

## Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Донник Анны Михайловны на тему «Пациенто-ориентированное биомеханическое моделирование грудного и переходного груднопоясничного отделов позвоночника», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.08 – Биомеханика

### Структура диссертации и основные научные результаты

Диссертация состоит из списка сокращений, введения, пяти глав, заключения, приложения и списка литературы. Работа изложена на 174 страницах, включает 108 рисунков, 23 таблицы, и 21 страницу библиографии, содержащей 136 наименований.

**Во введении** описана актуальность темы исследования, перечислены цели и задачи исследования, материалы и методы исследования, сформулированы научная новизна и практическая значимость результатов работы, а также представлены сведения о степени достоверности, апробации результатов и личном вкладе автора.

**Первая глава** посвящена состоянию проблемы исследования на настоящий момент времени. Представлен обзор литературы, в котором описаны объект исследования, классификация травм позвоночника в зависимости от типа повреждения, классификация переломов АО/ASIF, клиническая картина повреждений груднопоясничного отдела, а также перечислены способы лечения каждого типа повреждения позвоночника и возможные осложнения, вызванные некорректным лечением. В обзор включены сведения о механических свойствах используемых материалов, граничных условиях и способах нагружения моделей позвоночника, применяемых для биомеханического моделирования в настоящее время. В главе сформулирована задача теории упругости, решение которой необходимо для выполнения биомеханического эксперимента.

**Во второй главе** приведен алгоритм построения биомеханической модели грудного и переходного груднопоясничного отделов позвоночника, включающий построение биомеханической модели сегмента позвоночника с травмой и после хирургического лечения. В алгоритме подробно описано построение твердотельных моделей тел позвонков, межпозвонковых дисков, фасеточных суставов, связочного аппарата. В главе приведены механические свойства материалов и тканей, включаемых в модель, а также сформулирована математическая постановка задачи.

**В третьей главе** описано биомеханическое моделирование сегмента грудного отдела позвоночника с повторной травмой, выполненное по предложенному алгоритму, с целью выяснения причин нарушения целостности фиксирующих металлоконструкций. Диссертантом решены две задачи: определен способ моделирования каждого биологического объекта, входящего в модель сегмента позвоночника, и выполнен ряд биомеханических экспериментов, показывающих наиболее подверженные усталостным нагрузкам зоны позвоночника и фиксирующих систем. Важным фактом является согласованность результатов биомеханических экспериментов с результатами клинической диагностики.

**Четвертая глава** посвящена биомеханическому моделированию сегмента позвоночника Th9-Th12 с компрессионным оскольчатый переломом тела позвонка Th11 и 4 различными вариантами хирургического лечения, используя алгоритм, приведенный в главе 2. Биомеханический эксперимент направлен на определение преимуществ использования транспедикулярных систем фиксации, дополненных промежуточными винтами, при хирургическом лечении компрессионного перелома тела позвонка грудного отдела позвоночника. Определены распределения эквивалентных напряжений по Мизесу, поля полных перемещений, а также диапазон движения в моделях сегмента грудного отдела позвоночника, включающего поврежденный позвонок, с предложенными вариантами хирургического лечения. Полученные результаты с позиции биомеханики

показали лучшую результативность хирургического лечения с использованием транспедикулярных систем фиксации, дополненных промежуточными винтами.

**В пятой главе** приведено описание биомеханического эксперимента, направленного на определение результативности хирургического лечения взрывного перелома тела позвонка груднопоясничного отдела позвоночника с использованием ламинарных крючков. В ходе эксперимента применен предложенный в главе 2 алгоритм построения биомеханической модели груднопоясничного отдела позвоночника. Рассмотрено три варианта хирургического лечения, причем учитывался факт достаточности или недостаточности для введения винтов костного массива в травмированную позвонке. На основании результатов эксперимента установлено, что с точки зрения биомеханики для лечения взрывных переломов тела позвонка использование систем фиксации, дополненных ламинарными крючками, обеспечивает лучшую стабильность фиксации.

**В заключении** приведены выводы, сделанные на основе результатов, полученных в работе.

### **Актуальность темы диссертационного исследования**

Диссертационная работа Донник Анны Михайловны посвящена разработке универсальной по случаям травм биомеханической модели грудного и переходного груднопоясничного отделов позвоночника. Тема работы неоспоримо актуальна, поскольку позволяет на этапе предоперационного планирования провести выбор рациональной тактики хирургического лечения травм и повреждений позвоночника. Предоперационное планирование, включающее в себя этап биомеханического моделирования, является залогом успешного лечения при корригирующих операциях на позвоночнике.

Актуальность работы также обусловлена современной тенденцией в травматологии и ортопедии, связанной с совершенствованием методов хирургической коррекции дегенеративно-дистрофических заболеваний и повреждений позвоночника.

### **Степень обоснованности и достоверность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации**

**Достоверность и обоснованность** результатов исследования обеспечивается корректностью математической постановки задачи теории упругости, применением строгих математических методов, сравнением результатов с известными результатами других авторов, а также с результатами медицинского контроля.

### **Научная новизна основных результатов работы, их теоретическая и практическая значимость**

**Научная новизна работы** заключается в сформулированном универсальном и не имеющем ограничений по случаям травм подходе к созданию биомеханической модели грудного и груднопоясничного отделов позвоночника.

В диссертационной работе Донник А.М.:

1. Сформулирован универсальный и не имеющий ограничений по случаям травм подход к созданию биомеханической модели грудного и груднопоясничного отделов позвоночника. Модель, построенная по предложенному алгоритму, позволяет учитывать индивидуальные особенности строения позвоночника пациента.

2. Проведено биомеханическое моделирование грудного, груднопоясничного отделов позвоночника и систем фиксации и выявлены условия, способствующие их разрушению и приводящие к повторной травме.

3. На основе анализа НДС системы «позвоночно-двигательный сегмент – ТПС» выявлены биомеханические преимущества использования ТПС, дополненных промежуточными винтами.

4. Впервые выполнено биомеханическое моделирование ТПС, дополненных ламинарными крючками, и с точки зрения биомеханики показано преимущество использования их в хирургии позвоночника.

Указанная новизна работы и представляет **теоретическую значимость**, заключающуюся в возможности применения предложенного алгоритма для большого спектра задач медицины и биомеханики.

**Практическая значимость** заключается в возможности использования разработанной биомеханической модели при проведении предоперационного планирования для анализа различных вариантов хирургического вмешательства, для усовершенствования систем фиксации позвоночника при лечении повреждений грудного и груднопоясничного отделов позвоночника. Кроме того, стоит отметить, что все биомеханические эксперименты выполнялись на основе реальных клинических случаев. Получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и баз данных:

- База данных "Модельная версии 2.0" для прототипа системы поддержки принятия врачебных решений, режим персональной виртуальной операционной 3D (RU 2021621555 от 20.07.2021).

- База данных "Имплантаты версии 3.0" для прототипа системы поддержки принятия врачебных решений, режим персональной виртуальной операционной 3D (RU 2021621564 от 20.07.2021).

#### **Апробация основных результатов исследования, представленных в диссертации**

Основное содержание работы опубликовано в 21 работе, в том числе 4, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук и/или индексируемых в международных базах данных. Результаты работы обсуждались на международных и всероссийских конференциях.

Результаты диссертационной работы внедрены в учебную деятельность механико-математического факультета Саратовского университета.

#### **Замечания и вопросы по диссертации**

В качестве **замечаний** можно отметить следующее:

1. В работе не представлен анализ сеточной сходимости. На странице 113 указано, что он проводился, однако детали данного исследования было бы уместно указать и в тексте диссертации. Не показано как тип конечного элемента (особенно в области контактного взаимодействия) и тип контакта (bonded-to-bonded) влияют на решение.
2. В главах 4 и 5 представлены результаты распределений эквивалентных напряжений по Мизесу. Однако, не указан критерий разрушения, и, соответственно, результаты носят больше описательный характер.
3. В случае оскольчатого перелома тела позвонка было бы интересно провести исследование влияния данного типа перелома на связки.
4. Также было бы интересно представить в большей степени напряженно-деформированное состояние межпозвоночных дисков, поскольку их деформации при переломах также оказывают существенное влияние на качество жизни пациента.
5. В описании результатов решения в главе 3 использованы графические изображения низкого качества, за счет чего шкалы являются не информативными.

Отмеченные замечания не умаляют основных достижений работы и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

### Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

Диссертационная работа Донник Анна Михайловны «Пациенто-ориентированное биомеханическое моделирование грудного и переходного грудопоясничного отделов позвоночника» является самостоятельным научным исследованием. Все поставленные задачи выполнены, а сформулированная цель достигнута. Представленная к защите диссертационная работа по своей научной новизне имеет важное теоретическое и практическое значение для биомеханики и медицины по специальности 01.02.08-биомеханика. Важно отметить, что все описанные биомеханические эксперименты выполнены на основе реальных клинических случаев. Текст диссертации изложен понятно и структурированно.

Диссертационная работа Донник Анна Михайловны «Пациенто-ориентированное биомеханическое моделирование грудного и переходного грудопоясничного отделов позвоночника» соответствует паспорту специальности 01.02.08 – Биомеханика, удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., с изм., утв. 21.04.2016 г. №335, 02.08.2016 г. №748, ред. от 11.09.2021 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Донник Анна Михайловна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.08 – Биомеханика.

Отзыв заслушан и утвержден на заседании кафедры вычислительной математики, механики и биомеханики федерального государственного автономного образовательного учреждений «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», протокол № 1, от «31» августа 2022 года.

Доктор физико-математических наук,  
доцент, профессор кафедры вычислительной математики,  
механики и биомеханики  
ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет»

/Алексей Геннадьевич Кучумов/

«02» сентября 2022 г.

Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29  
Телефон: +7 (342) 239-17-02  
e-mail: [kuchymov@inbox.ru](mailto:kuchymov@inbox.ru)

Я даю согласие на обработку персональных данных (приказ Минобрнауки России от 01.07.2015 № 662).



ЗАВЕРЯЮ:

И.о. секретарь ПНИПУ

В.И. Макаревич

«02» сентября 2022 г.