

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 616.1–047.48

Кудренко
Илья Иванович

Моделирование кровотока с различной степенью аортальной недостаточности

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра

по специальности 1-39 80 03 «Электронные системы и технологии»

Научный руководитель

Давыдов Максим Викторович

доцент, кандидат технических наук

Минск 2023

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Высокопроизводительные вычисления широко применяются в медицине для моделирования органов человека и параметров кровотока, что даёт возможность спрогнозировать дальнейшее течение выздоровления индивидуально для каждого человека.

Современные методики исследований пульсирующего кровотока достаточно сложны и разнообразны. Существуют, в частности, подходы, основанные на стохастических методах и комбинированном фрактально-вейвлетном анализе. Тем не менее, детальные исследования распространения волн давления и кровотока до сих пор производятся с использованием одномерных моделей. При этом до сих пор ряд исследователей отмечают, что даже простейшие (одно- и двумерные) подходы требуют большого количества вычислительных ресурсов, что говорит о важности и незавершенности проблемы математического моделирования кровообращения.

Большое количество предложенных моделей может быть классифицировано по размерности пространства. Двумерные и трехмерные модели широко используются для моделирования локальных частей кровеносной системы. Применение таких моделей к задачам глобального кровообращения, охватывающего все отделы организма, требует огромных вычислительных затрат. Существует также одномерный подход, который на данный момент является более эффективным для описания глобальных процессов. Тем не менее, даже он требует идентификации большого количества плохо определенных и сильно переменных структурно-функциональных параметров, описывающих модель. Еще один возможный подход состоит в использовании моделей с сосредоточенными параметрами, среди которых наиболее широко распространена методика, основанная на использовании электромеханических аналогий. В последнее время все более широко распространяется идея так называемого многомасштабного подхода, при котором предлагается совместно использовать модели разных размерностей. Последний подход является одним из наиболее предпочтительных хотя бы потому, что система кровообращения состоит из сосудов, размеры которых отличаются на много порядков. При этом многомасштабная модель позволяет рассматривать глобальные эффекты: взаимное влияние сердечных и сосудистых параметров, перенос веществ и другие.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Целью работы является исследование гемодинамики кровотока в аорте при различной степени аортальной недостаточности, путём наглядного отображения количества регургетируемого тока крови в желудочек.

Для достижения поставленной цели должны быть решены следующие задачи исследования:

- построить анатомическую модель аорты;
- построить модель аортального клапана исходя из данных при различных степенях аортальной недостаточности;
- осуществить моделирование кровотока в аорте при различных степенях аортальной недостаточности;
- провести оценку кровотока при различных степенях аортальной недостаточности подтвердив правильность построения исходя из практического соотношения регургетируемой крови в левый желудочек.

Объектами исследования в магистерской диссертации являются модель аорты, модели патологий аортального клапана и модель левого желудочка.

Предметом исследования является гемодинамика кровотока при различной степени аортальной недостаточности.

Новизной работы является визуальное отображение кровотока в аорте при различных степенях аортальной недостаточности. Благодаря данной работе существует возможность дать понять пациенту, какой объем крови регургетируется в левый желудочек при его степени патологии. Исходя из имеющихся данных о конкретном размере отверстия в клапане существует возможность персонализировать модели аорты и клапана под конкретного пациента. После исследования патологии уже будут строиться соответствующие планы о ходе лечения пациента.

Научная значимость работы заключается в возможности исследования гемодинамики кровотока в аорте при различных степенях патологий клапана.

Практическая значимость работы заключается в визуальном отображении кровотока в аорте при различных степенях аортальной недостаточности.

Положения, выносимые на защиту:

1. Анатомическая модель аорты, модели патологий аортального клапана и модель левого желудочка, позволяющие визуализировать кровотоки в аорте при различных степенях аортальной недостаточности.
2. Визуализация кровотоков в аорте при различных степенях аортальной недостаточности.

Полученные результаты были апробированы на международных и республиканских научных конференциях:

- 58-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР;
- XIII Международная научно-техническая конференция «Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии» («Медэлектроника – 2022»);
- Advanced Information Networking and Applications: Proceedings of the 37th International Conference on Advanced Information Networking and Application (Aina-2023).

Проведенные теоретические и практические исследования выполнены автором самостоятельно. Постановка целей и задач исследований, интерпретация и обобщение научных результатов проводилось совместно с научным руководителем: кандидатом технических наук, доцентом кафедры ТОЭ УО «БГУИР» Давыдовым М.В.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе был проведён обзор методик по моделированию гемодинамики кровотока и протезированию аортального клапана. Также были сделаны соответствующие выводы о преобладании изучения моделирования гемодинамики сосудов и о преобладании биопротезов, используемых при протезировании аортального клапана, фиксированных на опорном каркасе над бескаркасными аналогами.

Во второй главе пояснены анатомия корня аорты, физиологические основы клапанно-аортального комплекса, произведен обзор основных ветвей дуги аорты и исследована аортальная недостаточность. Грудная аорта состоит из трех отделов: восходящей аорты, дуги аорты и нисходящего отдела. В восходящей аорте выделяют два отдела: корень аорты, имеющий протяженность 2-2,5 см и расположенный проксимально, и собственно восходящий отдел аорты (тубулярная часть), расположенный дистально и имеющий длину 6-8 см. Корень и восходящий отдел аорты отделены друг от друга синотубулярным гребнем. Корень аорты проксимально отграничен от выходного тракта левого желудочка по линии его перехода в стенку артериального ствола. Обычно от дуги аорты ветви отходят в следующей последовательности: плечеголовной ствол, левая общая сонная артерия, левая подключичная артерия. Плечеголовной ствол подразделяется на: правую подключичную артерию и правую общую сонную артерию. Правая и левая сонные артерии разделяются на наружные и внутренние сонные артерии. Аортальная недостаточность имеет 4 степени тяжести. При I степени объем забрасываемой крови в левый желудочек не превышает 15 % и площадь отверстия аортального клапана составляет от 1,5 до 2 см². При II степени объем забрасываемой крови в левый желудочек от 15 до 30 % и площадь отверстия аортального клапана составляет от 1 до 1,5 см². При III степени объем забрасываемой крови в левый желудочек до 50 % и площадь отверстия аортального клапана составляет от 0,7 до 1 см². При IV степени объем забрасываемой крови в левый желудочек более 50 % и площадь отверстия аортального клапана составляет менее 0,7 см².

Третья глава посвящена построению необходимых моделей и моделированию кровотока в аорте. Выполнение работы основывалось на методе из статьи «Гемодинамика и механическое поведение бифуркации сонной артерии с паталогической извитостью». В работе было проведено численное исследование движения крови в построенной 3D модели здоровой сонной артерии и с её патологиями. 3D модель была построена на основе данных магниторезонансной ангиограммы или компьютерной томограммы. В главе построены исходя из

начальных условий модели: аорты, ветвей дуги арты, патологий аортального клапана. Диаметры для построения моделей артерий 8,5 мм. При построении моделей патологий аортального клапана были получены следующие площади отверстий: при I степени – 152,65 мм²; при II степени – 110,66 мм²; при III степени – 80,9 мм²; при IV степени – 56,48 мм². Путём моделирования кровотока был экспериментально подтвержден объём регургетируемой крови исходя из степени аортальной недостаточности. При I степени объём регургетируемой крови составил 20%, при II степени – 30%, при III степени – 50%, при IV степени – 60%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы построена наиболее приближенная к анатомическому виду модель аорты и её ветвей. Исходя из имеющихся данных о патологиях, построены модели аортальных клапанов по степеням. Корректность построения моделей клапанов подтверждается размерами отверстий исходя из исходных данных. Наглядно показан кровоток при степенях аортальной недостаточности. Исходя из моделирования кровотока, подтверждаются исходные данные о количестве регургетируемой крови при различных степенях.

Моделирование кровотока позволяет реализовать и разработать новые методы диагностики сердечно-сосудистых и других заболеваний без хирургического вмешательства. Научно-исследовательская работа проведена успешно, достигнуты хорошие результаты в области расширения знаний об объективных физических процессах, результаты которых повлияют в значительной степени на многие области конструирования, распространения и использования высокотехнологичной техники, а также на многие другие области. Результаты могут быть использованы при исследовании кровотока человека при различных заболеваниях и нарушениях, разработке методов прогнозирования путём моделирования гемодинамики сердечно-сосудистой системы при лечении и поддержании состояния пациента.

Проверка работы на наличие заимствований выполнена в системе «Антиплагиат», при чем процент оригинальности составил 64,56%.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ МАГИСТРАНТА

[1-А] Кудренко, И. И. Имитаторы тканей человека для исследования воздействия СВЧ излучения / И. И. Кудренко, В. А. Шутович // Электронные системы и технологии [Электронный ресурс] : сборник материалов 58-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 18-22 апреля 2022 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол.: Д. В. Лихаческий [и др.]. – Минск, 2022. – С. 430–432.

[2-А] Кудренко, И. И. Исследование патологий аортального клапана с помощью программного комплекса SolidWorks / И. И. Кудренко, В. А. Шутович // Электронные системы и технологии [Электронный ресурс] : сборник материалов 58-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 18-22 апреля 2022 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол.: Д. В. Лихаческий [и др.]. – Минск, 2022. – С. 433–437.

[3-А] Кудренко, И. И. Имитационное моделирование кровотока аортального клапана человека = Simulation modeling of human aortic valve blood flow / И. И. Кудренко, В. А. Шутович, М. В. Давыдов // Медэлектроника–2022. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии: сборник научных статей XIII Международной научно-технической конференции, Минск, 8-9 декабря 2022 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; отв. за вып.: М. В. Давыдов. – Минск: БГУИР, 2022. – С. 112–115.

[4-А] Моделирование воздействия СВЧ излучения перспективного диапазона 5г (3,4-3,8 ГГц) на ткани человека = Simulation of the impact of 5g (3.4-3.8 ghz) microwave radiation on human tissue / М.В. Брилевская [и др.] // Медэлектроника–2022. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии: сборник научных статей XIII Международной научно-технической конференции, Минск, 8-9 декабря 2022 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; отв. за вып.: М. В. Давыдов. – Минск: БГУИР, 2022. – С. 225–229.

[5-А] Kudrenok, I. SIMULATION MODELING OF HUMAN AORTIC VALVE BLOOD FLOW / Ilya Kudrenok, Maxim Davidov, Manuel Mazzara // Advanced Information Networking and Applications: Proceedings of the 37th International Conference on Advanced Information Networking and Application (Aina-2023) – 2023 – P. 12 – 28.