

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки Института
гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
Сибирского отделения Российской

Е.В. Ерманюк

2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук на диссертационную работу 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

Происходящее в настоящее развитие промышленного сектора, приводит к тому, что во многих регионах России складывается неблагоприятная экологическая обстановка. Загрязнение воздуха оказывает отрицательное влияние на человеческий организм в целом, и на дыхательную систему, в частности. Основными источниками загрязнения являются выхлопные газы автомобильного транспорта, деятельность предприятий химической промышленности и др. Органы дыхания принимают на себя основную часть вредных веществ атмосферного воздуха, что вызывает различные респираторные заболевания органов дыхания. На сегодняшний день заболевания органов дыхания занимают одно из печально лидирующих мест в общей структуре заболеваний. В связи с этим в диссертационной работе поднимается вопрос об изучении процессов, протекающих в дыхательной системе человека. В этой связи тема диссертационной работы, безусловно, актуальна.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в описании процесса распространения частиц лекарственных препаратов в дыхательной системе, что имеет ключевое значение для профилактики и лечения респираторных заболеваний. Для лечения таких заболеваний часто используют ингаляционный (аэрозольный) способ введения лекарственных препаратов. Этот метод имеет ряд преимуществ перед другими способами, так как действует непосредственно в месте патологии.

Одномерные модели течения газа по ветвящимся трубкам позволяют исследовать движение воздуха в лёгких человека и получить хорошие интегральные характеристики дыхания. Однако такие модели не позволяют рассчитать оседание

аэрозолей и порошков в лёгких. Поэтому необходимо использовать более сложные трёхмерные модели течения газа в лёгких человека.

Диссертационное исследование «Математическое моделирование процессов дыхания человека в норме и при патологии» выполнено Гольшевой Полиной Садуллоевной в лаборатории № 4 «Физики быстропротекающих процессов» Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН. Научный руководитель – Медведев Алексей Елизарович, доктор физико-математических наук, главный научный лаборатории № 4 ИТПМ СО РАН.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав с изложением основных результатов исследования, заключения и списка литературы; содержит 56 иллюстраций и 53 литературных источника.

Во введении представлены актуальность темы и методы исследования, сформулированы Цель и задачи, обозначены новизна, теоретическая и практическая значимость, представлены положения, выносимые на защиту.

В первой главе изложен обзор работ, посвященных особенностям создания различных моделей нижних дыхательных путей человека, описаны достоинства и недостатки существующих моделей. В данной главе подробно описана созданная аналитическая модель построения полного бронхиального дерева человека (от трахеи до альвеолярной области), позволяющая моделировать реальную форму бронхов.

Во второй главе подробно описана методика поэтапного расчета, позволяющая разрешить проблему верхних и нижних бронхов и исследовать полное бронхиальное дерево. В разделе приведены численные исследования течения воздуха (вязкой несжимаемой жидкости) в созданной аналитической модели. Произведено численное сравнение с ранее существовавшими моделями. На основе разработанной модели бронхиального дерева была реализована методика «отключения», позволяющая моделировать различные степени поражения легких.

В третьей главе описано исследование движения капель аэрозольных средств при применении ингаляционного устройства – небулайзер. Показано, что с увеличением номера бифуркации количество прошедших капель препарата падает, например, при 50 л/мин и вдохе 3 с. около 50% лекарства достигает 23 генерации бронхиального дерева. В данной разделе проведены трехмерные расчеты процессов теплообмена, происходящих в дыхательной системе. Показано хорошее согласование с экспериментальными данными. Кроме того, в данном разделе представлена модель процесса дыхания термической гелий-кислородной смесью. Этот коктейль применяют при лечении бронхиальной астмы и вирусно-бактериальной пневмонии. Продемонстрировано, что дышать гелий-кислородной смесью легче, чем воздухом – легче в 1.4-2 раза в зависимости от расхода вдыхаемого воздуха и его температуры.

Основные научные результаты, полученные в работе:

1. Создан алгоритм трёхмерного аналитического построения нормального и патологического симметричного бронхиального дерева человека от 0-ой до 23-ей бифуркации.
2. Разработана трёхмерная численная методика для поэтапного расчёта течения воздуха в полном бронхиальном дереве человека, вплоть до альвеол.

3. Впервые проведены расчёты осаждения капель лекарственного аэрозоля в полном бронхиальном дереве человека и установлены закономерности осаждения капель лекарств в лёгких человека в зависимости от интенсивности и длительности вдоха.

4. Проведены расчёты использования термической гелий-кислородной смеси при дыхании, выявлены физические особенности дыхания такой смесью. Установлено, что термический эффект (превышение температуры тела человека) нагретой гелий-кислородной смеси наблюдается только в верхнем отделе бронхов.

5. Построена численная модель тепло-влагообмена в лёгких человека, которая хорошо согласуется с экспериментальными данными.

Имеются следующие замечания к диссертационной работе.

1. В диссертации построена идеализированная геометрическая модель бронхиального дерева при некоторых существенных упрощающих предположениях, а именно: поворот плоскости дочерних сосудов после прохождения бифуркации на прямой угол, геометрически правильные сочленения сосудов в бифуркациях и другие. Насколько эти предположения согласуются с реальными бронхиальными деревьями и насколько сделанные предположения меняют характер потока воздуха?

2. Как известно, в сутки через легкие человека проходит 10 000 л воздуха, следовательно, минутный расход составляет около 7 литров. Но во многих расчетах, приведенных в диссертации, фигурируют расходы в 24 и даже 100 л в минуту. Как соотносить тогда эти расчеты с реальностью, даже при предположении об интенсивной физической нагрузке это явно завышенные цифры. К тому же, при повышении нагрузки и интенсивности дыхания становится дискуссионным предположение о ламинарности потока воздуха.

3. Не представляются убедительными предположения о выборе в качестве основной модели потока воздуха модели Навье-Стокса несжимаемой вязкой жидкости. Легкие издают звуки, которые прослушивают врачи, следовательно, имеет место сжимаемость среды. Стенки бронхов являются упругими трубками, насколько обосновано тогда приближение жестких стенок при описании процесса дыхания. Этот процесс в принципе связан с изменением объема. Интересным вопросом является то, как углы отхождения различного уровня бронхиального дерева изменяются при вдохе и как это влияет на рассмотренные в диссертационной работе задачи: распространение нагретой смеси, перенос аэрозоля. Кроме того, интересно было бы рассмотрение задачи о переносе переохлажденного, морозного, воздуха – то, с чем многие жители РФ встречаются ежегодно на протяжении долгих зимних месяцев.

4. При оценке числа Рейнольдса автор опирается на критическое значение его для прямой трубы. Но ведь это число, во-первых, зависит от диаметра канала, а во-вторых, что более существенно, меняется в геометрически сложной сети ветвящихся каналов. Насколько применимо в этой ситуации его значение для прямой трубы?

5. В работе содержится незначительное количество опечаток: «приходиться» (стр. 8), «это» (стр. 10) и др.; а также эмоциональных выражений: «наверное», «утомительный» и т.п. Однако они никоим образом не влияют на смысловую часть диссертации. Выявленные замечания по сути не умаляют качества и большого

объема проделанной диссертантом работы, а могут восприниматься как направления для дальнейшего развития уже выполненной работы.

Заключение

На основании содержания рукописи и автореферата диссертации сделано заключение, что диссертационная работа П.С. Гольшевой «**Математическое моделирование процессов дыхания человека в норме и при патологии**» соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, в том числе отвечает требованиям и критериям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 (в действующей редакции), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы.

Таким образом, диссертация Гольшевой Полины Садуллоевны является завершенной научно-квалификационной работой, обладающей научной новизной и практической значимостью, в которой содержится решение актуальной задачи – создание математической модели нижних дыхательных путей и изучение на основе численного моделирования процессов, происходящих во время процесса вдоха.

Обсуждение диссертации П.С. Гольшевой было проведено 10.03.2024 г. дистанционно на семинаре «Гемодинамика» ИГиЛ СО РАН.

И.о. зав. лабораторией механики неупорядоченных сре
к.ф.-м.н.

Паршин Д.В.

Председатель семинара «Гемодинамика»,
зав. лабораторией биомеханики и механики сложных ср
д.ф.-м.н.

Паршин А.П.

Подписи к.ф.-м.н. Паршина Д.В., д.ф.-
Ученый секретарь ИГиЛ СО РАН
к.ф.-м.н.

створяю.

Хе А.К.

02.04.2024.

Сведения о ведущей организации: Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского
отделения Российской академии наук
Почтовый адрес: 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева,
15
Телефон: +7 (383) 333-16-12
Адрес электронной почты: igil@hydro.nsc.ru
Адрес официального сайта в сети «Интернет»: <https://www.hydro.nsc.ru/>

Сведения о ведущей организации по диссертации
Гольшевой Полины Садуллоевны
«Математическое моделирование процессов дыхания человека в норме и при патологии» по
 специальности 1.1.9 — Механика жидкости, газа и плазмы
 на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Полное наименование организации в соответствии с уставом:	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом:	ИГиЛ СО РАН
Ведомственная принадлежность организации	Министерство науки и высшего образования РФ
Полное наименование структурного подразделения, составляющего отзыв:	лаборатория механики неупорядоченных сред
Почтовый адрес организации:	630090, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 15, Россия
Веб-сайт	http://www.hydro.nsc.ru
Телефон	8 (383)333-16-12
Адрес электронной почты	igil@hydro.nsc.ru

Список основных публикаций работников структурного подразделения, составляющего отзыв, в рецензируемых научных изданиях за последние пять лет по теме диссертации (не более 15 публикаций).

№	Авторы	Название статьи, журнал, год, том, №, страницы
1	Хе А.К., Ванина В.С., Черевко А.А., Паршин Д.В., Чеботников А.В., Бойко А.В., Тулупов А.А.	Использование метода магнитно-резонансной томографии для исследования трехмерной структуры течения в моделях кровеносных сосудов // Прикладная механика и техническая физика, -2019, -Т.60, №2, -С. 84-92
2	Маматюков М.Ю., Хе А.К., Паршин Д.В., Плотников П.И., Чупахин А.П.	Об энергии гидроупругой системы: течение крови в артерии с церебральной аневризмой // Прикладная механика и техническая физика, -2019, -Т.60, №6, -С. 3-16
3	Куянова Ю.О., Пресняков С.С., Дубовой А.В., Чупахин А.П., Паршин Д.В.	Численное исследование гидродинамики тройника в модельной задаче об оптимизации угла установки низкопоточного сосудистого анастомоза // Прикладная механика и техническая физика, -2019, -Т.60, №6, -С. 72-80
4	Маматюков М.Ю., Хе А.К., Паршин Д.В., Чупахин А.П.	Энергетический подход к решению гидроупругой задачи о росте дивертикула фузиформной аневризмы // Прикладная механика и техническая физика, -2020, -Т.61, № 5, -С. 211- 223

5	Yankova G., Tur D., Parshin D., Cherevko A., Akulov A.	Cerebral arterial architectonics and CFD simulation in mice with type 1 diabetes mellitus of different duration // Scientific Reports, -2021, -Vol. 11, № 1, 3969
6	Кубяк А.Е., Паршин Д.В.	Об исследовании кинематики движений лыжников элитного уровня при использовании техники "дабл полинг" // Российский журнал биомеханики, -2021, -Т.25, №3, -С.285-300
7	Tikhvinskii D., Kuyanova J., Kislitsin D., Orlov K., Gorbatykh A., Parshin D.	Numerical Assessment of the Risk of Abnormal Endothelialization for Diverter Devices: Clinical Data Driven Numerical Study // Journal of Personalized Medicine, -2022, -Vol. 12, № 4, -P. 1-24
8	Tagiltsev I.I., Parshin D.V., Shutov A.V.	Rational choice of modelling assumptions for simulation of blood vessel end-to-side anastomosis // Mathematical Modelling of Natural Phenomena, -2022, -Vol. 17, № 20, -P. 1-20
9	Тихвинский Д.В., Куянова Ю.О., Бервицкий А.В., Обединская Н.Р., Тулупов А.А., Паршин Д.В.	Динамическое наблюдение изменения морфологических и гемодинамических характеристик малых церебральных аневризм // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний, -2023, -Т.12, № 1, -С. 172-180
10	Kuyanova J., Dubovoi A., Fomichev A., Khelimskii D., Parshin D.	Hemodynamics of vascular shunts: trends, challenges, and prospects // Biophysical Reviews, -2023, -Vol. 15, №5, -P. 1287-1301
11	Kuyanova J., Chupakhin A., Besov A., Gorbatykh A., Kislitsin D., Orlov K., Parshin D.	Rheological Properties of Non-Adhesive Embolizing Compounds-The Key to Fine-Tuning Embolization Process-Modeling in Endovascular Surgery // Polymers, -2023, -Vol.15, № 4, -P. 1-18

Директор ИГиЛ СО РАН
д.ф.-м.н.

ИЮК