механический завод (Екатеринбург), линии на консервации.
- «Светлана-Оптоэлектроника» (Санкт-Петербург), производство прекращено, компания – банкрот.
- ГЗ «Пульсар» (Москва) прекратил производство.
- «НЕПЕС РУС» (Саранск) прекратил производство.

В интервью заместитель генерального директора по производству компании ООО «ЛЕД-Энергосервис» Борис Ким говорит следующее: «Мы готовы подстраиваться под потребности клиентов, что в случае с нашими зарубежными конкурентами невозможно: компания готова изготавливать продукцию со специфическим спектром излучения, с высокой цветопередачей и осуществлять другие запросы клиентов» [6.41]. Очень жаль, что эти предприятия до настоящего времени не реализовали НИР и ОКР по корректировке спектров светодиодного света (синий кристалл – желтый люминофор) с учетом биологического восприятия света зрительным анализатором человека.

Выводы: 1. Все зарубежные концептуальные бренды имеют одну техническую основу уменьшения уровня синего 450 и 460 нм и заполнения провала 480 нм путем смещения длины волны возбуждения люминофоров в область 410 нм. Ширина спектра современных светодиодных источников света намного уже, чем гигиенически обоснованная ширина спектра для искусственных источников света.

2. Политика трансфера технологий не привела к созданию своего национального концептуального бренда по разработке полупроводниковых источников света, который мог бы обеспечить конкурентоспособность на мировом светотехническом рынке. Это привело к банкротству ряда отечественных светотехнических фирм и деградации отечественных предприятий по выпуску люминофоров.

3. В настоящее время специалистами ВНИИЖГ Роспотребнадзора созданы теоретические основы гигиены света, на базе которых сформулиро-

ваны требования к современным полупроводниковым источникам белого света со спектром, подобного солнечному излучению («spectrum similar to solar radiation (SSSR)» с гигиенически безопасной цветовой температурой.

Литература к главе 6

6.1. Дейнего В. Н., Капцов В. А. Свет энергосберегающих и светодиодных ламп и здоровье человека // Гигиена и санитария. – 2013, № 6.

6.2. Дейнего В. Н., Капцов В. А. Гигиена зрения при светодиодном освещении. Современные научные представления // Гигиена и санитария. – 2014, № 5.

6.3. Wright M. Soraal eliminates blue spectra in LED replacement lamp family. www.buzzwired.org/2019/04/12/soraal-eliminates-blue-spectra-in-led-replacement-lampfamily/.

6.4. Chokkattu J. Soraal's Helial bulbs eliminate blue light without the yellow hue. www.digitaltrends.com/home/soraal-helial/.

6.5. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: Физматлит, 2006.

6.6. Коваленко О. Ю., Афонин В. В. Программный синтез светодиодного модуля // Вестник ФГОУВПО Московский государственный агроинженерный университет им. В. П. Горячкина. – 2009, № 2.

6.7. Афонин В., Коваленко О., Гусева Е., Пильщикова Ю. Моделирование спектра солнечного излучения с помощью светодиодов // Фотоника. – 2016, № 2.

6.8. David A. Blue-free white light breaks the paradigm of circadian lighting. www.ledsmagazine.com/leds-ssl-design/article/16695634/bluefree-white-lightbreaks-the-paradigm-of-circadianlighting-magazine.

6.9. Soraal eliminates blue spectra in LED replacement lamp family. www.ledsmagazine.com/smart-lighting-iot/white-point-tuning/article/16699087/soraal-eliminates-blue-spectra-in-ledreplacement-lamp-family.

6.10. Li K. LED RGB Light Source with Enhanced Red and Green Outputs. Optonous Technologies Inc. Laser. Strategies in Light 2019. www.strategiesinlight.com/.

6.11. Adhikari P., Zele A. J., Feigl B. The Postillumination Pupil Response (PIPR) // Investigative Ophthalmology & Visual Science. 2015. Vol. 56.

6.12. Brainard G. C., Hanifin J. P., Greeson J. M., Byrne B., Glickman G. A., Gerner E., Rollag M. D. Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor // J. Neurosci. 2001, No. 21.

6.13. НИОКР. Разработка технологии производства биологически адекватных светодиодных источников белого света для судовых светильников. Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, 2015–2017.

6.14. Уласюк В. Н., Социн Н. П. Проект Фонда «Сколково», кластер космических технологий и телекоммуникаций, ООО НТЦ «Биолюмен». Источники биологически адекватного светодиодного освещения для космических аппаратов. www.docplayer.ru/29936991Innovacionnye-proekty-fond-skolkovoklaster-kosmicheskikh-tehnologiy-itelekkommunikacij.

6.15. Toshiba Material Co., LTD. www.toshibatmat.co.jp/en/tri-r/technology/.

6.16. Perez O. L., Ph. Well D. Ap sunlike technology, circadian/melanopic stimulus, & the well building standard “human centric Lighting and Health” Symposium Light and building 2018 Frankfurt, Germany, 2018.

6.17. Солнечный спектр по-китайски. www.pvsm.ru/gadzhety/312945.

6.18. Кайочен К, Фрейбурже М. и др. Влияние светодиодов, имитирующих дневной свет, на визуальный комфорт, бодрствование и сон // Современная светотехника. – 2019, № 3.

- 6.19. www.lighting europe.org/about-us; www.lighting europe.org/human-centric-lighting
- 6.20. Human centric lighting. www.halla.eu/ru/test-2.
- 6.21. LG Innotek Unveils world's first 'Eye Pleasing' LED. www.lginnotek.co.kr/en/itk_news/lg-innotek-unveils-worlds-first-eye-pleasing-led/.
- 6.21. Десять основных тенденций в сфере освещения. www.revolight.ru/partners/learning/reviews/10-osnovnykh-tendentsiyv-sfere-osveshcheniya-v-2018-g/.
- 6.22. Luminus' Spectrally Tuned LED Light Sources Create New Market Opportunities. www.led-professional.com/products/leds_led_modules/luminus2019-spectrallytuned-led-light-sources-create-newmarket-opportunities.
- 6.23. Perfect White Series Product Datasheet PDS-002983 Rev 01 2018 Luminus Devices, Inc. www.luminus.com/products/cobarrays/perfectwhite-cob.
- 6.24. Waveform Lighting's ABSOLUTE SERIES technology is the LED industry's first LED product to achieve 99 CRI at D50 5000K and D65 6500K. Document Number: CS_7101 Rev Version 1.1/09-27-2018. www.waveformlighting.com.
- 6.25. Bridgelux SMD 28350.5W 3V Thrive Product Data Sheet DS312.
- 6.26. Tunable LED lighting promises to reduce the incidence of myopia (MAGAZINE). www.ledsmagazine.com/leds-ssl-design/networks-controls/article/16695507/tunable-led-lighting-promises-to-reducethe-incidence-of-myopia-magazine.
- 6.27. Epileds High Power 1w 3w 480nm Light Blue LED. www.alibaba.com/productdetail/Epileds-High-Power-1w-3w480nm_60435554690.html.
- 6.28. YUJILEDs Releases a New Generation of High Power RGBWW LEDs with High CRI. www.yujiintl.com/high-cri-ledlighting.
- 6.29. Light is the most powerful regulator of the human circadian rhythm (day-night rhythm). www.yujiintl.com/humancentric-lighting.html.
- 6.30. Петрунин А. Мы предлагаем проверенные решения // Калугахаус. 2014. Февраль.
- 6.31. Производство матричных светодиодов «Пандора ЛЕД». Каталог продукции, 2018.
- 6.32. Патент RU2692632 C1 (RU). Светодиодный источник белого света с биологически адекватным спектром излучения. 18.01.2019.
- 6.33. Гордиенко В. Р., Дейнего В. Н., Капцов В. А. Светильники-трансформеры с комплексированным полупроводниковым источником света с солнцеподобным спектром излучения // Полупроводниковая светотехника. – 2019, № 4.
- 6.34. US DOE indicates it will roll back policies requiring escalating LED lamp transition. www.ledsmagazine.com/manufacturingservices-testing/article/14039284/us-doeindicates-it-will-roll-back-policies-requiringescalating-led-lamp-transition.
- 6.35. Cree non-LED fab investment. www.ledsmagazine.com/leds-ssl-design/article/14040667/packaged-led-newsniuchia-tunes-mid-power-lumileds-ups-ledefficacy-and-cree-focuses-on-new-fab.
- 6.36. Андреев А. В море света объявлен «синий уровень опасности» // Полупроводниковая светотехника. – 2017, № 4.
- 6.37. Капцов В. А., Дейнего В. Н. Светодиодное освещение – безопасность и охрана труда в школах // Безопасность и охрана труда. 2017; 4.
- 6.38. www.energsovet.ru/news.php?zag=1526641773.
- 6.39. Долин Е. В. Экспертная справка. К проекту «Стратегия развития фотоники» – научно-технологической отрасли, производящей продукцию лазерных, оптических и оптоэлектронных технологий на среднесрочную (до 2025 г.) и долгосрочную (до 2035 г.) перспективу. www.yadi.sk/i/wGOxOBNT-T_txA.
- 6.40. Тимофеева Н. Светодиодное производство «Оптогана»: задачи, трудности и перспективы // Современная светотехника. – 2018, № 1.

Глава 7. Концепция построения полупроводниковых источников белого света со спектром, подобным солнечному излучению, для биологических объектов

В настоящее время концепция построения полупроводниковых источников белого света со спектром, подобным солнечному излучению («spectrum similar to solar radiation (SSSR)» или светодиоды со спектром солнечной радиации (СССР) в видимом диапазоне спектра света) для биологических объектов является актуальной задачей гигиены света.

Солнечный свет является основополагающим для всего живого на Земле. Каждый биологический объект в силу структурной организации светочувствительных клеток воспринимает ту часть солнечного света, которая для него является жизненно важной. Эти части спектра биологически адекватны для физиологии конкретного объекта и могут служить качественной и количественной оценкой адекватности спектра излучения искусственных источников света физиологии биологического объекта. На рис. 7.1 приведены данные спектральной чувствительности клеток сетчатки глаз различных биологических объектов. Как видно из рисунка, спектральная чувствительность клеток зрительного анализатора различных объектов имеет свое распределение.

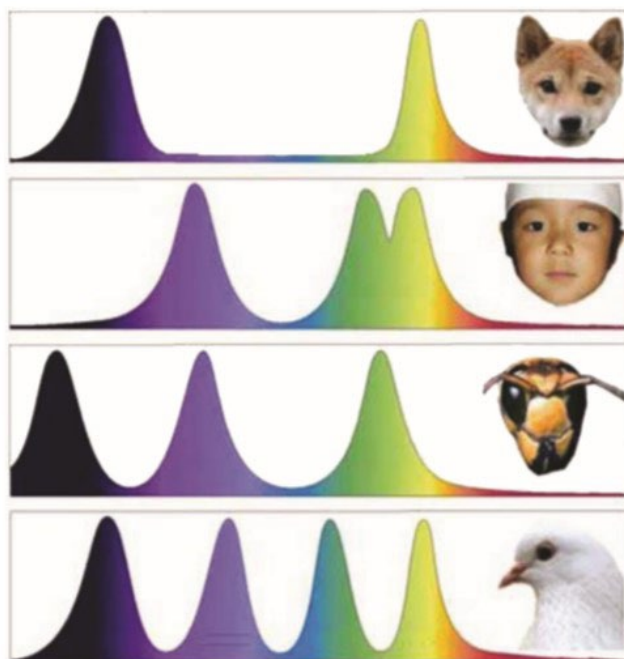


Рис. 7.1. Спектральная чувствительность клеток сетчатки глаз различных биологических объектов

Но искусственные источники света, имеющие спектр, отличный от солнечного, могут вызывать неадекватную зрительную и физиологическую реакцию в организме биологического объекта. Эффективность действия искусственного освещения во многом зависит от степени адаптации органа зрения биообъекта к применяемым источникам оптического излучения. В статье [7.1] приведена оценка эффективности источников излучения для птицеводческих ферм по относительному коэффициенту использования излучения в соответствии с функцией относительной спектральной чувствительности органа зрения биообъекта – птицы (курицы) – аналогично коэффициенту полезного излучения фотосинтеза для растений. Предполагается, что правильно подобранный спектр источников излучения в соответствии с функцией относительной спектральной чувствительности органа зрения курицы позволит не только улучшить качество мяса птицы, но и сократит потребление электроэнергии на освещение. В настоящее время функцию относительной спектральной чувствительности органа зрения курицы оценивают по методике, предложенной исследователями N. B. Prescott & C. M. Wathes, которая состоит из четырёх колоколообразных кривых с максимумами чувствительности в красной (K или LWS) – 630 нм, зелёной (З или MWS) 555–565 нм, синей (С или SWS2) – 480 нм, ультрафиолетовой (Уф или SWS1) – 380 нм, и с относительными уровнями в областях спектра: ультрафиолетовой – 0,20, синей – 0,83, зеленой – 1, красной – 0,64 [7.1, 7.2].

На рис. 7.2 в координатах относительных величин приведена спектральная чувствительность глаза человека и курицы, а также спектр света белого светодиода.

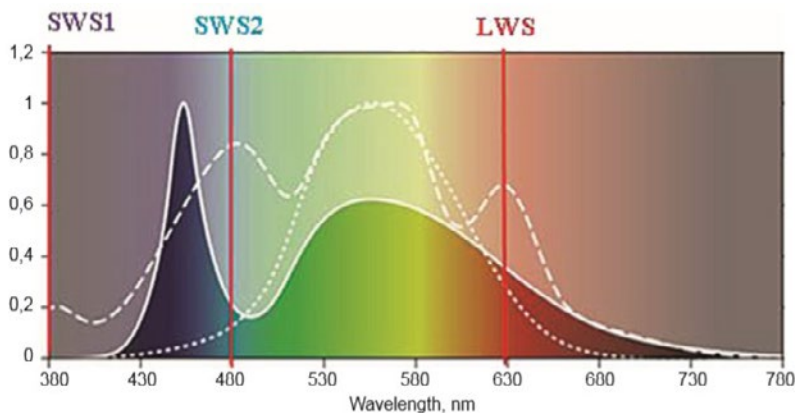


Рис. 7.2. Спектральная чувствительность глаза человека и курицы, а также спектр света белого светодиода

Светодиод излучает белый свет, но его спектр находится в диссонансе с кривой чувствительности зрения курицы по следующим параметрам:

- отсутствие фотонного потока на 380 нм для клеток SWS1;
- провал фотонного потока в спектре светодиода в области 480 нм для клеток SWS2;

- резкий спад фотонного потока в спектре светодиода в области 630 нм для клеток LWS.

В статьях [7.3–7.8] показано, что задача воспроизведения спектра естественного солнечного света с помощью светодиодов решается путем комбинации состава полупроводниковых излучателей или подбором соответствующей люминофорной смеси. В них приведены результаты моделирования комбинации необходимого числа светодиодов для аппроксимации спектральной характеристики солнечного излучения и дана оценка относительной погрешности аппроксимации. Но при этом авторы не учитывали особенности ограничений, которые вытекают из физиологии работы зрительного анализатора и частности ганглиозных и других светочувствительных клеток. Светотехники рассматривали механизм восприятия света через кривые чувствительности фоторецепторов колбочек и палочек. В работах [7.9 и 7.10] для аппроксимации функций относительной спектральной чувствительности рецепторов сетчатки была применена функция Гаусса. В статье [7.9] в уравнениях регрессии для каждого вида фоторецепторов использовались функции $S_i(\lambda, L)$ в виде функции плотности нормального распределения вероятности:

$$s_i(\lambda, L) \approx \frac{1}{\sigma_i(L)\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_{i\max})^2}{2\sigma_i^2(L)}\right), \quad (1)$$

Где: $\lambda_{i\max}$ и $\sigma_i(L)$ – математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение λ_i от $\lambda_{i\max}$ для i -го вида фоторецепторов соответственно. При этом подразумевается, что $\lambda_{i\max}$ имеют общепринятые значения: 445 нм для С-колбочек ($i \equiv c$), 505 нм для палочек ($i \equiv n$), 546 нм для З-колбочек ($i \equiv z$) и 570 нм для К-колбочек ($i \equiv k$). Уравнение регрессии для $V(\lambda, L)$ с $S_i(\lambda, L)$ в формуле (1) – это уравнение нелинейной нормальной регрессии, которое удобно использовать в виде

$$V(\lambda, L) \approx \alpha_c(L) \frac{1}{\sigma_c(L)\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\lambda - 445)^2}{2\sigma_c^2(L)}\right) + \alpha_n(L) \frac{1}{\sigma_n(L)\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\lambda - 505)^2}{2\sigma_n^2(L)}\right) + \alpha_z(L) \frac{1}{\sigma_z(L)\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\lambda - 546)^2}{2\sigma_z^2(L)}\right) + \alpha_k(L) \frac{1}{\sigma_k(L)\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\lambda - 570)^2}{2\sigma_k^2(L)}\right), \quad (2)$$

где $\alpha_i(L)$ – весовой коэффициент для i -го вида фоторецепторов. Математические ожидания значений параметров α_i и σ_i уравнения регрессии (2) для различных значений L , полученные методом итераций с использованием программного продукта Data Fit 9.0, представлены в таблице. Из анализа представленных в таблице данных видно, что каждому значению яркости адаптации существует свой набор значений коэффициентов $\alpha_i(L)$ и $\sigma_i(L)$, но при значениях $\lambda_{i\max}$ остаются постоянными и могут служить контроль-

ными значениями для оценки спектра искусственного источника света на адекватность воздействия.

В статье [7.11] приведены результаты моделирования спектра солнечного излучения с помощью светодиодов. В основу моделирования при формировании спектра излучения светодиодного светильника по заданной цветовой температуре положено следующее соотношение:

$$FeSum = \sum_{i=1}^N f_i m_i n_i,$$

Где: FeSum – световой поток светильника, состоящего из N (семи) типов светодиодов; n_i – количество полупроводниковых источников света со спектральными характеристиками; m_i – дополнительные нормирующие коэффициенты. Приняты следующие обозначения спектральных характеристик светодиодов: f_1 – холодно-белого, f^2 – тепло-белого, f^3 – ультрафиолетового (370 нм), f_4 – синего (460 нм), f_5 – зеленого (520 нм), f_6 – желтого (590 нм), f_7 – красного (660 нм).

Такой набор полупроводниковых источников света совпадает с набором, который рекомендовано рассматривать как перспективные: синих (440–460 нм), зеленых (520–540 нм), янтарных (580–595 нм) и красных (610–620 нм) светодиодов (тёплый белый – 3000 К, и холодный белый – 5700 К. После приведения к единой размерности спектральных характеристик можно переходить к задаче среднеквадратичного приближения.

$$S = \sum_{i=1}^N (FeSun_i - FeSum_i)^2,$$

Где: FeSun $_i$ – элементы массива спектра дневного света; FeSum $_i$ – элементы спектральной характеристики всех светодиодов; n – размерность массивов.

Затем на основании выражения (2) вычисляется среднеквадратическая ошибка аппроксимации, при этом используется общепринятое выражение для оценки среднеквадратического приближения:

$$E_2 = \sqrt{\frac{S}{n}}$$

где n – размерность массива спектральной характеристики.

В результате моделирования и аппроксимации авторами [7.11] были получены следующие значения: мощность излучения спектра – 14345,1 отн. ед. светодиодов – 11049,7 отн. ед.; приведённая относительная погрешность аппроксимации спектра солнечного излучения – 21,4204%. Число светодиодов каждого типа в светодиодном источнике составило: холодно-белых – 206 шт.; тепло-белых – 376 шт.; ультрафиолетовых – 4 шт.; синих – 0; зелёных – 11 шт.; желтых – 0; красных – 58 шт.; общее число светодиодов – 655 шт. Сравнительная диаграмма характеристик представлена на рис. 7.3.

Математические ожидания значений параметров α_i и β_i уравнения регрессии (2) для различных значений L представлены в табл. 7.1.

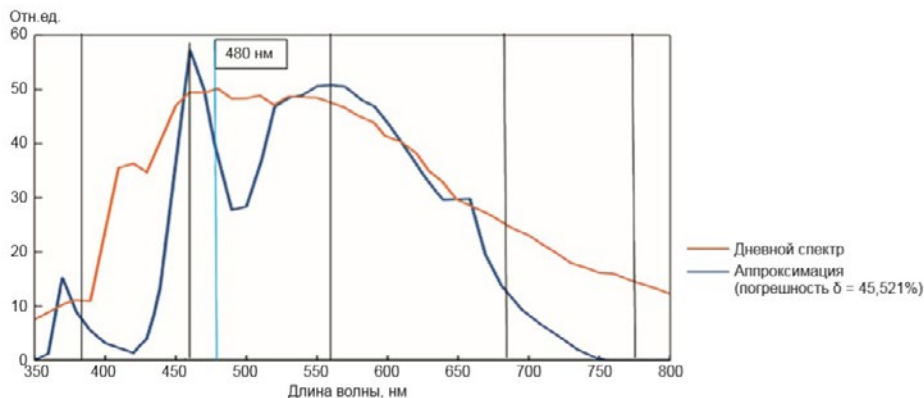


Рис. 7.3. Спектр солнечного и синтезированного спектров светодиодного светильника

Таблица 7.1

Математические ожидания значений параметров a_i и b_i уравнения регрессии

Фото-рецепторы сетчатки глаза	Яркость адаптации, L , кд/м ²							
	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	10 ⁰	10 ¹	10 ²
С-колбочки								
$a_c(L)$	5,34	5,28	5,30	4,92	2,64	2,29	1,75	1,36
$\sigma_c(L)$	15,32	15,60	15,66	13,28	16,38	18,78	18,13	18,10
Палочки								
$a_n(L)$	91,58	89,39	88,33	83,70	43,34	1,43	2,35	2,73
$\sigma_n(L)$	36,62	36,40	36,34	35,16	36,33	33,52	30,29	29,73
З-колбочки								
$a_z(L)$	2,30	3,80	3,69	5,92	49,02	83,31	63,32	57,39
$\sigma_z(L)$	31,75	29,77	24,97	23,31	36,43	43,57	42,97	42,89
К-колбочки								
$a_k(L)$	0,01	0,05	3,77	11,18	21,08	29,50	49,88	55,70
$\sigma_k(L)$	42,00	42,00	43,00	36,58	42,71	44,09	43,75	43,67

В случае когда в аппроксимации не участвуют ультрафиолетовые, а затем и зеленые светодиоды, относительная приведенная погрешность увеличивается до 22,6571 и 24,4948% соответственно. В этих случаях значения погрешности оказываются выше (сравним с 21,4204%). Очевидно, что дополнительный ввод светодиодов специфического цвета приведет к уменьшению погрешности аппроксимации. Как показали численные эксперименты, основную долю в результирующем спектре берут на себя холодно-белые и тепло-белые светодиоды. Смоделированный спектр показал, что он приближается к солнечному свету, но имеет высокую неравномерность в области работы ганглиозных клеток (460 и 480 нм) сетчатки глаза человека и большой спад в области красного света (670 нм). Такой спектр света мало

пригоден для освещения окружающей среды, так как не учитывается спектральная чувствительность ганглиозных клеток сетчатки глаз человека. К таким осветительным приборам относятся симуляторы солнечного света [7.12, 7.13].

В работе [7.14] специалисты светотехники попытались с помощью совокупности светодиодов и люминофоров синтезировать спектр источника света D65 с индексом цветопередачи 98,5. Дальнейшие исследования показали, что этих 14 монохромных светодиодов недостаточно для желаемого воспроизведения спектра стандартного источника дневного света типа D65. Это обусловлено тем, что монохромные светодиоды имеют узкий спектр излучения. Такое многообразие светодиодов приводит к необходимости применения сложной микропроцессорной системы их управления. В комплексе такие светодиодные системы получили название мультиспектральный светодиодный кластер или мультиспектральные источники освещения [7.15, 7.16].

Для минимизации количества типов монохромных светодиодов были применены светодиоды с люминофором с длиной возбуждения 405 нм. Результаты моделирования приведены на рис. 7.4.

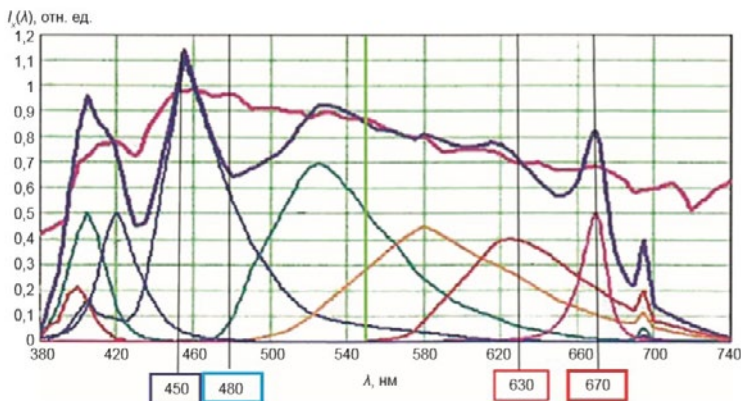


Рис. 7.4. Общий вид синтезированного солнечного света по отношению к спектру стандартного источника света D65

Из анализа представленного спектра видно, что он приближается к спектру имитатора солнечного света D65 в диапазоне 405–670 нм, но при этом в области чувствительности ганглиозных клеток видна высокая степень неравномерности спектра – выброс в области 450 нм и существенный провал в области 480 нм. При этом следует отметить, что в диапазоне длин волн 530 и 630 нм происходит суммирование частных реализаций спектров, и при этом суммарное значение становится равным амплитудному значению в спектре D65.

$$\sum_j^m f_i^j(\lambda_i) = f_i^{sun}(\lambda_i)$$

Например: 1. 546 нм для 3-колбочек. Для D65 амплитудное значение при 546 нм равно 0,89 от. ед. (макс. чувствительности 3-колбочек).

2. $f_d 50(546) = f_1(546) + f_2(546) + f_3(546) = 0,09 + 0,5 + 0,3 = 0,893$.
570 нм для К-колбочек.

Для D65 амплитудное значение при 570 нм равно 0,8 от. ед. (макс. чувствительности К-колбочек).

$$4. f_{d50}(570) = f_1(570) + f_2(570) = 0,4 + 0,4 = 0,8$$

В работах [7.11, 7.14–7.16] спектр солнечного света моделируется конечным числом полупроводниковых излучателей (монохромных и белых светодиодов). Каждый полупроводниковый излучатель характеризуется мощностью потребления электрической энергии и спектральной плотностью потока, которая интегрируется в общий световой поток светильника, имитирующего стандартный источник света D50. Это позволяет сформулировать дополнительные конструктивные ограничения для оптимизации светодиодного светильника:

$$\sum_{j=1}^m P_j^m \leq P_{\text{треб}},$$

$$\Phi_v = K \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} V(\lambda) \Phi_{e,\lambda} d\lambda \geq \Phi_v^{\text{треб}},$$

Где: $\Phi_{e,\lambda}$ – спектральная плотность потока излучения светильника, который синтезирован из светодиодных модулей излучателей; K – коэффициент, величина которого определяется используемой системой единиц. В системе СИ этот коэффициент равен 683 лм/Вт; $V(\lambda)$ – относительная спектральная световая эффективность монохроматического излучения, нормированная в максимуме на единицу чувствительности среднего человеческого глаза при дневном зрении. С математической точки зрения, аппроксимация непрерывной функции спектра солнечного света с цветовой температурой 5000 К в диапазоне 380–780 нм может достигаться путём применения суммирования дискретных функций Гаусса, которые являются аппроксимацией функции спектра полупроводниковых квантовых излучателей света в диапазонах длин волн меньше, чем диапазон 380–780 нм. Но при этом должны учитываться ограничения для следующего перечня физиологически значимых для зрения длин волн. При проведении аппроксимации $f_{i\text{sun}}$ необходимо учитывать следующие ограничения и соотношения:

$$\sum_j^m f_i^j(\lambda_i) = f_i^{\text{sun}}(\lambda_i)$$

Для адекватной работы зрительного анализатора человека необходимо соблюдать соотношения:

$$\begin{aligned}
 f_i^{SUN}(\lambda_{380}) - \sum_j^m f_{380}^j(\lambda_{380}) &= 0, \\
 f_i^{SUN}(\lambda_{j480}) - \sum_j^m f_{480}^j(\lambda_{480}) &= 0, \\
 f_i^{SUN}(\lambda_{j450}) - \sum_j^m f_{450}^j(\lambda_{450}) &= 0, \\
 f_i^{SUN}(\lambda_{j460}) - \sum_j^m f_{460}^j(\lambda_{460}) &= 0, \\
 f_i^{SUN}(\lambda_{j497}) - \sum_j^m f_{497}^j(\lambda_{497}) &= 0, \\
 f_i^{SUN}(\lambda_{j500}) - \sum_j^m f_{500}^j(\lambda_{500}) &= 0, \\
 f_i^{SUN}(\lambda_{j545}) - \sum_j^m f_{543}^j(\lambda_{543}) &= 0, \\
 f_i^{SUN}(\lambda_{j570}) - \sum_j^m f_{570}^j(\lambda_{570}) &= 0, \\
 f_i^{SUN}(\lambda_{j540}) - \sum_j^m f_{540}^j(\lambda_{540}) &= 0, \\
 f_i^{SUN}(\lambda_{j440}) - \sum_j^m f_{440}^j(\lambda_{440}) &= 0, \\
 f_i^{SUN}(\lambda_{j630}) - \sum_j^m f_{630}^j(\lambda_{630}) &= 0, \\
 f_i^{SUN}(\lambda_{j670}) - \sum_j^m f_{670}^j(\lambda_{670}) &= 0, \\
 \sum_j^m f_{450}^j(\lambda_{450}) < \sum_j^m f_{460}^j(\lambda_{460}) < \sum_j^m f_{480}^j(\lambda_{480}),
 \end{aligned}$$

где значения длин волн 380, 440, 450, 460, 480, 497, 500, 540, 543, 570, 630 и 670 нм являются значимыми для зрительного анализатора человека. Данный перечень может уточняться по мере получения новых знаний по физиологии зрения. Минимизация значений показателя аппроксимации (приближения) спектра искусственного света к спектру гигиенически безопасного солнечного света или спектру стандартного источника дневного света типа D50 при соблюдении конструктивных ограничений (по световому потоку, потребляемой электрической мощности) и ограничений по адекватности спектра излучения к биологическому объекту позволит оптимизировать разработки новых светодиодных светильников и проводить оценку перспективности концепций развития светодиодного освещения.

Первый шаг в решении проблемы разработки светодиодного светильника с солнцеподобным спектром излучения – это заполнение провала светодиодного спектра в области 480 нм. Данная технология уже освоена многими мировыми фирмами как за рубежом, так и в России.

Литература к главе 7

7.1. Pil'shchikova YU. A., Kovalenko O. YU., Guseva E.D., Kudashkina M.V. Modelirovanie otnositel'noj spektral'noj chuvstvitel'nosti organa zreniya bioob'ektov dlya ocenki ehffektivnosti istochnikov izlucheniya ZHurnal Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2014; (4).

7.2. Lee. Highly energy-efficient agricultural lighting by B+R LEDs with beam shaping using micro-lens diffuser. Optical communications, 2011; 291: 7–14.

7.3. Волков А. С., Кузьмин В. Н. Новый тип колориметра для измерения цветовых характеристик источников света // Светотехника. – 2012, (2).

7.4. Коваленко О. Ю., Овчукова С. А., Микаева С. А. Основы действия оптического излучения на биообъект // Инженерная физика. – 2008, (2). – С. 43–48.

7.5. Ронки Л., Шанда Я. Функции относительной спектральной световой эффективности в стандартах и отклонения от них на практике // Светотехника. – 2003, (4). – С. 14–19.

7.6. Аладов А. В., Бирючинский С. Б., Дубина М. В., Закгейм А. Л., Мизеров М. Н. Цветодинамически управляемый операционный светильник с полноцветным светодиодом. // Светотехника. – 2012, (2). – С. 11–18.

7.7. Аладов А. В., Бирючинский С. Б., Валухов В. П., Закгейм А. Л. Динамически управляемая система освещения светодиодами с широким диапазоном цветовых температур (2800–10000 К) и высоким качеством цветопередачи ($R_a > 90$). // Светотехника. – 2014, (4). – С. 19–25.

7.8. Шанда Я. Что такое точность воспроизведения цвета в музейном освещении? // Светотехника. – 2014, (5). – С. 23–27.

7.9. Leonidov AV. Ob analiticheskom predstavlenii funkcii otnositel'noj spektral'noj svetovoj ehffektivnosti. Svetotekhnika, 2012; (2).

7.10. Leonidov A.V. Approksimaciya funkcij otnositel'noj spektral'noj chuvstvitel'nosti receptorov setchatki. Svetotekhnika. 2010; (5): 49–51.

7.11. Афонин В., Коваленко О., Гусева Е., Пильщикова Ю. Моделирование спектра солнечного излучения с помощью светодиодов // Фотоника. – 2016, (2). – С. 56.

7.12. Reynolds K. Photonix LED-Based Sun-Simulator Design: Technical and Commercial Considerations Photonics Spectra. March 2015.

7.13. Kurt J. Linden, William R. Neal, Harvey B. Serreze. Adjustable spectrum LED solar simulator, Proc. SPIE 9003, Light-Emitting Diodes: Materials, Devices, and Applications for Solid State Lighting XVIII, 900317 (27 February 2014). DOI: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2035649>.

7.14. Gutcajt E.H. M., Zakgejm A.L., Kogan L.M. Maslov V. E.H. Soshchin N.P. K modelirovaniyu standartnyh istochnikov sveta svetodiodnymi modulyami. Svetotekhnika. 2013; (4): 61–65.

7.15. Арапова С. П., Арапов С. Ю., Дубинин И. С., Солодова М. С. Метод управления мультиспектральными источниками освещения. Компьютерный анализ изображений: Интеллектуальные решения в промышленных сетях (САИ-2016): сборник научных трудов по материалам I Международной конференции 5–6 мая 2016 г. Под общ. ред. А. Г. Тягунова. Екатеринбург: Изд-во УМЦ УПИ, 2016: 25–30.

7.16. Арапова С. П., Арапов С. Ю., Мезенцева С. Г. Управляемый мультиспектральный светодиодный кластер для репродукционных исследований. Информация: передача, обработка, восприятие: материалы международной научно-практической конференции (Екатеринбург, 12–13 января 2016 г.). – Екатеринбург: УрФУ, 2016. – С. 104–111.

Глава 8. Новый проект ГОСТ Р «Метрополитены. Термины и определения» и нерешенные проблемы освещения метрополитена

С гигиенических позиций метрополитен представляет собой комплекс наземных и подземных инженерно-технических сооружений железнодорожного транспорта, в котором представлены практически все известные гигиенические и экологические факторы (физические, химические, биологические и эргономические), способные оказывать негативное влияние на здоровье, функциональное состояние организма работников метрополитена и пассажиров. Наиболее значимое место среди этих факторов занимают вредные физические факторы – шум, параметры микроклимата, электромагнитные излучения [8.1, 8.2].

В докладе «Причины профнепригодности работников Метрополитена и меры их предотвращения» отмечается негативное воздействие условий работы в метрополитене на зрение его сотрудников ответственных за безопасность движения.

По правилам у машинистов поездов подземки должно быть отличное зрение («1» на каждый глаз). Однако предположительно из-за плохого освещения у части машинистов оно ухудшается [8.3].

На рис. 8.1 приведена общая световая нагрузка на глаза машиниста метрополитена.



Рис. 8.1. Световая среда на рабочем месте машиниста

В поле зрения машиниста находятся разные источники света – синего света от мониторов, светильников станций и бликов от них. Этот спектральный хаос воздействует на зрительный анализатор машиниста. В действующих СанПиН 2.4.2. 2821–10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям и организации обучения в общеобразовательных учреждениях» есть п. 7.2.3. Не использовать в одном помещении для общего освещения источники света различной природы излучения.

С внедрением светодиодных источников света (синий кристалл – желтый люминофор) количество бликов увеличивается.



Рис. 8.2. Освещение станции Тропарево

Световая среда в помещении существенно влияет на психофизиологическое состояние человека. При наличии в помещении полированных каменных или металлических, стеклянных, т.е. зеркально отражающих поверхностей возможно неприятное ощущение, дискомфорт от бликов на окружающих поверхностях (отраженная блескость) [8.4], как правило, обладающих слепящим эффектом.

Источники света, воздействующие на глаза машиниста, имеют разный спектральный состав и уровень интенсивности, а также вызывают эффект «набегающего градиента яркости» при движении поезда. В такой световой среде глаз машиниста находится в постоянном стрессовом напряжении. «В 2015 г. более 500 работников, связанных с безопасностью движения поездов, после проведения медицинских осмотров не были допущены к работе. Согласно законодательству РФ, такие работники не могут допускаться к работам по своему профилю. Московский метрополитен не расстается с такими сотрудниками, а предлагает им альтернативную работу. Переподготовка, обучение и повышение квалификации в таком случае осуществляется за счет предприятия», – говорится в сообщении профсоюза Московского метрополитена. За счет средств Московского метрополитена с 2015 г. проведено 15 операций по лазерной коррекции зрения у машинистов [8.5]. Сами машинисты говорят, что их работа выматывает не физически, а морально – темнота тоннеля, усыпляющая качка, монотонность и резкие вспышки света на станции [5.84].

Модернизация освещения столичной подземки не радует и москвичей. Виною тому стали инновационные энергоэффективные лампы, установленные на станциях метрополитена. Например, на станции Фрунзенская в исторические светильники вмонтировали новые лампы. Из-за их яркого, но при этом мертвенно бледного света, декор станции как будто выцвел. На радиальной станции Парк культуры попадаешь вообще как в загробный мир. Здесь освещение примерно такое же, как в операционной. Неуютный свет

на Кропоткинской – это результат не только холодного спектра излучения, но и несоответствия размеров новых ламп, пришедших на смену приборам накаливания. Они имеют продолговатую форму и не помещаются в те места, которые для них отведены на колоннах. К тому же, со слов главного архитектора Метрогипротранса Николая Шумакова, электромагистралы, которые не выдерживали нового напряжения, неудачно заменили, проложив коммуникации под платформой. А к каждому источнику света выполнили прокладку кабеля в коробах по каждой колонне, что также недопустимо.

Новое оформление станции Гагаринская Новосибирского метрополитена просто поражает избытком синего света.

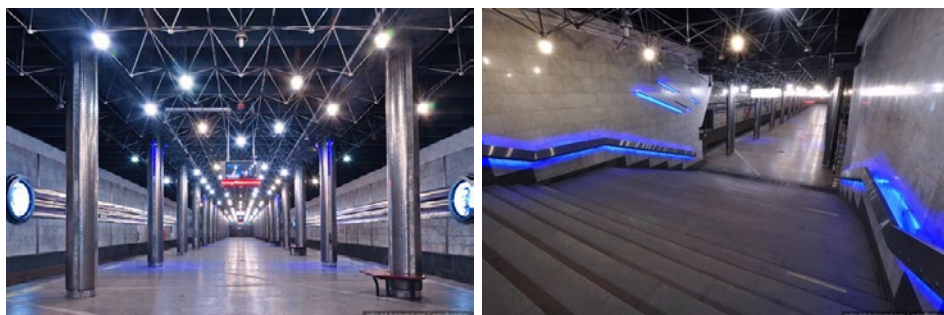


Рис. 8.3. Освещение станции Гагаринская (<https://yablor.ru/blogs/metro-novosibirska-novoe-iformlenie-stancii-gagari/1434006>)

На основании 1041 протокола инструментальных исследований в метрополитене, выполненных в Филиале ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве» на метрополитене и ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожной гигиены» В. А. Свижевский (сотрудник филиала ФБУЗ Центра гигиены и эпидемиологии в городе Москве на метрополитене) приводит динамику физических факторов, не отвечающих гигиеническим нормам [8.6].

Как видно из таблицы 8.1, освещение является вторым фактором по уровню нарушения гигиенической безопасности пассажиров в помещениях метрополитена. По сравнению с долей нарушений гигиенических нормативов шумовым загрязнением нарушения по освещению значительно меньше – 15,92–17,14%. Однако в динамике проведенных исследований эти нарушения имеют тенденцию к росту [8.7].

В современных Санитарных правилах эксплуатации метрополитенов. СП2.5.1337–03 с изменениями и дополнениями №1 от 30 апреля 2010 года (постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 30 апреля 2010 года №50) указано следующее:

– в разделе 3. Санитарно-гигиенические требования к пассажирским помещениям метрополитенов в пункте 3.1.22. «Общее и аварийное искусственное освещение помещений для пребывания пассажиров должно обеспечиваться осветительными установками с лампами накаливания, люминесцентными лампами и светодиодами белого света с коррелированной температурой от 2400° К до 6800° К.

Световые приборы для общего и аварийного освещения, предназначенные к эксплуатации со светодиодами, должны иметь защитный угол, исключающий попадание в поле зрения пассажиров прямого излучения. Неравномерность общего и аварийного искусственного освещения не должна превышать 1,5:1. (Пункт дополнительно включен с 23 июня 2010 года.)

Таблица 8.1

**Динамика исследований физических факторов,
не отвечающих гигиеническим нормам**

Наименование фактора	Не отвечают гигиеническим нормативам (в %)					
	2010г.			2009г.		
	рабочие места	пас. помещения	всего	рабочие места	пас. помещения	всего
Шум	11,72	83,24	51,09	10,79	80,9	36,22
Вибрация	1,83	0,82	4,04	1,57	3,67	3,54
ЭМИ	7,04	0,32	0,82	7,15	0,11	0,15
Освещение	11,51	17,14	16,84	10,75	15,92	15,31
Микроклимат	28,23	19,43	20,12	14,22	7,19	8,74

3.2.3. Общее искусственное освещение от осветительных установок с люминесцентными лампами или светодиодами должно обеспечивать уровни освещенности в точках ее минимального значения не менее 150 лк (на пересечении вертикальной плоскости на уровне 0,6 м от спинки дивана и горизонтальной плоскости на уровне 0,8 м от пола). При освещении лампами накаливания уровни освещенности должны быть не менее 75 лк. Неравномерность общего искусственного освещения в салонах вагонов не должна превышать 30%. Уровни освещенности от аварийного освещения в точках ее минимального значения не должны быть менее 10 лк. (Пункт в редакции, введенной в действие с 23 июня 2010 года.)

– в разделе 4. Санитарно-гигиенические требования для производственных и бытовых помещений метрополитенов «Для искусственного освещения помещений, расположенных в подземных замкнутых пространствах, следует использовать люминесцентные лампы или светодиоды белого свечения с индексом цветопередачи ($R = 70$, $R = 80$). Светильники, предназначенные к эксплуатации со светодиодами, должны иметь защитный угол, предупреждающий попадание в поле зрения работающих прямого излучения (абзац в редакции, введенной в действие с 23 июня 2010 года).

Историческая часть метрополитена проектировалась с учетом источников света с индексом цветопередачи более 97.

В настоящее время Государственным унитарным предприятием города Москвы «Московский ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени метрополитен имени В. И. Ленина» (ГУП «Московский метрополитен») разработан ГОСТ Р «Метрополитены. Термины и определения». Настоящий стандарт разработан с целью создания единого стандарта на термины и определения, введения новых терминов и актуализации уже существующих в соответствии с современным состоянием сферы деятельности метрополитенов.

Этот документ определяет термин – освещение метрополитена (subway illumination): как «Комплекс технических средств и программного обеспечения, позволяющий в соответствии с установленными нормами обеспечить комфорт и безопасность пассажиров, выполнение должностных обязанностей всех сотрудников метрополитена, сохранение художественного облика объектов метрополитена, эвакуацию и информирование о ее путях в аварийных ситуациях, выполнение задач ГО ЧС в особый период, энергоэффективную эксплуатацию и ремонт этих средств.

Примечание: – включает в себя освещение тоннелей, освещение пассажирских зон станций и сооружений, освещение административных, служебных и технических помещений, освещение открытых участков пути, электродепо, аварийное освещение, эвакуационное освещение, архитектурно-художественное освещение, навигация пассажирских зон, освещение подвижного состава как внутри, так и снаружи».

В данной редакции ГОСТа не рассматриваются понятия «комфорта и безопасности пассажиров» и частности понятий комфортного и безопасного освещения. Определения «освещение метрополитена», «светофор», «сигнал» и «сигнальный знак» сформулированы без учета физиологических особенностей человека по восприятию световой и звуковой информации в условиях внешних дестабилизирующих факторов (световых и шумовых) [8.8].

В условиях искусственного освещения возможности человека по выполнению работы значительно зависят от спектрального состава света излучаемого источником. Согласно санитарным правилам в метрополитене планируется применять смешанное освещение от разных источников света, таких как лампы накаливания, люминесцентные лампы (различных типов) и светодиоды с цветовой температурой от 2400 К до 6800 К.

Влияние этих источников света на производительность труда и утомление человека, а также на зрительную работоспособность значительно различается (рис. 8.4 и 8.5).

При равном уровне утомляемости и производительности труда 110% уровень освещенности для ламп накаливания должен быть 300 лм, а уровень освещенности для люминесцентных должен соответствовать 500 лм [8.9, 8.10].

Следовательно, при фиксированном значении зрительной работоспособности необходимо увеличивать уровень искусственного освещения (люминесцентного освещения). Из рисунка видно, что гигиенически минимальный уровень естественного света 250–300 лк соответствует минимальному уровню люминесцентного освещения 400–500 лк (соответственно). Применяя искусственный источник света со спектром как у солнечного света, можно убрать избыточную яркость и дополнительно экономить электрическую энергию.

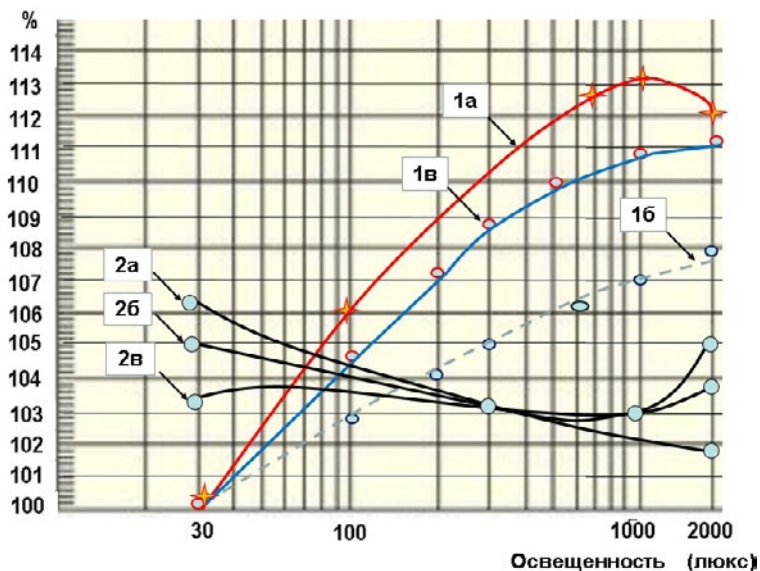


Рис. 8.4. Производительность труда и утомление (для трех источников света): а – лампа накаливания; б – ртутные лампы; в – люминесцентные лампы; 1 – производительность труда; 2 – относительное утомление

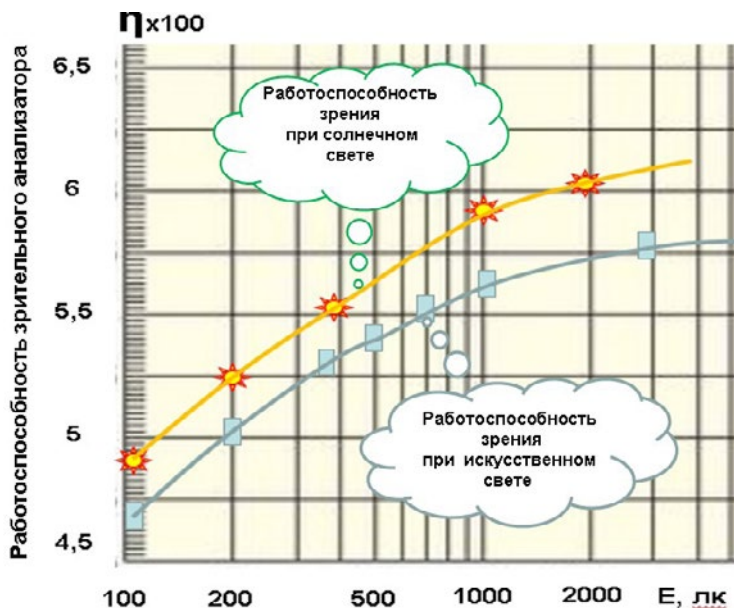


Рис. 8.5. Зависимость зрительной работоспособности от освещенности при естественном – 1, и искусственном – 2 освещении [8.10]

В работе, опубликованной в 2003 году [8.11], специалисты института имени С. Н. Сысина кандидат медицинских наук З. А. Скобарева и кандидат биологических наук Л. М. Текшева считали, что «Большое гигиеническое

значение естественного света должно учитываться при разработке норм освещения и новых технических средств оптимизации световой среды в помещениях с длительным пребыванием людей».

В работе [8.16] нами было предложено для освещения метрополитенов применять полупроводниковые источники белого света с солнцеподобным спектром излучения, в котором устранены вышеуказанные недостатки. Эта концепция устраняет биологически значимые выбросы и провалы в спектре света и делает спектрально совместимыми солнечный и искусственный свет, делая более эффективной систему управления освещенностью.

Так, компания Rofienda в сотрудничестве Seoul Semiconductor запускает мировую премьеру – светодиодный светильник с применением светодиодов SunLike [8.17]. Внешний вид этого светильника представлен на рис. 8.6.



Рис. 8.6. Общий вид светодиодного светильника компании Rofienda

В светильнике используются светодиодные чипы SEOUL с CRI > 97 и CQS 97. «С длиной волны от 380 нм до 780 нм это устройство является настоящей копией солнечного света», объясняет автор, «это в сочетании с цветом 5600 К делает приспособление пригодным для общего роста растений, теплиц, многослойного, вертикального земледелия». Чип Seoul версии 2 является первой и единственной настоящей светодиодной микросхемой с копией солнечного света. На рис. 8.7 приведен спектр светильника компании Rofienda.

Обратите внимание, что диапазон находится за пределами возможности глаза человека и касается как ультрафиолетовой (УФ), так и ближней инфракрасной (ИК) областей [8.18]

Данная технология позволит разработать светодиодные светильники с солнечным спектром света для окружающей среды человека, приведенным на рис. 8.8.

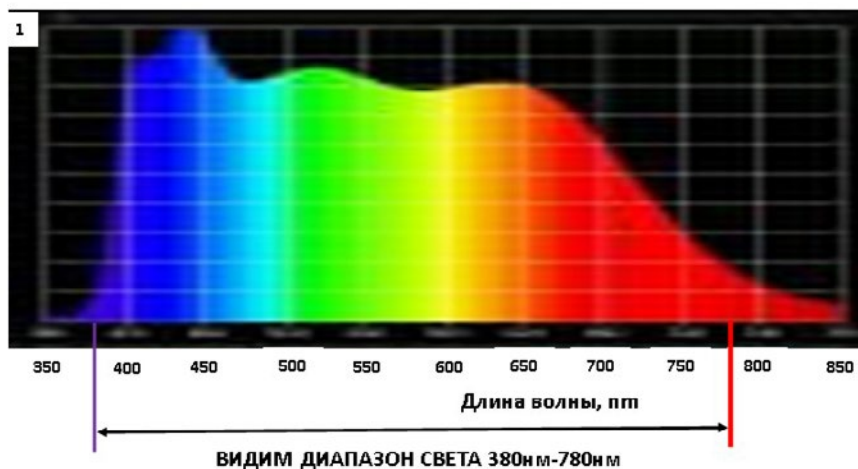


Рис. 8.7. Спектр света светодиодного светильника компании Rofianda (цветовая температура 6108 К при CRI 96)

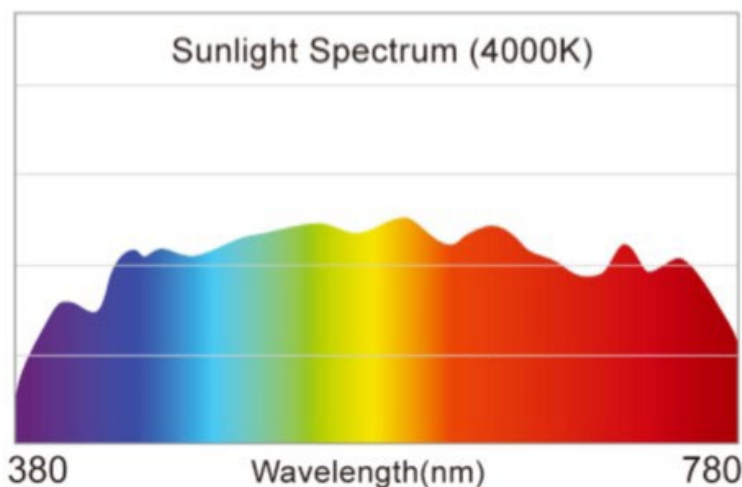


Рис. 8.8. Ожидаемые спектры света современных светодиодных светильников

В ближайшем будущем ожидается бум технических решений по реализации концепции «солнцеподобной световой среды» и полупроводниковых источников света с «солнцеподобным спектром излучения».

Литература к главе 8

8.1. Постникова Л. В. Доклад «Причины профнепригодности работников метрополитена и меры их предотвращения», 1-й Международный Молодежный Форум «Профессия и здоровье», г. Москва, 31 мая – 3 июня 2016 года. ФГБНУ «НИИ МТ». – Москва, 2016.

8.2. Ухудшение зрения – это часто встречающаяся проблема у машинистов, которую им приходится решать за свой счет. <https://www.mskagency.ru/materials/2478449>.

8.3. Черныш Н.Д. Строительная физика: учебное пособие / Н.Д. Черныш, В.Н. Тарасенко. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. – 238 с.

8.4. <https://www.mskagency.ru/materials/254141401.04.2016>.

8.5. <https://www.trudohrana.ru/article/53-qqe-15-m6-osobennosti-ohrany-truda-v-metropolitene>.

8.6. Свижевский В. А. Гигиеническая оценка и обоснование нормирования физических факторов окружающей среды персонала и пассажиров метрополитена 14.02.01 – Гигиена. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. – Москва, 2012.

8.7. Капцов В. А., Дейнего В.Н. Восприятие цвета при светодиодном освещении – риски здоровью // Анализ риска здоровью. – 2017. – №2. – С. 16–25.

8.8. Исследования производительности труда и утомления при различных условиях освещения // Светотехника. – №3, 1957. – С. 28–29.

8.9. Untersuchungen über leistung und ermüdung des menschen bei verschiedenen lichtbedingungen. Lichttechnik, 1956, №7.

8.10. Гончаров Н.П., Киреев Н.Н. Зрительная работоспособность при естественном и искусственном освещении // Светотехника. – 1977, №9. – С. 5–7.

8.11. Скобарева З.А., Текшева Л.М. Биологические аспекты гигиенической оценки естественного и искусственного освещения // Светотехника. – №4, 2003. – С. 7–13.

8.12. <https://www.lightingeurope.org/human-centric-lighting>.

8.13. <https://www.lightingeurope.org/about-us>.

8.14. Human centric lighting (Монтиссори-Андилек). <https://www.halla.eu/ru/test-2>.

8.15. Десять основных тенденций в сфере освещения. <http://www.revolight.ru/partners/learning/reviews/10-osnovnykh-tendentsiy-v-sfere-osveshcheniya-v-2018-g-/>.

8.16. Дейнего В.Н., Капцов В.А. Биологически адекватный свет для метро «METRO INFO International». – №1, 2018.

8.17. Rofianda is proud to launch a world premiere in co-operation with Seoul Semiconductor. <https://rofianda.com/blog/2018/12/14/rofianda-is-proud-to-launch-a-world-premiere-in-co-operation-with-seoul-semiconductor/>.

8.18. Horticultural lighting news: Seoul supplies SunLike, Illumitex boosts luminaire output. <https://www.ledsmagazine.com/leds-ssl-design/packaged-leds/article/16699098/horticultural-lighting-news-seoul-supplies-sunlike-illumitex-boosts-luminaire-output>.

Заключение

За время написания этой книги произошло много событий, убедивших авторов в актуальности обсуждаемой проблемы. Прошло общее собрание РАН, обсуждавшее проблемы освоения Арктики, Министерство обороны приняло решение укрепить северные рубежи нашей страны, увеличив численность военнослужащих на вновь строящихся базах, Газпром активно до-страивает вторую ветку газопровода «Северный поток».

Все эти грандиозные планы потребуют перемещения на длительный срок больших масс людей в районы Крайнего Севера и их адаптации к специфическим условиям естественного и искусственного освещения. Даже в средней полосе нашей страны шесть месяцев в году продолжительность дня составляет менее 12 часов. А в осенне-зимние дни часто бывает пасмурная погода, когда солнце вообще не показывается из-за туч. Зимой мы просыпаемся в темноте и завершаем свои дневные дела много часов спустя после захода солнца. Недостаточность естественной световой стимуляции организма может вызвать дискомфорт, депрессии, нарушения здоровья и эмоционального настроения. В условиях Крайнего Севера эти состояния могут усугубиться не только из-за дефицита солнечного света, но и при использовании искусственных источников, не отвечающих современным гигиеническим требованиям.

Проследив эволюцию искусственных источников от солнца и лучины до полупроводниковых источников света (светодиодных новых лазерных), мы старались показать систему взаимоотношений света не только с жизнеобеспечивающими системами организма, но и влияние на них объектов внешней среды. Для чего кратко описали их основные свойства. Конечно, с точки зрения подготовленного читателя, многое было известно ранее, но нашей целью было еще раз подчеркнуть, что человек является частью природы, находится с ней в постоянном взаимодействии и даже незначительные изменения во внешней среде (в нашем случае, например, изменение спектрального состава белого света) могут вызвать глубокие изменения его физиологии восприятия и даже здоровья. Нашей целью не была критика светодиодов как таковых. Мы понимали, что прогресс не остановить, и в ближайшей перспективе могут появиться новые источники света, основанные на еще не известных науке принципах и технологиях. Рассматривая системно проблему внедрения в народное хозяйство новых технологий (в данном случае энергосберегающих источников света), мы хотели обратить внимание читателя на три момента.

Во-первых, на роль санитарного врача, чье участие очень важно и необходимо на всех этапах, от идеи до внедрения, как ответственного за здоровье потребителей новой продукции. По нашему мнению, сегодня его роль недооценена; санитарный врач это не должность, а служение, так как только он определяет, насколько хорош или плох прибор, оборудование, светильник, технология в плане влияния на здоровье.

Во-вторых, еще раз хотелось бы подчеркнуть, что нужно внимательно относиться к трансферу световых технологий и к так называемой гармо-

низации нормативных документов, не допуская механического переписывания технических требований производителя без проведения собственных научных исследований. К сожалению, приоритеты производителя продукции зачастую отличаются от основополагающего принципа гигиены – не вредить.

В-третьих, необходимо разрабатывать свои полупроводниковые источники белого света с солнцеподобным спектром излучения как для общего освещения, так и для подсветки мониторов и автомобильных фар. Осветительные приборы и установки, разработанные на базе этих источников света, должны создавать минимальные уровни светового загрязнения окружающей среды.

Мы надеемся, что эта книга даст не только импульс для расширения научных исследований по проблеме искусственных источников света, но и обратит внимание лиц, принимающих решения, на необходимость принятия неотложных мер по предупреждению негативного влияния их агрессивного внедрения без должного научно-гигиенического обеспечения.

Эволюция искусственного освещения: ВЗГЛЯД ГИГИЕНИСТА

Подписано в печать 23.09.2021. Формат 70x100 1/16.
Гарнитура Times. Печ. л. 39.5.
Тираж 300 экз. Заказ № 4286.

Издатель – Российская академия наук

Оригинал-макет подготовлен
ООО «Красногорский полиграфический комбинат»

Публикуется в авторской редакции

Отпечатано в ООО «Красногорский полиграфический комбинат»
115093 г. Москва, Партийный переулок д. 1 корп. 58, стр. 1, эт. 1, пом. 1

Издается в соответствии с постановлением Научно-издательского совета
Российской академии наук (НИСО РАН) от 12 февраля 2021 г. № 01
и распространяется бесплатно