

УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора по науке и инновациям
ФГАОУ ВО «Пермского национального
исследовательского политехнического
университета»,

доктор физико-математических наук, доцент

Швейкин Алексей Игоревич

«24» июня 2024 г.

М.П.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»

по диссертации Хорошева Дениса Владимировича «Биомеханическое моделирование гиперрецепции в капсуле фасеточного сустава позвоночно-двигательного сегмента L4–L5» на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.10 – «Биомеханика и биоинженерия», выполненной на кафедре вычислительной математики, механики и биомеханики ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Соискатель Хорошев Денис Владимирович в 2017 году окончил магистратуру в ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» по направлению 15.04.03 «Прикладная механика» с присуждением квалификации «Магистр» (диплом № 105924 3148015 от 04 июля 2017 г.).

ОСНОВ
ДИССЕРТАЦИЯ
ПО
УТВЕРЖДЕНИЮ

В период с 2018 по 2022 г. соискатель обучался в очной аспирантуре в ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» по направлению 01.06.01 Математика и механика направленности «Биомеханика». Диплом об окончании аспирантуры № 105924 328221 выданный 13 июля 2022 года.

С 2018 года по настоящее время соискатель Хорошев Денис Владимирович работает в ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» на кафедре вычислительной математики, механики и биомеханики, в настоящее время занимая должность младшего научного сотрудника.

Научный руководитель – Ильялов Олег Рустамович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры вычислительной математики, механики и биомеханики ПНИПУ, утверждённый на Учёном совете ПНИПУ (протокол № 6 от «29» февраля 2024 года), представил положительный отзыв о диссертации и соискателе.

Тема диссертационной работы утверждена на Учёном совете ПНИПУ (протокол № 6 от «29» февраля 2024 года).

Диссертационное исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-31-90055 «Персонализированное биомеханическое моделирование поведения сегментов поясничного отдела позвоночника».

Научную экспертизу диссертация проходила на заседании кафедры вычислительной математики, механики и биомеханики ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». На заседании кафедры присутствовали: заведующий кафедрой, д.т.н., профессор, Столбов В.Ю, профессор, д.ф.–м.н., доцент, Акулич Ю.В., профессор, д.т.н., профессор, Селянинов А.А., профессор, д.ф.–м.н., доцент, Кучумов А.Г., профессор, д.т.н., доцент, Федосеев С.А., доцент, к.т.н., доцент, Ильялов О.Р., доцент, к.т.н., доцент, Онискив В.Д., доцент, к.ф.–м.н., Шабрыкина Н.С., доцент, к.ф.–м.н., Чудинов К.М., доцент, к.ф.–м.н., доцент, Осипенко М.А., доцент, к.ф.–

м.н., Баландин А.С., доцент, к.ф.–м.н., доцент, Шмурак М.И., доцент, к.ф.–м.н., Лохов В.А., доцент, к.ф.–м.н., Никитин В.Н., доцент, к.ф.–м.н., доцент, Сотин А.В., доцент, к.м.н., доцент, Савкин В.В., доцент, к.ф.–м.н., Сабатулина Т.Л., доцент, к.ф.–м.н., Клюев А.В.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Актуальность и направленность. Диссертационная работа Хорошева Д.В. посвящена одной из актуальных проблем современной неврологии – болям в области спины, обусловленным заболеваниями позвоночника. Одной из частых причин боли в поясничном отделе является фасеточный синдром. Однако вследствие близкого расположения элементов позвоночно-двигательного сегмента отличить его от грыжи межпозвонкового диска достаточно проблематично.

Данной теме в медицинской литературе уделяется повышенное внимание и разобрано много клинических случаев. Существующие на сегодня биомеханические модели позвоночно-двигательного сегмента не учитывают наличие фасеточных суставов и не позволяют адекватно моделировать фасеточный синдром. Поэтому исследования в области конечно-элементного моделирования фасеточной капсулы являются привлекательным и перспективным направлением для ученых из многих стран.

Личный вклад автора. Автором лично построены все конечно-элементные модели для решения вышеупомянутых задач, лично разработана математическая постановка задачи с критерием возникновения гиперрецепции и проведена численная реализация модели. Автором диссертации:

1) выполнен литературный обзор конечно–элементных моделей позвоночно–двигательных сегментов;

2) проведено измерение и статистическая обработка геометрических параметров для цифровой модели позвоночно-двигательного сегмента L4–L5 на анонимизированных данных компьютерной томографии пациентов;

3) разработана «Методика оцифровки персонализированных данных компьютерной томографии поясничного отдела в конечно-элементную геометрическую модель позвоночно-двигательного сегмента L4–L5»;

4) выполнено построение объемной геометрической модели позвоночно-двигательного сегмента L4–L5;

5) предложена биомеханическая модель сегмента L4–L5 без патологий и с учетом дегенеративных (возрастных) аспектов в заднем опорном комплексе;

6) решены задачи по биомеханическому моделированию позвоночно-двигательного сегмента L4–L5 без патологий и с учетом дегенеративных (возрастных) аспектов в заднем опорном комплексе;

7) разработан «Способ диагностики состояния фасеточных суставов поясницы человека на уровне сегмента L4–L5».

Степень достоверности результатов исследований, проведенных Хорошевым Д.В., обусловлена корректной математической постановкой задачи, сравнением результатов с экспериментальными исследованиями и результатами численного моделирования других авторов, а также *апробацией результатов* работы на всероссийских и международных конференциях по биомеханике, механике и медицине:

– Всероссийский симпозиум «Биомеханика – 2024» (Москва, 2024);

– Всероссийская конференция молодых ученых с международным участием «Фундаментальная и прикладная медицина “Biomeeting”» (Саратов, 2022);

– XVI Всероссийская школа «Математическое моделирование и биомеханика в современном университете» (пос. Дивноморское, 2022; 2023; 2024);

– XXI Международная конференция «Современные проблемы механики сплошной среды» (Ростов-на-Дону, 2023);

– XXV, XXVI, XXVII Российские научно-практические конференции с международным участием «Медицина боли: от понимания к действию» (Казань, 2019; Владивосток, 2020; 2021);

– Всероссийские научно-практические конференции молодых ученых с международным участием «Математика и междисциплинарные исследования» (Пермь, 2019; 2020; 2021);

– XXVII, XXX, XXXII Всероссийские школы-конференции молодых ученых и студентов «Математическое моделирование в естественных науках» (Пермь, 2018; 2021; 2023);

– Международная конференция «Функциональные материалы: прогнозирование свойств и технологии изготовления» (ICFM-2019) (Пермь, 2019);

– VIII съезд Научного медицинского общества анатомов, гистологов и эмбриологов (Воронеж, 2019);

– XXVIII Всероссийская научно-практическая конференция «Поленовские чтения» (Санкт-Петербург, 2019);

– XII, XIII Всероссийские съезды по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики (Уфа, 2019; Санкт-Петербург, 2023);

– Международный Евро-Азиатский Конгресс по вопросам биоэтики, молекулярной и персонализированной медицины «Biomed-inn-2019» (Пермь, 2019);

– XIV Всероссийская конференция с международным участием «Биомеханика-2020» (Пермь, 2020);

– IX Всероссийский съезд нейрохирургов (Москва, 2021);

– International Symposium Non-Equilibrium Processes in Continuous Media (Пермь, 2021).

Научная новизна состоит в следующем:

1. Впервые определены значения физиологической нормы геометрических параметров фасеточных суставов позвоночно-двигательного сегмента L4–L5 на снимках компьютерной томографии при отсутствии патологий в капсулах суставов для трех возрастных групп.

2. Представлена новая биомеханическая модель позвоночно-двигательного сегмента L4–L5 с учетом подвижности фасеточных суставов, синовиальной жидкости и критерия появления гиперрецепции.
3. Представлена физиологически ориентированная постановка биомеханической задачи определения напряженно-деформированного состояния в позвоночно-двигательном сегменте L4–L5 с учетом подвижных фасеточных суставов и критерия появления гиперрецепции.
4. Впервые проведено биомеханическое моделирование позвоночно-двигательного сегмента L4–L5 с учетом двигательной активности фасеточных суставов, которые в совокупности приводят к поясничной гиперрецепции.
5. Впервые разработан «Способ диагностики состояния фасеточных суставов поясницы человека на уровне сегмента L4–L5» для объективизации практического опыта специалистов из области медицины.

Теоретическая и практическая значимость. Диапазон базовых значений геометрических параметров фасеточных суставов для каждой возрастной группы, предложенный в «Способе диагностики состояния фасеточных суставов поясницы человека на уровне сегмента L4–L5», является дополнительным критерием количественной оценки подвывиха фасеточных суставов. Построенная биомеханическая трехмерная модель позвоночно-двигательного сегмента L4–L5, учитывающая подвижность фасеточных суставов и синовиальную жидкость, позволяет прогнозировать возникновение гиперрецепции в пояснице и описывает поведение фасеточных суставов в норме и в патологии с учетом дегенеративных (возрастных) аспектов в заднем опорном комплексе. Это, в свою очередь, позволило сформулировать дифференцированную тактику ведения пациентов с дегенеративными заболеваниями на поясничном уровне, что может улучшить их качество жизни.

Диссертационное исследование *соответствует паспорту специальности* 1.1.10 – «Биомеханика и биоинженерия» по отрасли наук – «Физико-математические науки»: 1 – «Изучение физико-механических свойств и

структуры биологических макромолекул, клеток, биологических жидкостей, мягких и твердых тканей, отдельных органов и систем», 2 – «Изучение закономерностей движения биологических жидкостей, тепло- и массопереноса, напряжений и деформаций в клетках, тканях и органах», 4 – «Изучение механики и характеристик движения опорно-двигательной системы, плавания, полета и наземного движения животных, механики целенаправленных движений человека, движения совокупностей живых организмов, двигательной активности растений», 6 – «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».

Результаты диссертационной работы внедрены в практическую деятельность нейрохирургического отделения ГБУЗ ПК «ГКБ им. С.Н. Гринберга». (г. Пермь) (акт внедрения от 08.02.2024) и в учебную деятельность кафедры «Нормальной, топографической и клинической анатомии, оперативной хирургии» Пермского государственного медицинского университета имени академика Е.А. Вагнера (г. Пермь) (акт внедрения от 25.01.2024).

Полнота изложения материалов диссертации отмечается в работах, опубликованных соискателем. Основные положения работы отражены в 25 печатных работах, 4 в изданиях, рекомендованных ВАК.

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Хорошев, Д.В.** Влияние фасеточных суставов на биомеханическое поведение позвоночно-двигательного сегмента L4–L5: трехмерная модель межпозвоночного диска с идеальной жидкостью / Д.В. Хорошев // Российский журнал биомеханики. – 2024. – Т. 28, № 2. – С. 145–156. (ВАК, 1.1.10).

Данная работа выполнена автором диссертации лично без соавторов.

2. **Хорошев, Д.В.** Моделирование поясничного позвоночно-двигательного сегмента человека: анализ научных исследований / Д.В. Хорошев, Н.Е. Устюжанцев, О.Р. Ильялов, Ю.И. Няшин // Российский журнал биомеханики. – 2021. – Т. 25, № 1. – С. 32–47. (ВАК, 1.1.10).

В данной работе диссертант написал разделы «Обсуждение» и «Заключение» (литературный обзор конечно–элементных моделей позвоночно–двигательных сегментов за период с 2003 по 2019 г.). «Введение» (описание анатомии позвоночно–двигательного сегмента, постановка проблемы) подготовили Ильялов О.Р., Няшин Ю.И. и Устюжанцев Н.Е.

3. **Khoroshev, D.V.** Biomechanical modelling of the intervertebral disc of the human lumbar spine – the problem current state / D.V. Khoroshev, O.R. Ilyalov, N.E. Ustuyzhantsev, Y.I. Nyashin // Russian Journal of Biomechanics. – 2019. – Vol. 23, № 3. – P. 351–361. (Scopus, Q3).

В настоящей работе диссертант выполнил литературный обзор конечно–элементных моделей межпозвонковых дисков поясничного отдела за период с 2005 по 2018 г. Редакционной версткой текста занимался Ильялов О.Р. Структурировал текст литературного обзора Няшин Ю.И. Строение позвоночно–двигательного сегмента написал Устюжанцев Н.Е.

4. **Khoroshev, D.V.** Personalized geometry digitization technique of the vertebromotor segment L4–L5 in vivo / D.V. Khoroshev, O.R. Ilyalov, N.E. Ustuyzhantsev, Y.I. Nyashin // Russian Journal of Biomechanics. – 2019. – Vol. 23, № 4. – P. 547–554. (Scopus, Q4).

В настоящей работе диссертант разработал «Методику оцифровки персонализированных данных компьютерной томографии поясничного отдела в конечно–элементную геометрическую модель позвоночно–двигательного сегмента L4–L5». Диссертантом и Устюжанцевым Н.Е. проведено измерение и статистическая обработка геометрических параметров для цифровых моделей позвоночно–двигательных сегментов L4–L5 на анонимизированных данных компьютерной томографии пациентов. Няшин Ю.И. и Ильялов О.Р. написали литературный обзор.

Публикации цитируемые в наукометрических системах Scopus:

5. **Khoroshev, D.V.** Biomechanical modelling of the vertebromotor segment of the human lumbar spine the problem current state / D.V. Khoroshev, O.R. Ilyalov, N.E. Ustuyzhantsev, Y.I. Nyashin // Series on Biomechanics. – 2021. – Vol. 35, № 1. – P. 31–44. (Scopus, Q4).

В настоящей работе диссертант выполнил литературный обзор конечно–элементных моделей позвоночно–двигательных сегментов за период с 2005 по 2020 г. Выводы оформлены диссертантом и Няшиным Ю.И. Редакционной

версткой текста занимались Няшин Ю.И. и Ильялов О.Р. Анатомическое строение позвоночно–двигательного сегмента представил Устюжанцев Н.Е.

Публикации в сборниках трудов и тезисы конференций:

6. **Хорошев, Д.В.** Биомеханическое моделирование поясничного позвоночно-двигательного сегмента человека: фасеточный сустав / Д.В. Хорошев, О.Р. Ильялов, Н.Е. Устюжанцев // Математика и междисциплинарные исследования – 2021: Материалы всерос. научно-практич. конф. молодых ученых с междунар. уч., 18–20 октября 2021. – Пермь, 2021. – С. 110–113.

В данной работе диссертант выполнил построение тестовой конечно-элементной модели фасеточного сустава, учитывающей наличие синовиальной жидкости, и представил описание постановки задачи (сочетание упругой, пороупругой задач и задачи об идеальной жидкости). Введение оформлено Ильяловым О.Р. Возникновение подвывиха фасеточных суставов расписано Устюжанцевым Н.Е.

7. **Хорошев, Д.В.** Исследование влияния проницаемости фиброзного кольца на результаты расчета НДС межпозвоночного диска / Д.В. Хорошев, О.Р. Ильялов // Математическое моделирование в естественных науках: Материалы XXVII всерос. школы-конф. молодых ученых и студентов, 3–6 октября 2018. – Пермь, 2018. – Т. 1. – С. 395–398.

В данной работе диссертант выполнил расчет напряженно-деформированного состояния межпозвоночного диска L4–L5 (двухмерная модель в сагиттальной плоскости) и провел анализ влияния проницаемости фиброзного кольца. Постановка проблемы задачи описана Ильяловым О.Р.

8. **Хорошев, Д.В.** Конечно-элементное моделирование позвоночно-двигательного сегмента L4–L5 / Д.В. Хорошев, О.Р. Ильялов, Н.Е. Устюжанцев // XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики: сборник трудов, 19–24 августа 2019. – Уфа, 2019. – Т. 4. – С. 224–225.

В данной работе диссертант выполнил построение 3-х мерной геометрической модели позвоночно-двигательного сегмента L4–L5. Расчет напряженно-деформированного состояния упругого межпозвоночного диска L4–L5 выполнил Хорошев Д.В. Постановка проблемы задачи оформлена Ильяловым О.Р. Анализ условий возникновения подвывиха фасеточных суставов проведен Устюжанцевым Н.Е.

9. **Хорошев, Д.В.** Объемное конечно-элементное моделирование межпозвоночного диска L4–L5 / Д.В. Хорошев, О.Р. Ильялов // Математика

и междисциплинарные исследования – 2019: Материалы всерос. научно-практич. конф. молодых ученых с междунар. уч., 15–18 мая 2019. – Пермь, 2019. – С. 394–398.

Диссертант выполнил построение и произвел расчет напряженно-деформированного состояния объемной упругой конечно-элементной модели межпозвонкового диска L4–L5 в программном пакете Ansys. Постановка проблемы задачи оформлена Ильяловым О.Р.

10. **Khoroshev, D.V.** Finite-element modelling of a vertebromotor segment L4–L5 / D.V. Khoroshev, N.E. Ustyuzhantsev, O.R. Ilyalov // Функциональные материалы: прогнозирование свойств и технологии изготовления: материалы междунар. научно-технич. конф., 15–18 апреля 2019. – Пермь: изд-во ПНИПУ, 2019. – С. 37.

В настоящей работе диссертант выполнил построение и произвел расчет напряженно-деформированного состояния объемной упругой конечно-элементной модели межпозвонкового диска L4–L5 в программном пакете Ansys. Постановка проблемы задачи оформлена Ильяловым О.Р. Введение написано Устюжанцевым Н.Е.

11. **Khoroshev, D.V.** Modelling of a vertebromotor segment L4–L5 / D.V. Khoroshev, O.R. Ilyalov, N.E. Ustyuzhantsev // International Symposium Non-Equilibrium Processes in Continuous Media: Program and book of abstracts, September, 16–18 2021. – Perm, 2021. – P. 63.

В настоящей работе диссертант выполнил построение и расчет напряженно-деформированного состояния пороупругой конечно-элементной модели межпозвонкового диска L4–L5. Постановка проблемы задачи оформлена Ильяловым О.Р. Анализ условий возникновения подвывиха фасеточных суставов проведен Устюжанцевым Н.Е.

12. **Хорошев, Д.В.** Влияние возрастных дегенеративных изменений позвоночника на размеры в позвоночно-двигательном сегменте L4–L5 / Д.В. Хорошев, О.Р. Ильялов, Н.Е. Устюжанцев // XVIII Всерос. научно-практич. конф. Поленовские чтения: Сборник материалов, 15–17 апреля 2019. – Санкт-Петербург, 2019. – С. 108.

Диссертантом и Устюжанцевым Н.Е. проведено измерение и статистическая обработка геометрических параметров для цифровых моделей межпозвонковых дисков L4–L5 и позвонков L4 и L5 на анонимизированных данных компьютерной томографии пациентов. Редакционной версткой текста занимался Ильялов О.Р.

13. **Хорошев, Д.В.** Определение нестабильных размеров в позвоночно-двигательном сегменте L_{IV}-L_V поясничного отдела позвоночника / Д.В. Хорошев, Н.Е. Устюжанцев, О.Р. Ильялов // VIII Съезд научного медицинского общества анатомов, гистологов и эмбриологов: Материалы докладов, 23–26 мая 2019. – Воронеж, 2019. – С. 302–303.

Диссертантом и Устюжанцевым Н.Е. проведено измерение и статистическая обработка геометрических параметров для цифровых моделей межпозвонковых дисков L4–L5 и позвонков L4 и L5 на анонимизированных данных компьютерной томографии пациентов. Редакционной версткой текста занимался Ильялов О.Р.

14. **Хорошев, Д.В.** Моделирование поясничного позвоночно-двигательного сегмента человека: фасеточный сустав / Д.В. Хорошев // Математическое моделирование в естественных науках: Материалы XXX всерос. школы-конф., 6–9 октября 2021. – Пермь, 2021. – Т. 1. – С. 226–228.

Данная работа выполнена автором диссертации лично без соавторов.

15. **Хорошев, Д.В.** Грыжа межпозвонкового диска L4–L5 – главный источник боли в пояснице? / Д.В. Хорошев, О.Р. Ильялов, Н.Е. Устюжанцев // Медицина боли: от понимания к действию: тезисы XXV рос. научно-практич. конф. с междунар. уч., 23–25 мая 2019. – Казань, 2019. – С. 70.

В настоящей работе диссертант выполнил построение и расчет напряженно-деформированного состояния упругой конечно-элементной модели межпозвонкового диска L4–L5. Постановка проблемы задачи оформлена Ильяловым О.Р. Введение написано Устюжанцевым Н.Е.

16. **Хорошев, Д.В.** Конечно-элементное моделирование позвоночно-двигательного сегмента L4–L5 / Д.В. Хорошев, О.Р. Ильялов, Н.Е. Устюжанцев // XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики: аннотации докладов, 19–24 августа 2019. – Уфа, 2019. – С. 322.

В данной работе диссертант выполнил построение и расчет напряженно-деформированного состояния 3-х мерной геометрической модели позвоночно-двигательного сегмента L4–L5. Постановка проблемы задачи оформлена Ильяловым О.Р. Анализ условий возникновения подвывиха фасеточных суставов проведен Устюжанцевым Н.Е.

17. **Хорошев, Д.В.** Моделирование проявления болевого синдрома в позвоночно-двигательном сегменте поясничного отдела позвоночника /

Д.В. Хорошев, О.Р. Ильялов, Н.Е. Устюжанцев // Российский журнал боли. – 2018. – Т. 56, № 2. – С. 100–101.

В текущей работе диссертант построил упругую конечно-элементную модель межпозвонкового диска L4–L5 и выполнил расчет напряженно-деформированного состояния межпозвонкового диска L4–L5. Постановка проблемы задачи оформлена Ильяловым О.Р. Анализ условий возникновения подвывиха фасеточных суставов проведен Устюжанцевым Н.Е.

18. **Хорошев, Д.В.** Персонализированное биомеханическое моделирование поведения сегментов поясничного отдела позвоночника человека / Д.В. Хорошев, О.Р. Ильялов, Н.Е. Устюжанцев // Математика и междисциплинарные исследования – 2020: Материалы всерос. научно-практич. конф. молодых ученых с междунар. уч., 12–14 октября 2020. – Пермь, 2020. – С. 308–311.

В настоящей работе диссертант выполнил построение пороупругой конечно-элементной модели межпозвонкового диска L4–L5 и расчет напряженно-деформированного состояния межпозвонкового диска L4–L5. Постановка проблемы задачи оформлена Ильяловым О.Р. Анализ условий возникновения подвывиха фасеточных суставов проведен Устюжанцевым Н.Е.

19. **Хорошев, Д.В.** Персонализированное биомеханическое моделирование поведения сегментов поясничного отдела позвоночника человека / Д.В. Хорошев, О.Р. Ильялов, Н.Е. Устюжанцев, Ю.И. Няшин // Биомеханика – 2020: Материалы XIV Всерос. конф. с междунар. участием., 3–5 декабря 2020. – Пермь: изд-во ПНИПУ, 2020. – С. 258–261.

В текущей работе диссертант выполнил построение пороупругой конечно-элементной модели межпозвонкового диска L4–L5 и расчет напряженно-деформированного состояния межпозвонкового диска L4–L5. Описание постановки задачи оформлено Няшином Ю.И. и Ильяловым О.Р. Анализ условий возникновения подвывиха фасеточных суставов проведен Устюжанцевым Н.Е..

20. **Хорошев, Д.В.** Сублюксация фасеточных суставов – основная причина поясничных болей / Д.В. Хорошев, О.Р. Ильялов, Н.Е. Устюжанцев // IX Всероссийский съезд нейрохирургов: сборник тезисов, 15–18 июня 2021. – Москва, 2021. – С. 351.

В настоящей работе диссертант выполнил построение пороупругой конечно-элементной модели межпозвонкового диска L4–L5 и расчет напряженно-деформированного состояния межпозвонкового диска L4–L5. Постановка

проблемы задачи оформлена Ильяловым О.Р. Анализ условий возникновения подвывиха фасеточных суставов проведен Устюжанцевым Н.Е.

21. **Хорошев, Д.В.** Биомеханическое моделирование поясничного фасеточного сустава / Д.В. Хорошев, О.Р. Ильялов, Н.Е. Устюжанцев // Математическое моделирование и биомеханика в современном университете, 28 мая – 01 июня 2023 года. – Дивноморское, 2023. – С. 115.

В данной работе диссертант выполнил построение тестовой конечно-элементной модели фасеточного сустава, учитывающей наличие синовиальной жидкости и представил описание постановки задачи (сочетание упругой, пороупругой задач и задачи об идеальной жидкости). Введение оформлено Ильяловым О.Р. Анализ условий возникновения подвывиха фасеточных суставов проведен Устюжанцевым Н.Е.

22. **Хорошев, Д.В.** Биомеханическое моделирование поясничного фасеточного сустава / Д.В. Хорошев, О.Р. Ильялов, Н.Е. Устюжанцев // Фундаментальная и прикладная медицина: материалы Всероссийской конференции молодых ученых, 29–30 ноября 2022. – Саратов, 2022. – С. 23–24.

В данной работе диссертант выполнил построение тестовой конечно-элементной модели фасеточного сустава, учитывающей наличие синовиальной жидкости и представил описание постановки задачи (сочетание упругой, пороупругой задач и задачи об идеальной жидкости). Введение оформлено Ильяловым О.Р. Анализ условий возникновения подвывиха фасеточных суставов проведен Устюжанцевым Н.Е.

23. **Хорошев, Д.В.** Биомеханическое моделирование фасеточного сустава на уровне сегмента L4–L5 / Д.В. Хорошев, О.Р. Ильялов, Н.Е. Устюжанцев // Современные проблемы механики сплошной среды, 11–13 октября 2023 г. – Ростов-на-Дону, 2023. – С. 117.

В данной работе диссертант выполнил построение тестовой конечно-элементной модели фасеточного сустава, учитывающей наличие синовиальной жидкости и представил описание постановки задачи (сочетание упругой, пороупругой задач и задачи об идеальной жидкости). Введение оформлено Ильяловым О.Р. Анализ условий возникновения подвывиха фасеточных суставов проведен Устюжанцевым Н.Е.

24. **Хорошев, Д.В.** Моделирование позвоночно-двигательного сегмента L4–L5 / Д.В. Хорошев, О.Р. Ильялов, Н.Е. Устюжанцев // XIII Всероссийский съезд

по теоретической и прикладной механике, 21–25 августа 2023 г. – Санкт-Петербург, 2023. – С. 130–132.

В настоящей работе диссертант построил конечно-элементную модель межпозвонкового диска L4–L5 и выполнил расчет напряженно-деформированного состояния межпозвонкового диска L4–L5. Описание постановки задачи в смешанной форме (сочетание упругой задачи и задачи об идеальной жидкости) оформлено Ильяловым О.Р. Анализ условий возникновения подвывиха фасеточных суставов проведен Устюжанцевым Н.Е.

25. **Хорошев, Д.В.** Персонализированное моделирование позвоночно-двигательного сегмента L4–L5 / Д.В. Хорошев, О.Р. Ильялов // Математическое моделирование в естественных науках: матер. XXXII Всероссийской конференции, 4–7 октября 2023 г. – Пермь, 2023. – С. 331–333.

В настоящей работе диссертант построил конечно-элементную модель межпозвонкового диска L4–L5 и выполнил расчет напряженно-деформированного состояния межпозвонкового диска L4–L5. Описание постановки задачи в смешанной форме (сочетание упругой задачи и задачи об идеальной жидкости) оформлено Ильяловым О.Р. Анализ условий возникновения подвывиха фасеточных суставов проведен Устюжанцевым Н.Е.

Выполненная Д.В. Хорошевым диссертационная работа полностью соответствует требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней».

Диссертационная работа представляет собой оригинальное исследование с корректным указанием ссылок на источники заимствования используемых научных и экспериментальных материалов. Автор работы корректно ссылается как на научные работы, выполненные им лично, так и в соавторстве.

Диссертация «Биомеханическое моделирование гиперрецепции в капсуле фасеточного сустава позвоночно-двигательного сегмента L4–L5» Хорошева Дениса Владимировича рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.10 – «Биомеханика и биоинженерия».

Присутствовало на заседании 18 человек, из них 5 докторов наук и 13 кандидатов наук по профилю диссертации. Результаты открытого голосования: «за» – 18 чел.; «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел. (протокол № 11 от 20 июня 2024 г.).

Зав. кафедрой вычислительной математики,

механики и биомеханики ФГАОУ ВО

«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»,

д.т.н., профессор

Валерий Юрьевич Столбов

Подпись д.т.н., профессора В.Ю. Столбова заверяю:

Ученый секретарь

Ученого совета ПНИПУ, доцент,

кандидат исторических наук



Макаревич Владимир Иванович