

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, доцента Тычкова Александра Юрьевича 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 учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.12 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения

Актуальность темы. В последние годы в диагностике и терапии детей с врожденными пороками сердца наметилась тенденция на развитие и внедрение результатов математической кардиологии – науки на стыке кардиологии, медицины и математики. В совокупности с применением метода имитационного моделирования это дало возможность более точной диагностики. Обобщение накопленного опыта по лечению больных с врожденными пороками сердца позволяет сделать вывод о необходимости внедрения в лечебную практику биотехнических систем, основанных на цифровых двойниках сердечно-сосудистой системы, учитывающих процессы изменения организма в процессе роста и развития ребенка.

Таким образом, считаю, что диссертационная работа Судакова Д.Е. является актуальной и направлена на решение проблемы современной диагностики и терапии, связанной с реализацией персонализированного подхода к процессу лечения детей с врожденными пороками сердца.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Автором были корректно использованы известные методы обоснования полученных результатов и выводов.

Проанализированы и найдены основные недостатки методов моделирования врожденных пороков сердца у детей. Выявлены недостатки существующих на данный момент моделей кровообращения, цифровых двойников сердечно-сосудистой системы, основанных на них биотехнических систем и программно-аппаратных комплексов.

Научные положения, рекомендации и выводы являются аргументированными в силу их базирования на теории гемодинамического моделирования, физиологических законах работы сердечно-сосудистой системы, биофизики, математического моделирования.

Оценка новизны и достоверности. Диссертантом Судаковым Д.Е. предложены следующие новые научные результаты:

1. Создана математическая модель сердечно-сосудистой системы ребенка с врожденным дефектом межжелудочковой перегородки. Эта модель представляет собой сложную сеть из 14 взаимосвязанных упругих камер, каждая из которых имитирует различные участки сердечно-сосудистой системы.

2. Разработан алгоритм расчета изменений параметров организма ребенка в процессе его роста и развития, основанный на экспоненциальном законе. Алгоритм охватывает возрастной диапазон от рождения (0 месяцев) до возраста взрослого человека (240 месяцев).

3. Решена задача прогнозирования времени возникновения критической ситуации, представляющей угрозу для жизни ребенка с дефектом межжелудочковой перегородки.

4. Реализована система поддержки принятия врачебных решений, предназначенная для раннего выявления критических состояний, возникающих в процессе роста и развития ребенка с указанным заболеванием.

Полученные Судаковым Д.Е. результаты являются новыми в области моделирования изменений параметров сердечно-сосудистой системы ребенка происходящих в процессе его роста и развития.

Обоснованность полученных результатов основана на соответствии полученных в результате модельных исследований сердечно-сосудистой системы с врожденным дефектом межжелудочковой перегородки с известными данными для среднего пациента.

Достоверность научных положений, теоретически выводов и практических результатов подтверждается рядом проведенных численных экспериментов – а именно, исследованием чувствительности функций сердечно-сосудистой системы к изменению свойств, исследованием влияния порока на гемодинамику на основе модельного примера, исследованием базовых параметров участков сердечно-сосудистой системы, фазовой петли «объем – давление» для желудочков сердца и др.

Степень достоверности диссертационной работы подтверждена публикацией 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.

Практическая ценность работы заключается в разработке проблемно-ориентированного комплекса программ математического моделирования сердечно-сосудистой системы ребенка с дефектом межжелудочковой перегородки, позволяющей 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.

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».

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 отражена актуальность темы диссертации, описана степень разработанности темы исследования, сформулированы объект и предмет

исследования, цели, задачи исследования, частные задачи исследования. Была сформулирована научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов исследования, обозначена методология и методы исследования. Представлены положения, выносимые на защиту, а также дана структура диссертации.

В первой главе работы проведен всесторонний анализ современного состояния исследований по тематике диссертации, включая методы персонализации моделей, которые учитывают сердечно-сосудистые заболевания. Особое внимание уделено 0D-мерным моделям, которые используются для изучения различных физиологических сценариев и факторов влияния систем регуляции на гемодинамику. Рассмотрено применение математических моделей в системах поддержки принятия врачебных решений и степень их интеграции в российскую медицинскую практику.

Вторая глава посвящена построению 0D-мерной математической модели сердечно-сосудистой системы с врожденным дефектом межжелудочковой перегородки на основании совокупного применения физиологических законов функционирования организма, законов механики и методов вычислительной гидродинамики, которая учитывает изменения, происходящие с организмом ребенка в процессе его развития для случаев с наличием дефекта межжелудочковой перегородки и его отсутствием.

Третья глава посвящена исследованию изменений наиболее важных параметров сердечно-сосудистой системы, необходимых для создания математической модели гемодинамики. Исследование проводилось в три этапа. На первом этапе проводился анализ изменений основных параметров гемодинамики, таких как давление, скорость кровотока, объемные характеристики, частота сердечных сокращений, диаметр кольца аорты и диаметр митрального клапана в процессе роста и развития организма ребенка. Для каждого из перечисленных параметров сердечно-сосудистой системы проверено соответствие экспоненциальному закону и определены коэффициенты аппроксимации. Вторым этапом исследования являлось изучение разработанной 0D-мерной модели гемодинамики здорового ребенка и ребенка с врожденным пороком сердца. Для этого были исследованы давление в аорте и легочных артериях, кровотоки из правого и левого желудочка. На третьем этапе исследования был проведен анализ полученной модели изменения параметров сердечно-сосудистой системы в процессе его роста и развития в условии многомасштабности по времени. Далее были изучены параметры, на основании которых можно рассчитать время возникновения критической ситуации для сердечно-сосудистой системы ребенка, – давление в желудочках и кровотоки.

Четвёртая глава посвящена разработке системы поддержки принятия врачебных решений, ключевой задачей которой является определение опасных для жизни ребенка ситуаций, возникающих в процессе его роста и развития, на основании данных, полученных в процессе исследования математической модели гемодинамики с дефектом межжелудочковой

перегородки в условиях многомасштабности. Критическое состояние сердечно-сосудистой системы при дефекте межжелудочковой перегородки определяется по двум показателям. Первый показатель — отношение минутного объема кровотока в малом круге кровообращения к минутному объему кровотока в большом круге кровообращения, которое в медицинской практике называется отношением пульмонального кровотока к системному. Второй показатель, на основании которого можно определить критическое состояние сердечно-сосудистой системы с пороком, — это отношение систолического давления в левом желудочке к давлению в правом желудочке. В главе предложен алгоритм персонализации модели, представляющий собой решение обратной задачи поиска оптимальных параметров для моделирования. Разработанная система поддержки принятия врачебных решений представляет собой совокупность взаимосвязанных между собой блоков, решающих задачу определения времени возникновения критической для жизни ребенка ситуации, которая может возникнуть в процессе его роста и развития.

В заключении даны главные теоретические и практические результаты исследований, приведены данные и интерпретация экспериментов.

В приложении приведены документы, подтверждающие внедрение результатов диссертационной работы.

Общие замечания по диссертационной работе.

1. В рамках диссертационного исследования на этапе моделирования были описаны такие параметры сердечно-сосудистой системы (ССС), как давление, частота сердечных сокращений (ЧСС), объем камер сердца, диаметр клапанов и аорты. Однако в работе рассмотрены, но в полной мере не исследованы и не учтены другие важные параметры, такие как сопротивление сосудистого русла, эластичность стенок артерий, состояние венозного русла и так далее.
2. Изложенный в работе подход к построению модели предполагает использование ряда классических уравнений, однако в работе не в полной мере обоснован выбор нулевой размерности (0D). Следовало пояснить преимущества данной модели перед более сложными пространственными моделями.
3. Представленная в диссертационной работе модель основана на предположении об экспоненциальном изменении параметров сердечно-сосудистой системы, но автор не объясняет механизмы и причины, которые приводят к такой форме динамики. Необходимо более детально описать, как выбор набора функций и свойств сердечно-сосудистой системы повлиял на построение 0D-мерной модели. При создании моделей гемодинамики важно учитывать, что каждый организм индивидуален с точки зрения геометрии сети сосудов, состава крови и реакций на психофизиологические нагрузки.
4. Имитационные эксперименты описаны как универсальный инструмент выявления критических ситуаций у детей, но не представлено достаточного количества примеров, которые иллюстрируют работу

предложенной модели. Было бы полезно подтвердить эксперименты клиническими случаями или ретроспективным анализом историй болезни пациентов разных возрастных групп.

5. В работе описаны два критерия определения момента возникновения критического состояния: отношение давлений и кровотоков. Однако эти критерии не позволяют в полной мере охарактеризовать гемодинамические нарушения. Для более точной оценки необходимо включить в исследование дополнительные показатели, например насыщенность крови кислородом и сократительную способность. Не существует единственного универсального показателя гемодинамики, который мог бы описать сердечно-сосудистую систему как функционально единую систему, динамично обслуживающую метаболизм тканей. Специфический гемодинамический статус пациента можно определить только на основе комплексного анализа показателей, которые характеризуют преднагрузку, систолическую и диастолическую функцию сердца, сократимость миокарда, постнагрузку, перфузионный кровоток и доставку кислорода.
6. Оценка параметров отношения давлений и кровотоков выглядит произвольной. Не раскрыты причины, по которым именно соотношение потоков 1,5 или давление меньше 2² считаются пороговыми значениями. Не определены точность этих параметров, возможный шаг измерений и то, почему именно эти два параметра будут единственно верными для принятия решения.

Вышеописанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации.

Заключение. Диссертационная работа Судакова Д.Е. обладает последовательностью и логичностью изложения. Цели и задачи, поставленные в работе, являются достигнутыми, что подтверждается модельными исследованиями и иллюстрациями.

Автореферат полностью отражает структуру и содержание диссертации. Изложенные в автореферате данные не вступают в противоречие с данными, приведёнными в диссертации.

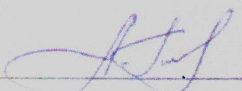
На основании анализа автореферата, диссертации, основных публикаций по теме диссертационной работы Судакова Д.Е. можно сделать вывод о том, что диссертационная работа «Система поддержки принятия врачебных решений для ранней оценки состояния сердечно-сосудистой системы ребенка с врожденным пороком сердца» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена научная задача по разработке инновационного метода оценки состояния сердечно-сосудистой системы ребенка с врожденным пороком сердца *in silico* как в текущий момент времени, так и в процессе последующего роста и развития организма. Данный метод имеет огромное значение для повышения качества принятия врачебных решений и играет значительную роль для совершенствования медицинского приборостроения.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 2.2.12 «Приборы, системы и изделия медицинского назначения», а именно 3 пунктам: 2 – «Приборы, системы и аппаратно-программные комплексы для оценки текущего состояния, скринингового обследования, мониторинга, прогнозирования и диагностики состояния здоровья человека.», 15 – «Математическое моделирование медико-биологических процессов», 20 – «Системы поддержки принятия врачебных решений и медико-технологических процессов, экспертные, информационные и управляющие системы медицинского назначения, обеспечивающие повышение качества медицинского обслуживания населения»..

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

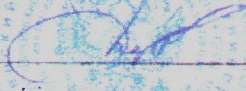
Официальный оппонент

Доктор технических наук по специальности 2.2.12. – Приборы, системы и изделия медицинского назначения, доцент, заведующий кафедрой «Радиотехника и радиоэлектронные системы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный университет»

 /Тычков Александр Юрьевич/

Подпись д.т.н., доцента Тычкова Александра Юрьевича удостоверяю.

Ученый секретарь Ученого совета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный университет»

  /Дорофеева Ольга Станиславовна/

06.05.2025 г.

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»
440026, г. Пенза, ул. Красная, д. 40
тел. (8412) 66-65-98; e-mail: retch@pnzgu.ru

С отзывом ознакомлен 19.05.2025

