

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора Крамма Михаила Николаевича
на диссертацию Судакова Дмитрия Евгеньевича «Система поддержки
принятия врачебных решений для ранней оценки состояния сердечно-
сосудистой системы ребенка с врожденным пороком сердца»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.2.12 – Приборы, системы и изделия медицинского
назначения

1. Актуальность избранной темы. На сегодняшний день центральным трендом современной диагностики врожденных пороков сердца в кардиологии является применение математических методов для анализа состояния пациента. Важность их использования продиктована необходимостью описания сложных систем, а также интерпретирования большого объема медицинских данных, получаемых от пациента для дальнейшего их включения в биотехнические системы и системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР). Другим важным сопутствующим трендом в кардиологии является персонализированный подход к пациенту и прогнозирование изменений его состояния со временем, дающий возможность индивидуализации тактики лечения больного и недопущения критических ситуаций. Для его реализации необходимо создание цифровых двойников сердечно-сосудистой системы, позволяющих описывать не только отдельные элементы системы кровообращения, и всю ее целиком, но и изменения происходящие в процессе роста и развития организма.

В связи с этим считаю, что диссертационная работа Судакова Д.Е. является актуальной и отвечающей современным вызовам при разработке современных систем диагностики и терапии кардиологических больных с врожденными пороками сердца.

2. Оценка содержания диссертации. Диссертация включает введение, четыре главы, выводы, заключение, библиографический список из 136 наименований публикаций отечественных и зарубежных авторов, приложения. Диссертационная работа изложена на 191 странице и содержит 113 рисунков.

Во введении дается общая характеристика работы, обосновывается актуальность проведенных исследований, сформулирована научная новизна и практическая значимость. Представлены научные положения и результаты, выносимые на защиту автором.

Первая глава посвящена анализу состояния проработанности темы

исследования в России и мире на настоящий момент. Изучены статистические данные, отражающие опасность врожденных пороков сердца и их распространенность в мире. Сформированы основные критерии, которым должна соответствовать математическая модель сердечно-сосудистой системы. Рассмотрены методы моделирования системы с сосредоточенными параметрами и их основные преимущества. Отдельно представлены методы моделирования компонентов сердца, которые позволяют в высокой степени персонализировать модель. Произведен обзор методов моделирования сердечно-сосудистых заболеваний, в частности заболеваний желудочков. Изучены сложные многосоставные модели сердца с сосредоточенными параметрами. Проведено исследование алгоритмов применяемых для персонализации параметров модели под конкретного пациента. Рассмотрены основные принципы построения моделей с врожденными пороками сердца. Проанализированы существующие СППВР, а также степень их разработанности и интеграции в медицинскую практику России, в том числе со стороны действующих законов, касающихся регуляции медицинского оборудования и программного обеспечения.

Во второй главе рассмотрены основные физиологические законы, по которым функционирует сердечно-сосудистая система, для ее математического моделирования. В их числе: закон Франка–Старлинга, гомеометрические соотношения, гетерометрические зависимости, модель мышцы Хилла. Построена 0D-мерная математическая модель сердечно-сосудистой системы в норме на основании совокупного применения физиологических законов функционирования организма, законов механики (закон Лапласа, модель Хилла) и методов вычислительной гидродинамики, с включенным в нее блоком, характеризующим дефект межжелудочковой перегородки. Выдвинута гипотеза о соответствии изменения параметров организма в процессе роста и развития экспоненциальному закону, разработан математический аппарат моделирования для реализации этой гипотезы и проведено ее исследование. Разработан метод объединения модели изменения параметров сердечно-сосудистой системы в процессе роста и развития с 0D-мерной моделью сердечно-сосудистой системы, основанный на использовании свойств квазистационарных моделей, в частности, метода замороженных коэффициентов.

В третьей главе были проведены исследования изменения наиболее важных параметров сердечно-сосудистой системы, необходимых для создания математической модели гемодинамики. Был выявлен отчетливый экспоненциальный характер их изменения в процессе роста и развития ребенка. Были исследованы возрастные изменения основных параметров

сердечно-сосудистой системы, необходимых для построения математической модели гемодинамики, и в каждом из них была выявлена экспоненциальная зависимость. Поведение модели проверено для четырех различных случаев: для сердечно-сосудистой системы здорового ребенка, для сердечно-сосудистой системы ребенка с врожденным дефектом межжелудочковой перегородки, для сердечно-сосудистой системы здорового взрослого, и для сердечно-сосудистой системы взрослого с врожденным пороком сердца.

В четвертой главе представлена разработанная СППВР, которая предназначена для использования созданной ранее модели гемодинамики ребенка с врожденным пороком межжелудочковой перегородки в практической медицине. Рассмотрены методы получения дополнительных диагностических данных о патологиях сердца посредством неинвазивных процедур функциональной диагностики, таких как электроэнцефалография и реоэнцефалография. Разработанная система базируется на результатах исследований, представленных в третьей главе, и предусматривает возможность моделирования изменений параметров сердечно-сосудистой системы в ходе роста и развития ребенка. С целью повышения точности моделирования возрастных изменений сердечно-сосудистой системы была внедрена тестовая система оценки групп риска, позволяющая корректно определять точки аппроксимации — выбор контрольных точек, соответствующих взрослым пациентам аналогичной группы риска. Предложен алгоритм персонализации математической модели сердечно-сосудистой системы для каждого отдельного пациента. Определены критерии, позволяющие прогнозировать возникновение критических ситуаций для здоровья ребенка на основе разработанной модели. Показан визуальный интерфейс, реализующий СППВР для работы с детьми, имеющими врожденный дефект межжелудочковой перегородки.

В заключении представлены основные научные и практические результаты исследований, полученные в ходе выполнения диссертационной работы.

Приложение содержит документы, подтверждающие практическое использование и внедрение диссертационной работы.

3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Автор достаточно корректно использует известные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций.

Научные положения, рекомендации и выводы в достаточной степени аргументированы, так как основаны на применении известных методов вычислительной гемодинамики, математического моделирования,

оптимизации, визуализации полученных результатов, обработки экспериментальных данных.

4. Оценка новизны и достоверности. В качестве новых научных результатов, полученных диссертантом Судаковым Д.Е., можно отметить:

1. 0D-мерная математическая модель сердечно-сосудистой системы ребенка с врожденным дефектом межжелудочковой перегородки, состоящая из совокупности 14 взаимосвязанных упругих камер.
2. Основанный на экспоненциальном законе алгоритм расчета изменений параметров организма ребенка в процессе его роста и развития с 0 до 240 месяцев.
3. Решение задачи определения времени возникновения критической ситуации, опасной для жизни ребенка.
4. Система поддержки принятия врачебных решений для определения критических состояний, возникающих в процессе роста и развития ребенка с дефектом межжелудочковой перегородки.

В целом, результаты, полученные диссертантом, являются новыми в области математического моделирования сердечно-сосудистой системы с врожденным пороком сердца.

Обоснованность полученных результатов основывается на достаточно точном соответствии экспериментальных данных и научной информации, полученной в результате обзора медицинской литературы.

Достоверность научных положений, теоретически выводов и практических результатов подтверждается данными, полученными в результате исследования базовых параметров артериальных, венозных и микроциркулярных участков большого круга кровообращения, сосудистого участка легочного круга кровообращения, желудочков и аорты.

Помимо этого, степень достоверности диссертационной работы подтверждается рядом публикаций, сделанных Судаковым Д.Е. (опубликовано 17 печатных работ, в том числе 4 – в периодических изданиях, включенных в перечень ВАК при Минобрнауки РФ, из них 2 – в рецензируемых научных журналах по специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения).

5. Практическая ценность работы заключается в разработке проблемно-ориентированного комплекса программ математического моделирования сердечно-сосудистой системы ребенка с дефектом межжелудочковой перегородки, позволяющего прогнозировать состояние детского организма в процессе его роста и развития, которые реализованы в

виде системы поддержки принятия врачебных решений для определения возможных моментов возникновения критических состояний, несовместимых с жизнью.

6. Реализация результатов работы и рекомендации их использования. Результаты исследований использованы в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Биотехнические системы и технологии», нашли применение в работе медицинского центра ООО «Доступная Диагностика», ООО «Биомедтех», ООО «Медтехника».

7. Общие замечания по диссертационной работе.

1. В работе отсутствует явное сравнение предложенной модели и существующих моделей сердечно-сосудистой системы с врожденным пороком сердца, выраженное в численных значениях.
2. Во второй главе, при анализе графиков аппроксимации возрастных изменений параметров кровообращения следовало бы указать, как формируются приводимые числовые значения погрешности – для их согласования с графиками.
3. Вопросы верифицированного формирования модели сердечно-сосудистой системы с дефектом межжелудочковой перегородки и определения времени возникновения критического состояния, с учетом изменений параметров организма ребенка в процессе его роста и развития, рассмотрены недостаточно подробно.
4. При персонализации модели в главе 4 следовало бы подробно рассмотреть вопрос определения погрешности расчета функций сердечно-сосудистой системы.

Тем не менее, приведенные замечания не меняют общего положительного впечатления от диссертации и не оказывают влияния на значимость научных положений, а также на практическую ценность диссертационной работы.

8. Заключение. Полученные автором научные и практические результаты, выводы и заключения обоснованы. Основу работы составляет большое количество проведенных имитационных исследований. Диссертация написана грамотно, ее отличает высокий научный уровень.

Автореферат полностью отражает структуру и содержание диссертации. Изложенные в автореферате данные не противоречат данным, приведенным в диссертации.

Диссертационная работа Судакова Дмитрия Евгеньевича «Система поддержки принятия врачебных решений для ранней оценки состояния сердечно-сосудистой системы ребенка с врожденным пороком сердца» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена научная задача, заключающаяся в разработке метода оценки состояния сердечно-сосудистой системы ребенка с пороком сердца, в текущий момент времени и в процессе развития организма при принятии врачебных решений для снижения детской смертности.

Диссертация и автореферат соответствуют выбранной специальности 2.2.12 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения.

Диссертация отвечает требованиям п.9-14 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Судаков Дмитрий Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.12 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения.

Официальный оппонент:

доктор технических наук по специальностям

2.2.12. – Приборы, системы и изделия медицинского назначения, 2.2.11. – Информационно-измерительные и управляющие системы, профессор, профессор кафедры основ радиотехники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Крамм Михаил Николаевич

Крамм
19.05.2025

Адрес местонахождения образовательной организации: 111250, Россия, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Лефортово, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1.

Контактный телефон: +7 (495) 362-71-04

E-mail: KrammMN@mpei.ru

Подпись д.т.н., проф. Крамм Михаила Николаевича удостоверяю:



[Handwritten signature]

ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА
УПРАВЛЕНИЯ НА РАБОТЕ С ПЕРСОНАЛОМ
Л.И. ПОЛЕВАЯ

Сотзвтом 21.05.2025
[Handwritten signature]