

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Ксенофонтова Михаила Анатольевича «Исследование медико-биологических процессов функционирования эндопротеза тазобедренного сустава с парой трения из углеситалла, влияющих на развитие остеолитизиса», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.12 - Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки)

Актуальность темы. Диссертационная работа Ксенофонтова М.А. «Исследование медико-биологических процессов функционирования эндопротеза тазобедренного сустава с парой трения из углеситалла, влияющих на развитие остеолитизиса» посвящена разработке методик исследования медико-биологических процессов функционирования эндопротеза тазобедренного сустава, позволяющих исследовать прочность и износостойкость пар трения узла подвижности.

В настоящее время сохраняет свою актуальность проблема асептического расшатывания эндопротезов суставов человека, что приводит к необходимости замены искусственного сустава. Главной причиной асептического расшатывания является остеолитизис, проявляющийся резорбцией костной ткани и потерей плотного контакта кости с имплантатом. В основе остеолитизиса лежит иммунная реакция организма человека на частицы износа материалов пары трения узла подвижности эндопротеза.

Снижение риска развития остеолитизиса за счет повышения износостойкости пар трения эндопротезов является эффективным решением современного эндопротезирования. Тем не менее, использование новых конструкций искусственных суставов требует доклинической оценки прочности и износостойкости предлагаемых изделий.

Необходимость использования новых методик исследования прочности и износостойкости эндопротезов суставов человека при физиологических нагрузках определяет актуальность выбранной темы диссертационной работы.

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 158 страниц, включая 76 рисунков и 13 таблиц. Список литературы содержит 137 источников.

Во **Введении** сформулированы цели, задачи, актуальность, новизна и практическая значимость результатов работы, приведена методология исследования, личный вклад автора и данные об апробации работы.

В **Первой главе** проведен анализ теоретических основ рассматриваемой проблемы, обзор причин и путей решения возникновения остеолитического процесса. На основе выполненного анализа автор выделяет главенствующую роль в развитии остеолитического процесса образование частиц износа материалов пар трения эндопротезов тазобедренного сустава. Основные недостатки существующих эндопротезов – это высокий крутящий момент и высокий объемный износ пар трения, которые приводят к изменению геометрии узла подвижности и появлению частиц износа, способствующих развитию остеолитического процесса. Новые конструкции и материалы, предлагаемые в эндопротезировании, должны содержать в себе технологические решения, увеличивающие прочность и износостойкость материалов, используемых в эндопротезах. На основе обзора сделаны выводы о необходимости разработки методик исследования новых конструкций эндопротезов, позволяющих учитывать в процессе испытаний физиологические условия нагрузки в суставе.

Во **Второй главе** представлено описание имитационной и математической моделей процесса нагружения эндопротеза тазобедренного сустава при физиологических нагрузках. На основе математической модели медико-биологических процессов функционирования эндопротеза тазобедренного сустава проведен анализ напряжений, возникающих в конструкции узла подвижности при разных уровнях варьирования факторов

воздействия, таких как угол приложения нагрузки, величина нагрузки, зазор между головкой и вкладышем. Автором проведен анализ влияния наиболее значимых факторов на параметры оптимизации на основе полученных частных зависимостей.

В Третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований статической нагрузки и крутящего момента опытной конструкции узла подвижности эндопротеза тазобедренного сустава с парой трения из углеситалла. Исследование позволило оценить прочность конструкции узла подвижности и устойчивость к износу пар трения.

Четвертая глава посвящена сравнительному исследованию объемного износа пар трения из углеситалла и керамики посредством измерения потери массы после испытаний на специализированном приборе. Результаты сравнительного исследования позволили сделать вывод об эффективности предлагаемого решения изменений технических характеристик узла подвижности посредством использования пары трения из углеродного материала для снижения риска возникновения остеолитизиса.

В заключении приводятся выводы по результатам исследования.

Научная новизна. К новым научным результатам следует отнести:

- методику математического и имитационного моделирования медико-биологических процессов функционирования тазобедренного сустава для оценки напряженно-деформированного состояния эндопротезов тазобедренного сустава, характеризующаяся, в отличие от известных, возможностью определять запас прочности конструкций узла подвижности эндопротеза тазобедренного сустава при физиологических нагрузках.

- алгоритм расчета математической модели медико-биологических процессов функционирования эндопротеза тазобедренного сустава, отличающийся возможностью автоматизации составления плана эксперимента, вывода результатов исследования и оценки адекватности математической модели.

- методику экспериментального исследования крутящего момента, объемного износа и статической нагрузки конструкции узла подвижности эндопротеза тазобедренного сустава с парой трения из углеситалла на специализированных приборах, обеспечивающую возможность оценки основных характеристик эндопротеза в соответствии с государственными стандартами.

Достоверность результатов исследования. Постановка цели и частных задач диссертационного исследования показывает глубокое понимание состояния современных исследований и разработок по рассматриваемой научной проблеме. Степень обоснованности результатов обеспечена корректным использованием математических методов и подтверждена результатами математического моделирования медико-биологических процессов функционирования эндопротеза тазобедренного сустава. Результаты исследования докладывались на научных конференциях и форумах различного уровня. По теме диссертационного исследования опубликовано 19 работ, в том числе 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России по специальности 2.2.12, 2 статьи в изданиях, индексируемых Scopus, 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России по смежным научным специальностям; получено 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Замечания по работе

1. В тексте работы недостаточно описаны какие именно медико-биологические процессы функционирования эндопротезов влияют на развитие остеолизиса.

2. В уравнение (2.14) входят массовые силы. Какие именно массовые усилия моделировались?

3. При выполнении моделирования какой модуль упругости задавался для углеситалла: при сжатии или при растяжении, которые указаны в табл. 2?

4. Каким процессам или движениям соответствовала нагрузка, задаваемая в узле подвижности?

5. Как автор исследовал сеточную сходимость при решении задач методом конечных элементов? Осуществлялась ли валидация исследуемых в диссертации биомеханических моделей?

6. При сравнительном анализе напряженного состояния конструкций узла подвижности разного диаметра с монолитным углеситаллом автор указывает, что увеличение угла приложения нагрузки приводит к увеличению уровня относительных напряжений по Баландину в головке и вкладыше эндопротеза. Исключение составили вычислительный эксперимент №5 первой конструкции, в котором увеличение угла приложения нагрузки привело к непропорциональному увеличению относительного напряжения, и вычислительный эксперимент №10 второй конструкции, в котором несмотря на то, что угол приложения нагрузки был равен 0° , величина относительного напряжения была непропорционально высока. Чем можно объяснить такое поведение конструкции в эксперименте №5 и эксперименте №10?

В целом, несмотря на недостатки, представленная диссертационная работа соответствует квалификационным требованиям, а отмеченные выше неточности не снижают общего уровня оценки работы.

Заключение. Диссертация «Исследование медико-биологических процессов функционирования эндопротеза тазобедренного сустава с парой трения из углеситалла, влияющих на развитие остеолизиса» представляет законченную научно-квалификационную работу. В ней содержится решение актуальной задачи по разработке методик исследования прочности и износостойкости узла подвижности с парой трения из углеситалла при физиологических нагрузках. Диссертационная работа удовлетворяет требованиям пп. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденное Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 года (в актуальной редакции). Автор работы, Ксенофонов

Михаил Анатольевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки).

Официальный оппонент

Иванов Дмитрий Валерьевич,

доктор физико-математических наук, доцент,

ведущий научный сотрудник лаборатории

цифровых медицинских технологий

ФГБОУ ВО «Саратовский национальный

исследовательский государственный

университет имени Н. Г. Чернышевского»

410012, Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Email ivanovdv.84@ya.ru

Телефон рабочий +78452210754

Телефон мобильный +79878266748

«02» сентября 2025 г.

Иванов

