

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.243.10,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»
МИНОБРНАУКИ РОССИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 15.09.2022 г.

О присуждении **Иванову Дмитрию Валерьевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Биомеханика как основа систем поддержки принятия врачебных решений в хирургии» по специальности 01.02.08 – «Биомеханика» принята к защите 14 июня 2022 года (протокол заседания № 86) диссертационным советом Д 212.243.10, созданным на базе ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» (ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»), Минобрнауки РФ, 410012, Саратов, ул. Астраханская, 83, приказ Минобрнауки России о создании диссертационного совета от 15.02.2013 г. № 75/нк; приказ о возобновлении деятельности совета от 18.11.2020 г. № 679/нк, приказ о частичных изменениях от 19 апреля 2022г. №384/нк.

Соискатель Иванов Дмитрий Валерьевич, 28 февраля 1984 года рождения, в 2006 году окончил механико-математический факультет государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» по специальности «Механика» с присвоением квалификации «Механик». Работает доцентом кафедры математической теории упругости и биомеханики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», Минобрнауки РФ.

Диссертация выполнена на кафедре математической теории упругости и биомеханики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», Минобрнауки РФ.

Научный консультант – **Коссович Леонид Юрьевич**, лауреат государственной премии РФ в области науки и техники, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой математической теории упругости и биомеханики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

Официальные оппоненты:

1. **Ватульян Александр Ованесович**, доктор физико-математических наук (01.02.04), профессор, ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», заведующий кафедрой теории упругости;

2. **Айзикович Сергей Михайлович**, доктор физико-математических наук (01.02.04), профессор, Донской государственной технической университет, заведующий лабораторией функционально-градиентных и композиционных материалов;

3. **Кучумов Алексей Геннадьевич**, доктор физико-математических наук (01.02.08), доцент, ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», доцент кафедры вычислительной математики, механики и биомеханики,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт иммунологии и физиологии Уральского отделения Российской академии наук (г. Екатеринбург) в своем положительном отзыве, подписанном Соловьевой Ольгой Эдуардовной, доктором физико-математических наук (03.00.02), директором института, и составленном Проценко Юрием Леонидовичем, главным научным сотрудником лаборатории биологической подвижности, указала, что диссертация Иванова Дмитрия Валерьевича является 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», а автор диссертации заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.08 – «Биомеханика».

По теме диссертации соискатель имеет 27 статей в рецензируемых журналах (среди них 21 статья в журналах, рекомендованных ВАК), 15 свидетельств о

государственной регистрации программ для ЭВМ и баз данных, 1 коллективная монография, а также 16 статей в сборниках конференций и тезисов докладов.

На диссертацию и автореферат диссертации поступило 10 положительных отзывов: из Института механики сплошных сред УрО РАН (г. Пермь) от академика РАН, д.т.н. профессора Матвеевко В.П. (01.02.04); из ФГБУН Саратовского филиала Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН от д.ф.-м.н., доцента Караваева А.С. (05.13.18); из ФГБУ «РНЦРХТ им. ак. А.М. Гранова» от д.м.н. Майстренко Д.Н. (14.01.17); из МНОЦ МГУ им. М.В. Ломоносова от д.м.н. Филиппова В.В. (14.01.17; 14.01.15); из Воронежского государственного технического университета от д.ф.-м.н. Шитиковой М.В. (01.02.04); из МГУ имени М.В. Ломоносова от д.ф.-м.н. Шешенина С.В. (01.02.04); из ФГБОУ ВО «СамГМУ» Минздрава России от Ларцева Ю.В. (14.00.22); из Белорусского государственного университета от Босякова С.М. (01.02.08) и Михасева Г.И. (01.02.04); из НИИ Скорой помощи им. И. И. Джанелидзе от Беленького И.Г. (14.01.15, 14.02.03); из Самарского государственного технического университета от Радченко В.П. (01.02.04).

В отзывах имеются вопросы и замечания: а) неаккуратность приведенных графических материалов в тексте автореферата, зачастую на графиках отсутствуют подписи по осям, приведено необоснованное количество значащих цифр, на изображениях отсутствуют какие-либо масштабные коэффициенты, не везде приведены доверительные интервалы; б) низкое разрешение и мелкий шрифт подписей и схем и графиков некоторых рисунков, некоторое количество опечаток и пунктуационных ошибок, использование в ряде формул для операции умножения символа «*», который традиционное используется в таком качестве в программировании, однако при записи формул обычно обозначает операцию свертки; в) замечание касается выбора гипотезы «сплошности» костной ткани (стр. 15 автореферата). Во-первых, материал костной ткани в действительности является сложным биокompозитным неизотропным материалом. Во-вторых, в определённых диапазонах изменения напряжений он действительно проявляет линейно-упругие свойства. Но, кроме этого, этот материал проявляет и реологические свойства (вязкоупругость, ползучесть), что показано экспериментально в различных научных школах, а также подвержен эффектам «старения» (изменения того же модуля Юнга от возраста). И если для «мгновенной» (здесь и сейчас) идентификации значения модуля Юнга, достаточно для принятия оперативных решений в хирургии, то для прогнозирования индивидуального поведения костной ткани конкретного индивида нужна «история» процесса. Особенно важно учитывать реологию при использовании различного назначения имплантатов, поскольку в этом случае происходит существенное перераспределение напряжений в области костной ткани, прилегающей

к имплантату, с течением времени; г) хотелось бы уточнить, какие методики использовал автор в экспериментальных исследованиях на одноосное деформирование образцов из костной ткани? Соответствуют ли они существующим ГОСТам, аналогичным для испытания, например, металлов (и существуют ли они вообще для такого рода специфических материалов)? Можно также указать на достаточно объёмные для физико-математических наук диссертацию и автореферат; д) интерес представляют контактные граничные условия, особенно условия с проскальзыванием. Здесь можно было бы более детально описать, как целесообразно выбирать коэффициент трения. С точки зрения механики интересно экспериментальное определение модуля Юнга для фрагментов головок бедренных костей в опытах на сжатие. Поскольку образцы достаточно короткие, здесь также можно было бы описать, как оценивалось влияние трения между образцов и элементом испытательной машины. Интересно отметить достаточно медленную сходимость решения твердотельной задачи, приведенную в автореферате. Видимо, это связано со сложной формой области, в которой решалась задача.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой квалификацией в области биомеханики, позволяющей оценить научную и практическую значимость диссертационной работы, широкой известностью и признанными достижениями среди специалистов. Выбор официальных оппонентов объясняется, кроме того, отсутствием совместных печатных работ с соискателем. Выбор ведущей организации обосновывается наличием в коллективе большого числа известных специалистов, работающих в направлениях, связанных с тематикой диссертации, а также отсутствием договорных отношений с соискателем. Выбор официальных оппонентов и ведущей организации удовлетворяет критериям, сформулированным в пп. 22 и 24 действующего «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- впервые в мире **предложено** использовать биомеханическое моделирование при рутинном предоперационном планировании хирургического реконструктивного лечения последствий заболеваний и повреждений позвоночно-тазового комплекса (ПТК), а также патологий сердечно-сосудистой системы.

- **разработаны и апробированы** компоненты программной платформы Аккорд, являющиеся также модулями (реализующими этап биомеханического моделирования) созданной на ее базе первой в мире отечественной системы предоперационного планирования хирургического лечения последствий заболеваний и повреждений позвоночника SmartPlan Ortho 2D (СППВП SmartPlan Ortho 2D).

- в основе программной платформы Аккорд и СППВР SmartPlan Ortho 2D лежат следующие разработки: новые обобщающие регрессионные зависимости, связывающие между собой основные геометрические (угловые) параметры сагиттального баланса; методика расчета модуля Юнга костной ткани по данным компьютерной томографии (КТ) конкретного пациента. **Впервые** были **получены** регрессионные зависимости, связывающие числа Хаунсфилда губчатой костной ткани и ее модуль Юнга при различных заболеваниях; геометрические, биомеханические и клинические критерии оценки успешности хирургического реконструктивного лечения, (необходимые для количественной оценки и обоснования успешности вариантов лечения в рамках предоперационного планирования для конкретного пациента).

- **разработаны и апробированы** режимы работы («Региональный центр», «Персональная виртуальная операционная», «Федеральный центр») программной платформы Аккорд и разработанной на ее базе системы SmartPlan Ortho 2D, реализующие предоперационное планирование с биомеханической поддержкой решения врача для всего спектра клинических случаев заболеваний и повреждений ПТК.

- **показано**, что в рамках рутинного предоперационного планирования последствий заболеваний и повреждений ПТК биомеханическое моделирование может быть успешно и эффективно использовано как хирургом самостоятельно на автоматизированном рабочем месте врача (режим «Персональная виртуальная операционная»), так и в кооперации с инженером-биомехаником с использованием мощных персональных компьютеров (режим «Региональный центр»).

- **разработана, апробирована** при предоперационном планировании хирургического лечения дегенеративно-дистрофических заболеваний и травматических повреждений позвоночника 25 пациентов НИИТОН СГМУ и **реализована** в программной платформе Аккорд и системе SmartPlan Ortho 2D, методика предоперационного планирования, основанная на биомеханическом моделировании вариантов лечения.

- **проведены** три демонстрационных эксперимента, показывающие, что программная платформа Аккорд в режимах «Региональный центр» и «Персональная виртуальная операционная» позволяет проводить полный цикл предоперационного планирования с биомеханической поддержкой решения врача и выбирать успешный вариант лечения. Результаты планирования согласуются со сложившейся клинической практикой лечения рассмотренных заболеваний.

- **разработано, апробировано и внедрено** в программную платформу Аккорд и систему SmartPlan Ortho 2D мобильное приложение «СпиноМетр», основанное на

новых оригинальных регрессионных зависимостях, связывающих между собой параметры сагиттального баланса.

- с помощью биомеханического моделирования **показано**, что изменения основных параметров сагиттального баланса существенно меняют напряженно-деформированное состояние позвоночника и определяют области, подверженные механическому повреждению и развитию дегенеративно-дистрофических заболеваний.

- **разработана** структура базы данных «Механическая» (компонента платформы Аккорд), предназначенной для хранения и использования в биомеханическом моделировании механических свойств элементов ПТК и имплантатов. База данных также содержит механические свойства костей, межпозвонковых дисков, кортикальной кости элементов ПТК, связок, фасеточных суставов, хрящей и имплантатов.

- **разработаны** структура и функции «Управляющего модуля Биомеханическое моделирование», являющегося центральной компонентой программной платформы Аккорд и системы SmartPlan Ortho 2D. С помощью данного модуля врач может самостоятельно ставить и решать задачу биомеханики для элементов ПТК и имплантатов при предоперационном планировании. Модуль обеспечивает полный цикл предоперационного планирования с биомеханической поддержкой, включая автоматизированное создание персонифицированной твердотельной модели сегмента ПТК, виртуальную установку имплантатов, неинвазивное измерение модуля Юнга губчатой костной ткани по данным КТ, постановку и решение задачи биомеханики (расчет НДС системы сегмент ПТК – имплантаты под действием типовых нагрузок силами и/или моментами), анализ результатов моделирования (визуализация полей перемещений, эквивалентных деформаций и напряжений по Мизесу).

- **определены** пороговые значения геометрических параметров аневризм сосудов головного мозга, позволяющие определять аневризмы, склонные к разрыву. С помощью биомеханического моделирования было **подтверждено**, что параметр AR (aspectratio) пригоден для выявления склонных к разрыву аневризм. **Показано**, что биомеханическое моделирование может эффективно применяться на этапе предоперационного планирования как количественный метод оценки склонности к разрыву аневризмы сосудов головного мозга.

- **разработана** концепция систем поддержки принятия врачебных решений (СППВР) с биомеханической поддержкой решения врача в хирургии: сформулированы варианты реализации способа предоперационного планирования «планирование-моделирование-прогноз» в виде перспективных СППВР с биомеханической поддержкой в хирургии ПТК и сердечно-сосудистой системы.

- **показано**, что платформа Аккорд может являться базой для разработки СППВР в хирургии с биомеханической поддержкой. Эта возможность реализуется за счет разработанных и апробированных фундаментальных основ, касающихся автоматизации построения твердотельных моделей биологических объектов на основе данных КТ, автоматизированного расчета механических свойств по данным КТ, разработки количественных критериев оценки успешности вариантов хирургического лечения, универсальной структуры баз данных, входящих в платформу.

- 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.

Теоретическая значимость исследования обоснована развитием методов неинвазивного определения модуля упругости костных тканей по данным КТ, **новыми** обобщающими регрессионными **зависимостями**, связывающими между собой основные геометрические параметры сагиттального баланса позвоночника, а также введением **нового понятия** «критерий оценки успешности лечения» и разработкой трех групп таких критериев (геометрические, биомеханические и клинические).

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- результаты диссертации легли в основу разработки программной платформы Аккорд и использованы при разработке **первой в мире** системы предоперационного планирования в хирургии ПТК с биомеханической поддержкой SmartPlan Ortho 2D, зарегистрированной в едином реестре российских программ для ЭВМ и БД (приказ №435 от 06.05.2021 Минцифры РФ); 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 работы внедрены в учебную деятельность механико-математического факультета и факультета фундаментальной медицины и медицинских технологий Саратовского университета, а также в практическую деятельность НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии Саратовского государственного медицинского университета имени В.И. Разумовского и Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- корректность математических постановок задач и применения численных методов;

- количественное и качественное соответствие результатов биомеханического моделирования и натуральных экспериментов результатам других авторов;
- доклиническая апробация результатов, полученных в диссертации, их сравнение с экспериментальными данными, показали их клиническую состоятельность.

Личный вклад соискателя состоит в том, что им 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 натуральных 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 и интрамедуллярных стержней [статьи 3 и 25 из автореферата],

- 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 и 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 [статьи 5, 6, 8, 11, 19, 21, 27 и 1, 4, 6, 9, 13, 20, 22, 24, 26 из автореферата]

- оцифрованы по данным научной литературы графики зависимостей основных параметров сагиттального баланса, составлен план и проведен анализ и интерпретация результатов построения оригинальных регрессионных зависимостей параметров сагиттального баланса [статья 17 из автореферата],

- сформулированы требования к платформе Аккорд для СППВР, разработаны ее компоненты, а также разработана концепция СППВР с биомеханической поддержкой в хирургии ПТК, разработаны и апробированы режимы работы платформы Аккорд [статьи 14, 15 из автореферата],

- разработаны и апробированы геометрические, биомеханические и клинические критерии оценки успешности лечения[статья 16 из автореферата],
- 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 КТ[статьи 10, 12, 23 из автореферата],
- 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 проведена апробация платформы Аккорд на базе НИИТОН СГМУ[статья 14 из автореферата],
- разработана программа экспериментов по оценке эффективности мобильного приложения «СпиноМетр», собраны и проанализированы результаты экспериментов[статья 15 из автореферата],
- разработана структура программ для ЭВМ, требования к базе данных для ЭВМ, а также написана часть их программного кода[статьи 2, 15 из автореферата и РИДы 1-15 из автореферата].

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.

Соавторы (медицинские работники) Фомкина О.А., Барабаш А.П., Барабаш Ю.А., Богатов В.Б., Лычагин А.В., Кудяшев А.Л., Хоминец В.В., Теремшонок А.В., Коростелев К.Е., Нагорный Е.Б., Кажанов И.В., Микитюк С.И., Петров А.В., Титова Ю.И., Ульянов В.Ю., Оленко Е.С., Крутько А.В. выполняли поиск пациентов для исследования, обеспечивали предоставление деперсонализированных данных пациентов, участвовали в поиске научной литературы для обзора, ставили медицинскую задачу, принимали участие в обсуждении и анализе результатов с позиций медицины и их соответствия клиническим данным. Соавтор Доль А.В. принимал участие в поиске и анализе научной литературы для обзоров, участвовал в проведении натуральных экспериментов и экспериментов на КТ с образцами губчатой кости, в создании твердотельных моделей исследуемых объектов опорно-двигательного аппарата и сердечно-сосудистой системы, в выполнении численных

расчетов методом конечных элементов, представлении результатов моделирования, а также участвовал в написании текстов статей. Соавтор Доль Е.С. принимала участие в выполнении численного моделирования, представлении и анализе его результатов, ответственна за написание текста совместной статьи. Соавтор Кириллова И.В. выполняла поиск и анализ научной литературы, а также участвовала в обсуждении результатов исследований и написании текстов статей. Соавтор Коссович Л.Ю. (научный консультант по диссертации) обеспечивал взаимодействие с коллегами из медицинских учреждений, участвовал в постановке задач исследований, в обсуждении и интерпретации их результатов. Соавтор Бессонов Л.В. обеспечивал адаптацию результатов научных исследований для их реализации в виде программных продуктов и участвовал в статистической обработке результатов экспериментов. Соавторы Бескровный А.С., Сидоренко Д.А., Золотов В.С. реализовывали в виде программных продуктов (программы для ЭВМ и базы данных) результаты научных работок. Фалькович А.С., Харламов А.В., Дмитриев П.О. участвовали в выполнении статического анализа и построении регрессионных зависимостей. Соавторы Донник А.М. и Полиенко А.В. участвовали в извлечении числовых данных из научных статей. Соавтор Голядкина А.А. участвовала в выполнении механических экспериментов и в обработке их результатов. Соавторы Петрайкин А.В., Владзимирский А.В., Сергунова К.А., Ахмад Е.С., Морозов С.П. обеспечивали адаптацию фантома при исследованиях на КТ, а также участвовали в обсуждении и анализе результатов экспериментов наКТ.

Следует отметить, что у соискателя имеет 2 моноавторских статьи.

Результаты диссертационной работы рекомендуется использовать в научно-исследовательских организациях, занимающихся биомеханикой костно-мышечного аппарата (НИИ Механики МГУ, Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН), в учебном процессе вузов, ведущих подготовку специалистов в области биомеханики (СГУ имени Н.Г. Чернышевского, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Южный федеральный университет и Санкт-Петербургский государственный университет), а также в практической деятельности травматолого-ортопедических клиник (НМИЦ ТО имени Н.Н. Приорова, НИИТОН СГМУ, НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова).

Содержание диссертации удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.08 – Биомеханика.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие замечания: 1) о получении основных соотношений для решаемых задач, 2) об обзоре конкурентных научных групп и анализе их решений, 3) об объеме рефересной базы исследований, 4) об программном обеспечении, которое использовалось при моделировании в ходе решения задач в работе, 5) о выбор головки бедренной кости для экспериментов при определении механических свойств и выполнялись ли эти эксперименты в привязке только к эндопротезированию, 6) о том, что общего при моделировании кости и аневризмы, 7) об обосновании модели упругого тела в работе.

Соискатель Иванов Д.В. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и дал необходимые пояснения: 1), пояснил, что соотношения брались как данность, как основные соотношения при решении задач механики, рассматриваемого класса 2) пояснил, что ссылки на основных конкурентов имеются в тексте диссертации, привел основных конкурентов и указал, что в его работе впервые сделана попытка внедрить биомехнику в практику рутинного планирования, все конкуренты решают частные задачи и на поток биомехнику как инструмент планирования никто еще ставить не пробовал. 3) ответил, что приложение «Спинометр» апробировали на 52 пациентах, механические эксперименты были проведены на 150 головках бедренных костей, апробация биомеханического моделирования была выполнена на 28 пациентах, а также 3 пациента участвовали в демонстрационных экспериментах, 4) пояснил, что в режиме «региональный центр» можно использовать любое платное программное обеспечение для расчетов, в режиме «персональная виртуальная операционная» используется, разработанный в ходе подготовки докторской диссертации, продукт, в который внедрены пакеты NGsolve и Netgen, Ansys использовали как эталон при оценке точности расчетов в разработанной платформе Аккорд, 5) уточнил, что головки бедренной кости брали, потому, что именно они являются доступным материалом для исследований, эксперименты проводились без привязки к эндопротезированию, 6) пояснил, что сформулирован новый термин «критерий успешности», данные критерии разработаны и для опорно-двигательного аппарата, и для аневризм, подход к моделированию в рамках планирования един и может быть применен к обоим объектам, 7) объяснил, что для моделирования состояния пациента «здесь и сейчас» выбранной модели упругого тела достаточно, прогнозирование состояния пациента в работе предлагается осуществлять средствами математической статистики.

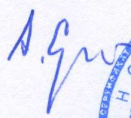
В диссертации Иванова Д.В. решена глобальная научная проблема биомеханики, связанная с созданием биомеханических основ для СППВР в хирургии опорно-двигательного аппарата и сердечно-сосудистой системы и их внедрением в рутинную практику предоперационной диагностики и планирования. Полученные Ивановым

Дмитрием Валерьевичем результаты имеют существенное значение как для практического здравоохранения, так и для социально-экономической сферы.

На заседании 15 сентября 2022 года диссертационный совет принял решение присудить Иванову Д.В. ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 01.02.08 – Биомеханика.

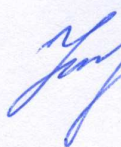
При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек (11 человек находились в месте проведения заседания, 4 человек участвовали в заседании совета в удаленном интерактивном режиме), из них 6 докторов наук по специальности 01.02.08 – Биомеханика, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета: проголосовал: за – **15** , против – **НЕТ**, воздержавшихся – **НЕТ**.

Зам. председателя
диссертационного совета



Скрипаль Анатолий Владимирович

Ученый секретарь
диссертационного совета



Крылова Екатерина Юрьевна



15 сентября 2022 г.