

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Доля Александра Викторовича
«Биомеханика артерий шеи и головы», представленную
на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 1.1.10 – Биомеханика и биоинженерия

Диссертационная работа Доля А.В. «Биомеханика артерий шеи и головы» посвящена разработке биомеханических основ для создания системы поддержки принятия врачебных решений в хирургии артерий шеи и головы в случае наличия патологий на участке сердечно-сосудистой системы, содержащем сонные артерии и виллизиев круг, с учетом совокупности параметров системы артерий шеи и головы, описывающих тип виллизиева круга, степени стенозов сонных артерий и характера кровотока в базилярной артерии, а также пациент-ориентированные особенности геометрии сосудов, позволяющих осуществлять оценку рисков отрыва бляшек и образования аневризм для клинических случаев с сочетанной патологией артерий шеи и головы, что соответствует заявленной специальности 1.1.10 – «Биомеханика и биоинженерия» и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК Российской Федерации к докторским диссертациям. На основании разработанных методик и подходов выполнено построение пациент-ориентированных геометрических моделей артерий человека, создан прототип мобильного испытательного стенда для определения модуля Юнга и предела прочности биологического материала, осуществлено численно-аналитическое моделирование гемодинамики артериальной системы шеи и головы, установлены показатели оценки патологий артериальной системы сосудов шеи и головы, а также значимые факторы, существенно повышающие риск образования аневризм и отрыва атеросклеротических бляшек. Полученные результаты соответствуют следующим пунктам паспорта специальности 1.1.10 – «Биомеханика и биоинженерия»: 1. Изучение физико-механических свойств и структуры биологических макромолекул, клеток, биологических жидкостей, мягких и твердых тканей, отдельных органов и систем (физико-математические науки); 2. Изучение закономерностей движения биологических жидкостей, тепло- и массопереноса, напряжений и деформаций в клетках, тканях и органах (физико-математические науки); 3. Изучение механических основ и проявлений процессов роста, развития и адаптации биологических объектов (физико-математические науки).

Актуальность темы диссертации. Одним из основных принципов персонифицированной медицины является оценка и анализ индивидуальных особенностей пациента для выбора наиболее оптимальных методов диагностики, профилактики и лечения для повышения эффективности лечения и снижения рисков побочных эффектов, в том числе заболеваний сосудов головного мозга, атеросклероза сонных артерий и других сердечно-сосудистых заболеваний. Такой подход позволяет подобрать персонализированное лечение, прогнозировать ход заболевания и его лечение,

улучшить диагностику и реабилитацию, особенно с использованием технологий искусственного интеллекта и цифровых технологий. Указанные обстоятельства обуславливают актуальность темы диссертации, связанной с разработкой теоретических основ персонализированной оценки рисков развития патологий артерий шеи и головы, а также пациент-ориентированного биомеханического моделирования клинических случаев для прогнозирования и планирования хирургического лечения. Актуальность направления исследований, представленных в диссертации, также обуславливается соответствием приоритетным направлениям развития науки и техники «Науки о жизни», «Технологии снижения потерь от социально значимых заболеваний», а также «Биомедицинские и ветеринарные технологии» из перечней, утвержденных Указом Президента Российской Федерации № 899 от 7 июля 2011.

Степень обоснованности и достоверность научных достижений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Достоверность результатов диссертации обусловлена корректностью математических постановок задач и применением апробированных аналитических и численных методов к их решению, а также использованием стандартизированного оборудования к проведению натурных экспериментов. Результаты биомеханического моделирования и проведенных натурных экспериментов качественно и количественно соответствуют известным результатам других авторов.

Научная новизна основных результатов работы, их теоретическая и практическая значимость. Научная новизна работы заключается в определении механических характеристик артериальных стенок, атеросклеротических бляшек непосредственно после хирургического вмешательства в клинической практике, что дает возможность использовать полученные механические параметры при аналитическом и численном моделировании гемодинамики артериальной системы шеи и головы, а также при исследованиях сочетанных патологий системы артерий шеи (участок общей сонной артерии с узлом бифуркации на наружную и внутреннюю) и головы (сосуды виллизиева круга). Также научная новизна состоит в установлении факторов риска и вариантов патологических состояний с повышенным риском отрыва бляшек и образования аневризм.

Теоретическая значимость результатов работы определяется разработкой методов неинвазивного определения модуля упругости атеросклеротических бляшек по данным компьютерной томографии на основе построенной регрессионной зависимости, а также выявлением взаимосвязей между основными параметрами артериальной системы шеи и головы и повышением риска развития опасных клинических состояний.

Практическая значимость результатов работы определяется их реализацией в виде программных продуктов, позволяющих усовершенствовать процесс обработки компьютерных томограмм и построения геометрических моделей кровеносных сосудов. Практическая значимость подтверждается разработкой системы поддержки принятия врачебных решений для оценки

риска отрыва атеросклеротических бляшек и развития аневризм, а также испытательных стендов. Преимуществом разработанных программных продуктов является их универсальность и возможность применения при исследовании различных участков сердечно-сосудистой системы. Практическая значимость результатов, полученных в диссертационной работы, также подтверждается их внедрением в учебную деятельность механико-математического факультета и факультета фундаментальной медицины и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», а также в практическую деятельность Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова.

Апробация результатов диссертационного исследования. По результатам диссертации опубликовано 50 работ, в том числе 36 статей в рецензируемых научных журналах, из них 14 статей входят в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук, рекомендованный ВАК Российской Федерации. Также опубликована 1 монография (в соавторстве) и 9 статей в сборниках трудов конференций и тезисов, получено 7 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ, баз данных и патентов. Результаты исследования докладывались на всероссийских и международных конференциях и симпозиумах. Считаю, что требования ВАК Российской Федерации к опубликованности результатов в научной печати выполнены.

Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК Российской Федерации. Диссертационная работа написана на достаточно высоком научном уровне и хорошо структурирована. Автореферат правильно и точно отражает содержание диссертационной работы.

Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует. Содержание диссертационной работы, используемые соискателем методы исследования и интерпретации полученных результатов, свидетельствуют о владении принципами биомеханики, биоинженерии и биоинформатики, а также математического решения сложных задач на уровне математических преобразований, численных расчетов и вычислительного эксперимента, что позволило преодолеть нетривиальные и существенные трудности при решении поставленных в диссертации задач. Научная квалификация Доля Александра Викторовича соответствует ученой степени доктора физико-математических наук, на которую он претендует.

Замечания.

Несмотря на достоинства диссертационной работы необходимо сделать следующие замечания:

1. Поскольку сосудистая стенка имеет многослойную структуру и наличие волокон, следует пояснить насколько точным и приемлемым

- является описание сосудистой стенки однородной линейно-упругой и изотропной моделью в рамках решаемых в диссертации задач.
2. Следует пояснить каким образом оценивалась точность эксперимента по определению механических свойств бляшек и стенок сосудов, какова величина погрешности, как осуществлялась оценка достоверности и верификация, соответствуют ли условия эксперимента принятым в данной области стандартам. Также необходим дополнительный комментарий по поводу установки тензодатчика и его характеристик (пункт 5.2, подпункт «Создание мобильного стенда»); в пункте 5.3 указано, что «методика испытаний реализуется на мобильном стенде с высокой степенью точности», но не приведены количественные сведения о погрешности эксперимента и пределы его применимости.
 3. Проводились ли тестовые расчеты и сравнительный анализ результатов, полученных с использованием регрессионной зависимости модуля Юнга от числа Хаунсфилда, и соответствующих известных результатов для подтверждения точности установленной зависимости?
 4. Как правило, для «мягких» материалов с достаточно высоким коэффициентом Пуассона (почти несжимаемых материалов) используются гидростатические (или усредненные) напряжения. В связи с этим следует пояснить чем обусловлен выбор эквивалентных напряжений в качестве характеристики напряженно-деформированного состояния сосудистого русла?
 5. В пункте 6.2 диссертации указано, что для «оценки риска образования аневризм анализировались массовые кровотоки, а также касательные напряжения (WSS) на стенках этих артерий, средние касательные напряжения за период пульсации (TAWSS)». Необходимо пояснить какие касательные напряжения имеются ввиду и по отношению к какой системе координат. То же можно сказать и о нормальных напряжениях, которые упоминаются на стр. 151.
 6. В диссертационной работе достаточно часто используется не вполне стандартная и корректная терминология, в частности «ручное моделирование» (стр. 15 и далее), «частичная автоматизация» (стр. 94), «соседа по ребрам», «объект не заполняет рисунок целиком» (стр. 96), «позволяет быстро строить», индексы «пробегают» (стр. 68); «Типичный график зависимости напряжений от деформаций» (стр. 119, рисунок 5.9); используются терминология, затрудняющая чтение диссертации, в частности в таблице 3.1 на стр. 71 указано «с запаздыванием»; граничные условий типа Windkessel упоминаются впервые на странице 12, объяснение дано на стр. 71; в таблицах 4.1 (стр. 105), 6.1 (стр. 138) приведены пустые строки; отсутствуют выводы по главе 2.

Заключение. Диссертационная работа Доля Александра Викторовича «Биомеханика артерий шеи и головы» выполнена на высоком научном уровне,

является законченным квалификационным научным исследованием, самостоятельно подготовленным соискателем, которое по уровню научной новизны, теоретической и практической значимости соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (утв. Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, с изм., утв. 21.04.2016 г. № 335, 02.08.2016 г. № 748, ... ред. от 11.09.2021), предъявляемых к диссертационным работам на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.10 – Биомеханика и биоинженерия, а ее автору может быть присуждена ученая степень за новые научно обоснованные результаты, имеющие концептуальное значение:

- разработку методологии принятия врачебных решений в случае наличия патологий в участке сердечно-сосудистой системы, содержащем сонные артерии и виллизиев круг, включающую анализ данных об имеющихся патологиях у конкретного пациента и обеспечивающую выявление на этапе диагностики потенциально опасных клинических случаев с повышенным риском образования аневризм и отрыва атеросклеротических бляшек;
- разработку комбинированного подхода к анализу напряженно-деформированного состояния атеросклеротической бляшки при персонифицированном биомеханическом моделировании, основанного на трехмерном и двумерном анализе участков артериального русла, пораженных атеросклерозом, позволяющего оценить риск разрыва покрышки бляшки;
- установление совокупности параметров системы артерий шеи и головы, включающей тип виллизиева круга, степени стенозов сонных артерий и характер кровотока в базилярной артерии, позволяющей проводить оценку состояния пациента в клинической практике и планировать стратегию лечения с использованием реализованной системы поддержки принятия врачебных решений.

Доктор физико-математических наук,
профессор, декан механико-
математического факультета Белорусского
государственного университета



С.М. Босяков

220030, Республика Беларусь,
г. Минск, пр. Независимости 4, к. 230
+375172095248, bosiakov@bsu.by

Согласен на обработку персональных данных.

