

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

УДК 004.942, 616-005.4

Балюк
Денис Александрович

Имитационное моделирование кровотока в сонной артерии при различных патологиях сосудистого русла

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-38 80 03 «Приборы, системы и изделия медицинского назначения»

Научный руководитель
Давыдов Максим Виктрович
Доцент, канд. техн. наук

Минск 2017

Работа выполнена на кафедре электронной техники и технологии учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **Давыдов Максим Викторович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой ТОЭ учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент: **Борискевич Анатолий Антонович**, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры СиУТ учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «26» июня 2017 г. года в 12⁰⁰ часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г.Минск, ул. П.Бровки, 6, 1 уч. корп., ауд. 135.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

ВВЕДЕНИЕ

Одной из самых актуальных проблем научной медицины и практического здравоохранения являются болезни системы кровообращения. На данный момент среди причин смертности инсульт головного мозга занимает второе место после инфаркта миокарда. Нарушение мозгового кровообращения представляет одну из самых серьезных проблем, поскольку приводит к полной или частичной утрате трудоспособности и характеризуется высокой степенью летальности. Причинами нарушения мозгового кровообращения ишемического характера являются атеросклероз сонных артерий и их патологическое развитие сосудистого русла.

Цель работы – имитационное моделирование гемодинамики кровотока крупных кровеносных сосудов в программном комплексе FlowVision методом конечных элементов и исследование влияния геометрии сосудистого русла на изменение ее гемодинамики.

На сегодняшний день актуальной задачей для медицины является необходимость прогнозирования возможного поведения сосуда в ближайшие и отдаленные периоды после оперативного вмешательства. Для решения данной задачи необходимо провести имитационное моделирование кровотока сонной артерии, выявить факторы, способствующие изменению гемодинамики.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Для восстановления кровообращения в пораженных сосудах помимо медикаментозного лечения нередко проводятся реконструктивные операции, и часто невозможно объективно оценить, какой тип оперативного вмешательства будет оптимальным для конкретного пациента. В связи с этим вопросы моделирования гемодинамики крупных кровеносных сосудов приобретают в последнее время все большую актуальность.

Характеристики кровотока, измеряемые с помощью современных методов доплеровской, ультразвуковой и лазерной флоуметрии, могут быть проанализированы на предмет проявления сосудистых патологий путем их сравнения с результатами математического моделирования. Это позволяет создавать новые методы неинвазивной диагностики (без хирургического вмешательства) в клинической практике.

Степень разработанности проблемы

Моделирование гемодинамики крупных кровеносных сосудов осуществлялось на основе построения математической модели в работах

Иванова Д.В., Беловой Ю.А., Потапова Д.Ю., Гуляева Ю.П., Щучкиной О.А., Кириловой И.В., Чесокова А.А., Фомкиной О.А.

Среди большого числа исследований по этой теме необходимо отметить работы Yazıcı B., Erdogmus A., Heilbran M.P., Scheel P.

В настоящее время вопросу гемодинамики, несмотря на клиническую важность, уделено еще мало внимания. В большой степени это обусловлено тем, что модели создаваемые ранее были достаточно условными и не обладали достаточной точностью. Важно создание биомеханических моделей, геометрия которых наиболее приближена к реальным и учитывающих механические свойства материала сосудов и показатели кровотока конкретных людей.

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является имитационное моделирование кровотока сонной артерии методом конечных элементов и исследование влияния геометрии сосудистого русла на изменение ее гемодинамики.

Объектом исследования в данной диссертационной работе является сонная артерия и присущие ей патологии сосудистого русла.

Предметом исследования являются гемодинамические характеристики кровотока сонной артерии и их изменение при различной геометрии сосудистого русла.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи исследования:

1. Построение геометрии сосудистого русла сонной артерии.
2. Разработка алгоритма проведения исследования.
3. Анализ влияния геометрии сосудистого русла на изменение гемодинамических характеристик кровотока сонной артерии.

Область исследования содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-38 80 03 «Приборы, системы и изделия медицинского назначения»

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли результаты известных исследований российских и зарубежных исследователей в области математического моделирования гемодинамики крупных кровеносных сосудов.

Для получения результатов исследования применялись геометрические модели сонной артерии и ее различные патологии развития. Моделирование гемодинамики крупных кровеносных сосудов осуществлялось методом конечных элементов.

Построение геометрии проводилось в программном комплексе Solid Works, а имитационное моделирование методом конечных элементов осуществлено в программном пакете FlowVision.

Научная новизна

В результате обзора методов моделирования не было обнаружено анализа моделей сонной артерии с образованием аневризм. Содержание диссертационного исследования и разработанные в нем модели позволяют дополнить ранее проводимые исследования за счет подтверждения визуального анализа расчетным.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Алгоритм проведения моделирования гемодинамики крупных кровеносных сосудов.
2. Геометрические модели сонной артерии, разработанные с использованием программного комплекса SolidWorks.
3. Исследовательские результаты, полученные в среде FlowVision, позволили наблюдать гемодинамику кровотока сонной артерии и провести анализ ее гемодинамических характеристик.

Практическая значимость

Характеристики кровотока, измеряемые с помощью современных методов доплеровской, ультразвуковой и лазерной флоуметрии, могут быть проанализированы на предмет проявления сосудистых патологий путем их сравнения с результатами математического моделирования. Это позволяет создавать новые методы неинвазивной диагностики в клинической практике.

Полученные модели могут быть использованы в клинической практике для диагностирования и прогнозирования развития патологических процессов и при конструировании искусственных сосудов.

Публикации

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в четырех опубликованных работах, в том числе две в журналах, входящих в перечень периодических изданий ВАК.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав с краткими выводами по трем из них, заключения, списка использованных источников, списка публикаций автора и приложения. Общий объем диссертационной работы составляет 82 страниц. Она включает 37

иллюстраций, 6 таблиц, список использованных источников из 37 наименований на 3 страницах и 2 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассмотрены проблемы влияния геометрии сосудистого русла на изменение гемодинамики, определены направления исследований, дано обоснование актуальности темы.

В общей характеристике работы сформулированы ее цель и задачи, обоснован выбор объекта исследований, даны сведения о личном вкладе соискателя, изложены структура и объем диссертации.

В первой главе приведен глубокий аналитический обзор научно-технической литературы, где рассмотрены все вопросы, касающиеся темы проекта. Рассмотрен основной принцип кровообращения. Изложены основные причины нарушения геометрии сосудистого русла. Достаточно полно сделан обзор современных методов моделирования гемодинамики, приведен литературный обзор методов имитационного моделирования гемодинамики крупных кровеносных сосудов, исследованные зарубежными и белорусскими авторами.

Во второй главе разработан алгоритм проведения имитационного моделирования крупных кровеносных сосудов. Приведены основные характеристики моделируемой артерии. Описаны основные этапы проведения моделирования: создание геометрии сонной артерии, моделирование гемодинамики в FlowVision. Проведенное моделирование соответствует задачам диссертационной работы.

В третьей главе представлен анализ результатов влияния геометрии сосуда на изменение гемодинамики. Выявлены причины и факторы, способствующие ухудшению протекания кровотока. Проведена оценка результатов исследования и представлены выводы о проведенной работе.

В приложениях приведены результаты проверки оригинальности диссертационной работы и презентация.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе было проведено моделирование кровотока крупных кровеносных сосудов человека при различной геометрии сосудистого русла методом конечных элементов. Построение геометрии проводилось в программном комплексе Solid Works, а моделирование осуществлялось с использованием среды FlowVision. При моделировании решены такие задачи как: построение геометрии сонной артерии, задание физических свойств сред, задание граничных и других условий модели. Проанализировали решение с помощью средств цветной графики. Также представлен анализ изменения кровотока скорости крови при различных патологиях сонной артерии.

В ходе исследований было выявлено:

1. При патологии до зоны деформации может регистрироваться снижение линейной скорости. В зоне деформации отмечается повышение скорости кровотока. За зоной деформации скорость кровотока уменьшается.

2. Уменьшение угла извитости приводит к увеличению зоны низких скоростей и завихрений у выпуклой стенки изгиба сосуда. Это приводит к уменьшению объема крови, поступающей в мозг.

3. В области развития патологии наблюдается преобразование ламинарного течения кровотока в турбулентное течение.

4. Из полученных данных видно, что наиболее опасными извитостями являются патологии петля, S-образная и перегиб. Именно при этой патологии наблюдается наиболее значимое падение объемной скорости во внутренней сонной артерии порядка 30 % и увеличение потока объемной скорости в наружной сонной артерии на 30 %.

5. Исследование объемного кровотока на выходе из внутренней сонной артерии при развитии аневризмы показало, что изменение геометрии просвета артерии и образование турбулентного течения незначительно влияет на изменение скорости прохождения кровотока в сонной артерии (в пределах 4 %), наиболее опасной является мешковидно-веретеновидная аневризма падение скорости в этом случае наблюдается порядка 8 %.

6. Анализ полученных визуализаций распределения давления в русле артерии показал, что наиболее опасными видами аневризм являются мешковидная и мешковидно-веретеновидная. При развитии этих патологий, кровоток оказывает максимальное воздействие на стенку аневризмы.

После получения всех данных и проведения анализа исследования можно сказать, что построенные модели сонной артерии и позволили выявить факторы, способствующие снижению мозгового кровообращения.

Разработанные модели могут использоваться в клинической практике для диагностирования и прогнозирования развития патологических процессов и при конструировании искусственных сосудов, а также для создания новых методов неинвазивной диагностики в клинической практике.

Магистерская диссертация выполнена самостоятельно, проверена в системе «Антиплагиат». Процент оригинальности составляет 78,8. Результаты проверки представлены в приложении. Цитирования обозначены ссылками, указанными в «Списке использованных источников».

Список опубликованных работ

[1] Балюк, Д. А. Моделирование параметров кровотока (скорости и давления) в зависимости от геометрических параметров сосуда / Д. А. Балюк, И. Ю. Базик, Е. Д. Витковский // Доклады БГУИР. 2016 №7 (101). – Минск :

БГУИР, 2016. – С. 110 – 115.

[2] Витковский, Е. Д. Оценка гемодинамических характеристик кровотока сонной артерии при патологической геометрии сосудистого русла / Е. В. Витковский, И. Ю. Базик, Д. А. Балюк и др. // Доклады БГУИР. 2016 №7 (101). – Минск : БГУИР, 2016. – С. 205 – 209.

[3] Балюк, Д. А. Моделирование и оценка гемодинамических характеристик кровотока сонной артерии / Д. А. Балюк // Великие преобразователи естествознания: Нильс Бор : материалы юбилейных XXV Междунар. чтений. – Минск : БГУИР, 2017. – С. 214 - 215.

[4] Балюк, Д. Имитационное моделирование кровотока в сонной артерии при различных патологиях сосудистого русла / Д. А. Балюк. // 53-я научно-техническая конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск : БГУИР, 2017.

Библиотека БГУИР