

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертацию Гольшевой Полины Садуллоевны «Математическое моделирование процессов дыхания человека в норме и при патологии», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Изучение процессов, протекающих в нижних дыхательных путях человека, является фундаментальной научной задачей, имеющее важное прикладное значение для повышения эффективности лечения различных респираторных заболеваний и патологий.

В связи с этим, перед диссертантом была поставлена основная задача, разработать аналитическую модель полного бронхиального дерева, которая позволила бы моделировать бронх, как в норме, так и при патологии, изучить различные процессы, протекающие во время процесса дыхания. Бронхиальное дерево человека имеет сложную древовидную структуру и насчитывает 24 генерации (ветвления) от трахеи до альвеол (количество конечных альвеол более 8 миллионов). При патологии легких или при астме сечение бронхов отличается от круглого – имеет сложную звездообразную форму. Сложность строения бронхиального дерева человека, многочисленность бронхиальных ветвей (более 16 миллионов) делает задачу математического моделирования течения в легких человека чрезвычайно сложной. До настоящего времени не построено полное бронхиальное дерево человека и не проведены численные расчеты по оседанию капель и частиц во всем объеме легких человека.

На актуальность исследования указывает количество работ, посвященных созданию моделей бронхиального дерева. Однако, несмотря на большое количество исследований, до сих пор не была создана модель, описывающая область легких от трахеи до альвеолярных мешков и которая учитывала бы реальное внутреннее сечение бронхов.

В работе Гольшевой П.С., была построена трехмерная аналитическая модель отдельной бифуркации (ветвления) легких человека. Из отдельных бифуркаций построена полная трехмерная аналитическая модель нижних дыхательных путей легких человека (до настоящего времени таких трехмерных моделей не существовало). Аналитические формулы бронхиального дерева человека позволяют построить полное бронхиальное дерево человека (вплоть до альвеол), моделировать в реальном времени сужение бронхов легких человека, например, при приступе астмы.

Автором предложена и реализована численная модель поэтапного расчета бронхиального дерева, что позволило успешно решить проблему численного расчета разномасштабных верхних и нижних бронхов без потери точности расчета. Впервые

проведены численные расчеты течения воздуха в полной модели легких человека вплоть до альвеол в норме и при патологии легких.

Впервые проведено численное моделирование осаждения капель аэрозолей в полном (вплоть до альвеол) бронхиальном дереве человека. Показано, что на прохождение аэрозолей в легких человека влияют два фактора – оседание капель на стенках бронхов и время прохождения каплями бронхиального дерева (это время ограничено временем вдоха). Эти факторы ограничивают количество аэрозоля, достигшего альвеол. Благодаря проведенным расчетом удалось установить закономерности осаждения капель лекарственного аэрозоля в легких человека в зависимости от размера, времени и интенсивности вдоха.

Проведенные Гольшевой П.С. исследования открывают широкую перспективу для анализа доставки лекарств в аэрозольной форме с помощью ингаляции для больных различными формами легочной патологии. Численное исследование по сути является единственным методом анализа эффективности применения ингаляционных методов лечения человека, так как эксперименты на лабораторных крысах не позволяют это сделать ввиду разного масштаба легких.

Результаты, полученные в диссертационной работе, являются новыми и получены с использованием апробированных методик. Отдельного внимания заслуживают следующие результаты работы:

- Полученные аналитические формулы для создания трехмерной модели бифуркации бронхов, которые описывают бронх в норме и при патологическом состоянии. На основе данных формул построено полное трехмерное симметричное бронхиальное дерево.
- Проведенные трехмерные расчеты тепло- и влаго- обмена в нижних дыхательных путях, которые показали хорошее согласование с экспериментальными данными.
- Использование термической гелий-кислородной смеси, применяемой при лечении бронхиальной астмы, при дыхании и выявленные физические особенности. Показано, что термический эффект наблюдается только в верхних отделах нижних дыхательных путей.

В отношении автора диссертационной работы следует отметить следующее. Гольшева П.С. работает в ИТПМ СО РАН с 2016 года. В 2020 г. она поступила в аспирантуру ИТПМ СО РАН после окончания с физического факультета НГУ. По теме исследования опубликовано 23 печатных работ, из которых 5 статей в изданиях, рекомендованных ВАК. За данные исследования Гольшева П.С. удостоена дипломами: I степени за победу в конкурсе докладов, проводимом в рамках XIII Всероссийской конференции молодых ученых «Проблемы механики: теория, эксперимент и новые технологии» (ПМ: 2019 г.); лауреата конкурса премии (2020 г.) и стипендии (2021-2022 г.)

мэрии города Новосибирска. В 2021 г. Гольшева П.С. выиграла грант РФФИ р_мол_а Новосибирск. О практической значимости исследований свидетельствуют сертификат финалиста на конкурсе: «УМНИК–2019» (конкурс Фонда содействия инновациям).

Как научный сотрудник Гольшева П.С. отличается инициативностью, настойчивостью в достижении целей, способностью формулировать и решать сложные междисциплинарные проблемы, обладает организаторскими способностями. Завершенная им диссертация свидетельствует о его высокой квалификации и способности к самостоятельной научной деятельности.

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями Высшей Аттестационной Комиссии. Автореферат отражает наиболее существенные положения и выводы диссертационной работы. Считаю, что Гольшева П.С. заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Научный руководитель:

доктор физико-математи
г.н.с., лаб №4

А.Е. Медведев

