



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ИММУНОЛОГИИ И ФИЗИОЛОГИИ
Уральского отделения Российской академии наук
(ИИФ УрО РАН)

Первомайская ул., 106,
г. Екатеринбург, 620049
Тел./факс (343) 374-00-70
e-mail:secretar@iip.uran.ru

Утверждаю

Директор ФГБУН «ИИФ УрО РАН»

профессор, д.ф.м.н.

 О.Э. Соловьева

«25» июля 2022г.



25.07.2022 № 16381/01-163

На № _____ от _____



ОТЗЫВ

ведущей организации о научно-практической ценности диссертации
Иванова Дмитрия Валерьевича на тему «Биомеханика как основа систем
поддержки принятия врачебных решений в хирургии», представленной на
соискание ученой степени доктора физико-математических наук по
специальности 01.02.08 – биомеханика

Актуальность темы диссертации

Болезни сердечно - сосудистой системы и опорно-двигательного аппарата в структуре общей заболеваемости населения России длительное время занимают ведущие позиции. Травмы и дегенеративно-дистрофические заболевания опорно-двигательного аппарата, сочетающиеся с патологией в пояснично-крестцовом сегменте позвоночника, приводят к серьезному ухудшению качества жизни. К крайне тяжелым последствиям, и в половине случаев к смерти, приводят разрывы аневризмы сосудов головного мозга.

Сложность диагностики и комплексность таких заболеваний, а также тот факт, что для каждого из них возможны различные варианты лечения, ставит задачу по разработке современных количественных методов их исследования с целью выбора и обоснования в каждом конкретном случае успешного варианта лечения.

В связи с этим, диссертационное исследование Иванова Д.В., направленное на разработку и внедрение количественных методов оценки

тяжести заболевания, систем предоперационного планирования в хирургии опорно-двигательного аппарата и сердечно-сосудистой системы и выбора успешного варианта лечения, основанных на биомеханическом моделировании, является весьма актуальным, поскольку может существенно повысить качество диагностики и лечения, а также улучшить послеоперационный прогноз и качество жизни пациентов.

Связь с планами соответствующих отраслей наук

Работа выполнялась в рамках инициативных тематик совместных научных исследований с Военно-медицинской академией имени С.М. Кирова и учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» в рамках договоров о научно-техническом сотрудничестве, при реализации проекта Фонда перспективных исследований (ФПИ) «Разработка прототипа системы поддержки принятия врачебных решений в реконструктивной хирургии позвоночно-тазового комплекса с шифром Протез -1» с 2018 по 2021 год. Работа также поддержана грантом РНФ «Биомеханическое исследование аневризм сосудов головного мозга человека и способов их лечения» 2017-2019гг, грантом РФФИ № 12-01-31310 «Математическое исследование аневризм артерий виллизиевого круга человека» 2012-2013гг.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Диссертация Иванова Д.В., выполнена с использованием современных методов биомеханических исследований: метода моделирования и решения задач механики деформируемого твердого тела и гидродинамики; метода конечных элементов и метода конечных объемов, реализованных в коммерческих программных продуктах (Ansys Mechanical, Ansys CFX), в системе предоперационного планирования SmartPlan Ortho 2D и программной платформе Аккорд; проведение натурных экспериментов с твердыми биологическими тканями на механических испытательных машинах Instron; метода количественной компьютерной томографии с использованием компьютерного томографа Toshiba Aquilion 64 и калибровочного фантома РСК-ФК-2, методов обработки исходных данных медицинского диагностического оборудования (компьютерный томограф, УЗИ аппарат) для создания двумерных и трехмерных твердотельных моделей элементов сердечно-сосудистой системы и опорно-двигательного аппарата, реализованные в коммерческих продуктах Mimics, SolidWorks, а также в платформе Аккорд для

систем поддержки принятия врачебных решений, разработанной коллективом лаборатории системы поддержки принятия врачебных решений Саратовского медицинского университета, все они адекватны поставленной цели и решаемым задачам.

Достоверность результатов диссертации Иванова Д.В. обусловлена корректностью математических постановок задач и применения численных методов при их решении. Результаты биомеханического моделирования и натуральных экспериментов качественно и количественно соответствуют опубликованным результатам других авторов. Достоверность также подтверждается доклинической апробацией результатов, полученных в диссертации, их сравнением с экспериментальными данными, а также мнением консилиума независимых экспертов НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии Саратовского государственного медицинского университета им. В. И. Разумовского.

Это позволяет считать выносимые на защиту положения, а также выводы и заключения, сформулированные в диссертации Иванова Д.В., обоснованными и достоверными.

Структура и содержание диссертационной работы

Общий объем диссертации составляет 438 страниц печатного текста, включая 157 рисунков, 72 таблицы, 41 страницу библиографии, содержащей 423 наименования среди которых 82 отечественный и 341 зарубежных. Работа состоит из списка сокращений, введения, восьми глав, заключения, приложений и списка литературы.

Во введении автор четко обосновывает актуальность выбранной темы, формулирует цель и задачи исследования, представляет положения, выносимые на защиту, приводит данные о научной новизне, теоретической и практической значимости работы.

Обзор литературы максимально полно отражает известные факты о высокой заболеваемости и травматизме опорно-двигательного аппарата и сердечно-сосудистой патологии, которые часто приводят к серьезному ухудшению качества жизни и инвалидизации населения. Обращает внимание на сложность диагностики и комплексность заболеваний этих органов и систем. Автор приходит к выводу, что в качестве одного из современных инструментов помощи врачу и оценки вариантов лечения служат системы предоперационного планирования или системы поддержки принятия врачебных решений. При этом, в системах предоперационного планирования отсутствует компонент биомеханической поддержки выбора оптимального варианта лечения и не

разработаны критерии успешности хирургической реконструкции патологии, разработке которых и посвящена диссертационная работа. В тоже время современные технологии получения информации о геометрических и механических характеристиках биологических объектах дают возможность полноценного внедрения биомеханики и моделирования в процесс предоперационного планирования и персонализированного выбора успешного варианта лечения.

В главе «Материалы и методы» представлены дизайн исследования, использованные материалы и методы. Содержатся математические постановки задач биомеханики, описаны методы их численного решения, а также методы построения твердотельных моделей элементов позвоночно-тазового комплекса, бедренных костей и элементов виллизиевого круга. Описана методика механических экспериментов и на компьютерном томографе. Описан анализ сеточной сходимости задач биомеханики. Представлены методы к статистическому анализу массива данных. Применение автором современных методов исследования обеспечило надежность полученных результатов.

В главе 3 описаны результаты собственных исследований механических свойств элементов позвоночно-тазового комплекса, на основании которых впервые показано, что различные конволюционные ядра компьютерного томографа Canon (Toshiba) дают существенно разные единицы Хаунсфилда при сканировании «на воздухе» одних и тех же образцов костных тканей и калиброванных образцов и предпочтительно для оценки минеральной плотности костной ткани ядро FC17. Впервые получены зависимости связи между единицами Хаунсфилда и модулем Юнга костной ткани с учетом кода МКБ-10. Спроектирована база данных «Механическая»

Глава 4 посвящена исследованию сагиттального баланса и моделированию его связи с биомеханикой позвоночно-тазового комплекса сбалансированного и несбалансированного позвоночника. Впервые с помощью биомеханического моделирования обоснован выбор оптимального варианта корригирующей операции, позволившей минимизировать напряжение и деформацию в позвонках и системе фиксации. Впервые разработаны обобщающие формулы, связывающие параметры сагиттального баланса, которые были использованы при разработке мобильного приложения «СпиноМетр», «Модуля геометрического планирования» системы принятия врачебных решений с биомеханической поддержкой SmartPlan Ortho 2D.

Глава 5 содержит результаты разработки и апробации количественных критериев, впервые разделенных на три группы: геометрические, биомеханические и клинические, совокупность которых может быть использована при предоперационном планировании хирургического лечения

заболеваний и повреждений позвоночно-тазового комплекса с биомеханической поддержкой решений врача. Критерии успешности лечения внедрены в разработанную программную платформу Аккорд. Набор биомеханических критериев успешности лечения создан и апробирован впервые.

В 6 главе представлены результаты применения метода биомеханического моделирования при типовых случаях предоперационного планирования и выборе успешного варианта лечения заболеваний и повреждения пояснично-крестцового комплекса и при доклинической апробации имплантатов. Результаты главы показывают универсальность предлагаемого биомеханического моделирования при предоперационном планировании.

В главе 7 показано, что геометрические и гемодинамические параметры на входят в противоречие друг с другом, а среди геометрических (предикторов разрыва аневризмы) значимым является AR. Полученное значение $AR=1,2$ обосновано с помощью биомеханического численного моделирования, которое позволило выявить оптимальный вариант лечения аневризмы (заполнение спиралями). Критериями успешности лечения могут служить геометрические параметры и нерегулярная форма аневризмы, а биомеханическим критерием средняя величина касательного напряжения в куполе аневризмы. Данные легли в основу разработки и внедрения в платформу Аккорд.

Глава 8 посвящена результатам пилотного внедрения биомеханического моделирования в процесс предоперационного планирования с биомеханической поддержкой решения врача совместно с травматологами и ортопедами НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии Саратовского государственного медицинского университета им. В.И. Разумовского. Проведенное исследование выявило, что геометрическое планирование успешно реализовано в современной система предоперационного планирования, используемых в России и за рубежом. Однако отсутствует опыт полноценного внедрения процессов биомеханического моделирования и прогнозирования результатов лечения.

В этих главах представлены результаты собственных исследований, расположенных в логической последовательности. Каждая глава собственных результатов заканчивается ее обсуждением с отсылками на публикации автора диссертации, дополняющие и подтверждающие концепцию.

В заключении систематизированы и обобщены результаты методологических подходов внедрения биомеханического моделирования при планировании способов и успешности результатов лечения, отражены главные закономерности, которые характеризуют основные положения диссертации.

Указано, что в клинических случаях с сочетанной патологией только геометрического планирования может быть недостаточно при выборе успешного варианта лечения конкретного пациента.

Выводы и практические рекомендации полностью согласуются с основным содержанием исследования.

Результаты исследований Иванова Д.В. прошли апробацию на 18 российских и международных научно-практических конференциях и отражены в 59 публикациях, из них 21 статья опубликована в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, 15 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ и баз данных.

Научная новизна исследования

В ходе работы над диссертационным исследованием Иванова Дмитрия Валерьевич:

1. Впервые разработана общая теория построения напряженно-деформированного состояния персонифицированного позвоночно-тазового комплекса и его элементов для типовых и специальных нагрузок. (и. 4 паспорта специальности 01.02.08).

2. Построенная теория применена при разработке нового подхода к предоперационному планированию вариантов хирургического лечения последствий заболеваний и повреждений элементов позвоночно-тазового комплекса, основанному на пациенто-ориентированном биомеханическом моделировании его напряженно-деформированного состояния (и. 1, 6 паспорта специальности 01.02.08).

3. Разработаны, апробированы и внедрены в научно-методическую и медицинскую деятельность организаций здравоохранения программные компоненты первой в мире системы предоперационного планирования с биомеханической поддержкой решения врача, (п. 6 паспорта специальности 01.02.08).

4. Установлены новые регрессионные зависимости для неинвазивного расчета модуля Юнга губчатой костной ткани на основе результатов ее сканирования в компьютерном томографе, учитывающие заболевание пациента в соответствии с МКБ-10, способ сканирования в компьютерном томографе, а также математический аппарат для обработки результатов сканирования компьютерного томографа.

5. Разработана методика проведения комплексного натурального эксперимента, включающего этапы сканирования на компьютерном томографе и механических испытаний на одноосной машине (п. 1 паспорта специальности

01.02.08).

6. Впервые установлены обобщающие регрессионные зависимости, связывающие между собой основные геометрические параметры сагиттального баланса позвоночника, и позволяющие на этапе предоперационного планирования прогнозировать теоретические их значения для конкретного пациента.

7. Впервые определена чёткая зависимость угла наклона крестца от поясничного лордоза и тазового индекса, что позволило аналитически зафиксировать эту зависимость в виде оригинальной формулы, предопределяющей угол наклона крестца в зависимости от поясничного лордоза и тазового индекса.

8. Установлена связь между изменением значений параметров сагиттального баланса позвоночника и напряженно-деформированным состоянием его элементов (и. 4 паспорта специальности 01.02.08).

9. Разработаны и апробированы геометрические и биомеханические количественные критерии оценки успешности лечения при биомеханическом моделировании вариантов лечения последствий заболеваний и повреждений позвоночно-тазового комплекса. (п. 6 паспорта специальности 01.02.08).

10. Впервые разработан и обоснован с помощью биомеханического моделирования новый обобщающий геометрический критерий количественной оценки риска разрыва аневризм сосудов головного мозга, (п. 2 паспорта специальности 01.02.08).

11. Разработана и апробирована концепция программной платформы для систем поддержки принятия врачебных решений с биомеханической поддержкой в хирургии. (п. 6 паспорта специальности 01.02.08).

12. Впервые предложены варианты разработки семейства систем предоперационного планирования с биомеханической поддержкой решения врача в хирургии опорно-двигательного аппарата и сердечно-сосудистой системы, в основе которых могут лежать разработанные программные компоненты (п. 6 паспорта специальности 01.02.08).

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

Теоретическая значимость работы состоит разработанной общей теории построения напряженно- деформированного состояния персонифицированного позвоночно-тазового комплекса и его элементов для типовых и специальных

нагрузок, которая применена при разработке нового подхода к предоперационному планированию вариантов хирургического лечения последствий заболеваний и повреждений элементов позвоночно-тазового комплекса

Результаты и выводы диссертационного исследования Иванова Дмитрия Валерьевича использованы при разработке первой в мире системы предоперационного планирования в хирургии позвоночно-тазового комплекса с биомеханической поддержкой SmartPlan Ortho 2D, зарегистрированной в едином реестре российских программ для ЭВМ и БД (приказ №435 от 06.05.2021 Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации).

Биомеханическое моделирование как этап предоперационного планирования, выполняемое с помощью разработанной платформы Аккорд, внедрено в работу регионального центра поддержки принятия врачебных решений на базе отдела инновационных технологий управления в лечении и реабилитации НИИТОН СГМУ.

Получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и баз данных: "Биомеханическое моделирование" для прототипа системы поддержки принятия врачебных решений, режим персональной виртуальной операционной 3D (RU 2021621532 от 15.07.2021); "Механическая версии 3.0" для прототипа системы поддержки принятия врачебных решений, режим персональной виртуальной операционной 3D (RU 2021621544 от 19.07.2021); "Модельная версии 2.0" для прототипа системы поддержки принятия врачебных решений, режим персональной виртуальной операционной 3D (RU 2021621555 от 20.07.2021); "Имплантаты версии 3.0" для прототипа системы поддержки принятия врачебных решений, режим персональной виртуальной операционной 3D (RU 2021621564 от 20.07.2021).

Разработана серия модулей программ ЭВМ: модуль трёхмерного геометрического планирования для прототипа системы поддержки принятия врачебных решений, режим персональной виртуальной операционной 3D (RU 2021661926 от 19.07.2021); модуль трёхмерных твердотельных моделей для прототипа системы поддержки принятия врачебных решений, режим персональной виртуальной операционной 3D (RU 2021661891 от 19.07.2021); трехмерный модуль препроцессор для прототипа системы поддержки принятия врачебных решений, режим персональной виртуальной операционной 3D (RU 2021661787 от 15.07.2021); трехмерный сеточный модуль для прототипа системы поддержки принятия врачебных решений, режим персональной виртуальной операционной 3D (RU 2021662039 от 21.07.2021); трехмерный расчётный модуль для прототипа системы поддержки принятия врачебных

решений, режим персональной виртуальной операционной 3D (RU 2021662014 от 20.07.2021); трехмерный модуль постпроцессор для прототипа системы поддержки принятия врачебных решений, режим персональной виртуальной операционной 3D (RU 2021662132 от 22.07.2021); веб-сервис определения минеральной плотности тканей по данным компьютерной томографии для прототипа системы поддержки принятия врачебных решений, режим персональной виртуальной операционной (RU 2020662251 от 09.10.2020); управляющий модуль "Биомеханическое моделирование" для прототипа системы поддержки принятия врачебных решений, режим персональной виртуальной операционной 3D (RU 2021661879 от 16.07.2021); мобильное приложение для измерения и расчета параметров сагиттального баланса позвоночно-тазового комплекса "СпиноМетр" (RU 2019665169 от 20.11.2019); мобильное приложение "Опросник Освестри с визуально- аналоговой шкалой оценки боли" (RU 2020662810 от 19.10.2020).

Диссертационное исследование также использовано при разработке первой в мире системы предоперационного планирования в хирургии позвоночно-тазового комплекса с биомеханической поддержкой SmartPlan Ortho 2D, зарегистрированной в едином реестре российских программ для ЭВМ и БД (приказ №435 от 06.05.2021 Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации).

Система SmartPlan Ortho 2D включена в клинические рекомендации по лечению дегенеративных заболеваний позвоночника, утвержденные в 2021 году и одобренные научно-практическим Советом Минздрава РФ.

Биомеханическое моделирование как этап предоперационного планирования, выполняемое с помощью разработанной платформы Аккорд, внедрено в работу регионального центра поддержки принятия врачебных решений на базе отдела инновационных технологий управления в лечении и реабилитации НИИТОН СГМУ.

Соответствие специальности «биомеханика»

Отраженные в диссертации Иванова Дмитрия Валерьевича научные положения соответствуют следующим областям исследования и паспорту специальности 01.02.08 «Биомеханика» по пунктам 1, 2, 4, 6: изучение механических свойств и структуры биологических макромолекул, клеток, биологических жидкостей, мягких и твердых тканей (биореология), отдельных органов и систем, изучение движения биологических жидкостей, тепло- и массопереноса, напряжений и деформаций в клетках, тканях и органах, изучение механики опорно-двигательной системы, плавания, полета и наземного движения животных, механики целенаправленных движений человека, движения совокупностей

живых организмов, двигательной активности растений, разработка на основе методов механики средств для исследования свойств и явлений в живых системах, для направленного воздействия на них и их защиты от влияния внешних факторов.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Система SmartPlan Ortho 2D включена в клинические рекомендации по лечению дегенеративных заболеваний позвоночника, утвержденные в 2021 году и одобренные научно-практическим Советом Минздрава РФ.

Результаты диссертационной работы внедрены в учебную деятельность механико-математического факультета и факультета фундаментальной медицины и биомедицинских технологий Саратовского университета, а также в практическую деятельность НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии Саратовского государственного медицинского университета имени В.И. Разумовского, Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова и Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А. М. Гранова.

Личный вклад автора

Автором самостоятельно проанализированы доступные российские и иностранные литературные источники по изучаемым в работе проблемам, сформулированы цель, задачи исследования, разработан и обоснован необходимый для проведения исследования инструментарий.

Автором спланированы и проведены натурные эксперименты по определению механических свойств костных тканей, поставлены и осуществлены численные эксперименты, обработаны результаты натурных и численных экспериментов, в том числе:

- осуществлен поиск и подробный статистический анализ данных научной литературы, посвященной численным и натурным экспериментам, биомеханическим и клиническим исследованиям аневризм сосудов головного мозга,
- построены плоские и пространственные твердотельные модели артерий с аневризмами, элементов ПТК и бедренных костей, а также модели имплантатов, использованные в биомеханическом моделировании,
- поставлены, выполнены и проанализированы численные эксперименты течения крови по сосудам с аневризмами в плоской и пространственной постановках с жесткими и упругими стенками,

- поставлены, выполнены под руководством и при личном участии автора численные биомеханические эксперименты по моделированию элементов ПТК и опорно-двигательного аппарата, в том числе элементов позвоночника, тазобедренных суставов, бедренных костей при дегенеративно-дистрофических повреждениях и травмах,

- осуществлено биомеханическое моделирование компенсаторных механизмов позвоночника, проведен анализ результатов моделирования,

- оцифрованы по данным научной литературы графики зависимостей основных параметров сагиттального баланса, составлен план и проведен анализ результатов построения оригинальных регрессионных зависимостей параметров сагиттального баланса,

- сформулированы требования к платформе Аккорд для систем поддержки принятия врачебных решений, разработаны ее компоненты, реализующие биомеханическое моделирование вариантов лечения последствий заболеваний и повреждений ПТК, а также разработана концепция систем поддержки принятия врачебных решений с биомеханической поддержкой в хирургии ПТК,

- разработаны и апробированы режимы работы платформы Аккорд для систем поддержки принятия врачебных решений,

- разработаны и апробированы геометрические, биомеханические и клинические критерии оценки успешности лечения,

- разработана методика механических экспериментов, подготовлены образцы губчатой костной ткани для натуральных экспериментов, спланированы, проведены и обработаны эксперименты с образцами губчатой костной ткани и образцами с известной минеральной плотностью на компьютерном томографе,

- разработаны программы и методики, выполнены и проанализированы демонстрационные эксперименты,

- организованы и проведены работы по представлению результатов биомеханического моделирования врачам для внедрения их в практику предоперационного планирования,

- спланирована и при личном участии автора проведена апробация платформы Аккорд для систем поддержки принятия врачебных решений на базе НИИТОН СГМУ,

- разработана программа экспериментов по оценке эффективности мобильного приложения «СпиноМетр», собраны и проанализированы результаты экспериментов,

- разработана структура программ для ЭВМ, а также требования к базе данных для ЭВМ.

При личном участии и под руководством автора диссертационного

исследования разработаны и апробированы технологические особенности внедрения биомеханического моделирования в рутинное предоперационное планирование хирургического реконструктивного лечения заболеваний и повреждений ПТК. Автор принимал непосредственное участие в формулировке и обсуждении результатов исследования, написании научных статей и подготовке текстов и презентаций докладов на научных конференциях. Выводы диссертационного исследования сформулированы автором лично.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Автореферат оформлен в соответствии с требованиями ВАК, логично структурирован, содержит аналитическое изложение наиболее важных результатов работы, заключение и список публикаций по теме диссертации. Все разделы автореферата соответствуют материалам диссертации, ее основным положениям, выводам и практическим рекомендациям.

Замечания по диссертационной работе

1. При описании биологических тканей автор использовал упрощенный подход к представлению их свойств как изотропного, однородного и линейно-упругого материала, обосновывая такое представление малым диапазоном физиологических деформаций. Поскольку задачей работы явилась разработка и внедрение принципиально новой биомеханической технологии к оценке метода и способа предстоящей хирургической операции, то такое упрощенное представление биологического материала считаем вполне допустимым.
2. Вызывает сожаление отсутствие в диссертации графиков, построенных для определения модуля Юнга по исходным экспериментальным данным натуральных экспериментов, где по осям вместо напряжения и деформации величина силы и длины, а также отсутствие в диссертации экономического анализа с обоснованием стоимости внедрения биомеханического моделирования при планировании способов и успешности результатов лечения.

Высказанные замечания не влияют на ценность и актуальность диссертационной работы, не снижают позитивного впечатления о диссертационном исследовании Иванова Дмитрия Валерьевича.

Заключение

Диссертационная работа Иванова Дмитрия Валерьевича «Биомеханика как основа систем поддержки принятия врачебных решений в хирургии»,

представленная на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.08 – биомеханика, является самостоятельно выполненной законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной проблемы, направленной на разработку и внедрение систем предоперационного планирования в хирургии опорно-двигательного аппарата и сердечно-сосудистой системы для выбора вариантов успешного лечения, основанных на биомеханическом моделировании.

Работа по своей научной новизне, теоретической и практической значимости, объему исследований и качеству анализа полученных результатов имеет существенное значение для биомеханики и медицины по специальности 01.02.08 – биомеханика и открывает дальнейшие перспективы в направлении разработки и внедрения систем принятия врачебных решений с биомеханической поддержкой.

Работа отвечает критериям раздела II «Положения о присуждении ученых степеней» (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) может быть представлена к защите по специальности 01.02.08 – биомеханика физико-математических наук, а автор диссертации заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.08 – биомеханика.

Отзыв заслушан и утвержден на заседании Ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт иммунологии и физиологии УрО РАН», протокол № 6 от «29» июня 2022 г.

Главный научный сотрудник
лаборатории биологической подвижности
«ИИФ УрО РАН», д.б.н.


Ю.Л. Проценко

Подпись д.б.н. Проценко Ю.Л. заверяю

Главный специалист по кадрам
ФГБУН «ИИФ» УрО РАН



Ю.А. Нахматулина