

На правах рукописи



Берсанова Макка Руслановна

**Биомеханические факторы деформаций и поломок
дентальных имплантатов**

3.1.7. Стоматология

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата медицинских наук

Москва – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна»

Научный руководитель:

доктор медицинских наук, профессор

Олесова Валентина Николаевна

Официальные оппоненты:

Амхадова Малкан Абдрашидовна – доктор медицинских наук, профессор, Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Московской области «Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф. Владимирского», кафедра хирургической стоматологии и имплантологии, заведующая кафедрой

Цициашвили Александр Михайлович – доктор медицинских наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Научно-образовательный институт стоматологии им. А.И. Евдокимова, кафедра хирургической стоматологии, профессор кафедры

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Защита диссертации состоится «27» ноября 2025г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета ДСУ 208.001.36 при ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) по адресу: 119991, г. Москва, ул. Трубецкая, д.8, стр. 2

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной учебной библиотеке ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (119034, г. Москва, Zubovskiy bulvar, d.37/1) и на сайте организации <https://www.sechenov.ru>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2025 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат медицинских наук, доцент

Дикопова Наталья Жоржевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Высокая прочность и биосовместимость конструкционных материалов протетических конструкций на имплантатах, а именно титана и керамики, обуславливают высокую эффективность протезирования на имплантатах, но не гарантируют от разрушения протезов и имплантатов под действием многолетней функциональной нагрузки (Амхадова М. А. с соавт., 2024; Агазаде А.Р. с соавт., 2023; Балан В.А. с соавт., 2024; Раджабов Н. Р. с соавт., 2025; Аванесов А.М. с соавт., 2023; Лабис В.В., 2024; Полупан П.В. с соавт., 2023; Погосян Н.М., 2023; Самсонов А. Р. с соавт., 2024; Музыкин М.И. с соавт., 2023; Казарян Г. Г., Иванов С. Ю., 2024; Chan H.L. et al., 2023; Revilla-León M. et al., 2023; Kuroshima S. et al., 2024; Lee S.J. et al., 2023; Taneja S. et al., 2023). В клинической практике встречаются поломки и деформации как протезов, так и компонентов имплантатов, обуславливающее необходимость переделки дорогостоящих конструкций (Гильманова Н.С. с соавт., 2024; Андреева С.Н. с соавт., 2023; Розов Р.А. с соавт., 2023; Исмоилов А.А., 2024; Лосев Ф.Ф. с соавт., 2024; Khaohoen A. et al., 2023). Указанные осложнения эмпирически связываются с механической перегрузкой при малом числе опорных имплантатов, их небольшом размере и неоптимальном размещении в костной ткани. К сожалению, публикации по поводу указанных поломок касаются отдельных клинических случаев и не сопровождаются статистическими данными. Сложные и неадекватные биомеханические условия функционирования имплантатов по влиянию на целостность имплантатов и опирающихся протезов системно не анализировались.

При этом в имплантологии ввиду важности состояния периимплантатной костной ткани немало исследований ее напряженно-деформированного состояния под нагрузкой с помощью двух- и трехмерного математического моделирования (Дибиров Т.М., 2025; Гришин П. О., 2023; Караев Р. К. с соавт., 2024; Лапушко В. Ю. с соавт., 2024; Долгалев А. А. с соавт., 2024; Сергеев Ю. А. с соавт., 2023; Sun X. et al., 2023; Falcinelli C. et al., 2023; Nie H. et al., 2023; Alqahtani A.R. et al., 2023; Qin S, Gao Z., 2023; Zhang C. et al., 2023). Относительно самих имплантатов и протетических конструкций биомеханических математических расчетов в зависимости от разных условий их нагрузки не проводилось.

Степень разработанности темы исследования

Ближайшие работы по проблеме представленного исследования касаются влияния биомеханических условий функциональной нагрузки на эффективность протезирования на имплантатах (Заславский Р. С., Олесова В. Н., 2024; Погосян, Н.М., 2023;) В клинике показано более частое развитие периимплантатной резорбции костной ткани и удаление имплантатов в неблагоприятных биомеханических условиях (Андреева С.Н. с соавт., 2023; Янушевич О.О. с соавт., 2023).

Встречаются работы на основе трехмерного математического моделирования, выявляющие негативное влияние ряда биомеханических условий на напряженно-деформированное состояние протетических конструкций (Абакаров С.И. с соавт., 2023; Кирсанова В.В., 2023).

Методически близкие исследования биомеханических проблем в стоматологии – исследования Заславского Р.С. и Олесовой Э.А. (Заславский Р.С. 2025; Олесова Э. А. с соавт., 2024;) Заславский Р.С. в трехмерных математических моделях проанализировал функциональные напряжения в периимплантатных костных тканях в разных биомеханических условиях эксплуатации; Олесова Э.А. для анализа причин переломов и трещин зубов также с помощью математического моделирования проанализировала максимальные напряжения в эмали и дентине зуба. Получены закономерности влияния биомеханических условий на напряженно-деформированное состояние костной ткани и зубов. Однако, указанные исследования, несмотря на методическую близость, не затрагивали проблему целостности и деформационных изменений самих имплантатов и опирающихся на них коронок. С увеличением сроков эксплуатации протезов на имплантатах эти аспекты имплантологии становятся актуальными.

Цель и задачи исследования

Цель: обоснование профилактики функциональной перегрузки дентальных имплантатов с помощью трехмерного математического моделирования их напряженно-деформированного состояния.

Задачи:

1. Провести анкетирование среди врачей стоматологов по выявляемости поломок имплантатов и покрывающих несъемных протезов.

2. Проанализировать в математическом эксперименте степень увеличения максимальных напряжений в имплантате и покрывающих протезах при функционировании в неблагоприятных биомеханических условиях.

3. Выявить особенности величины и распределения функциональных напряжений в несъемных протезах на имплантатах, замещающих частичный дефект зубного ряда.

4. С помощью электронной микроскопии проанализировать деформационные изменения поверхностей удаленных имплантатов и абатментов.

5. Представить клинические рекомендации по предупреждению эксплуатационной перегрузки конструкций на дентальных имплантатах.

Научная новизна

Впервые при целенаправленном опросе врачей-стоматологов в Чеченской республике, имеющих опыт работы в дентальной имплантологии, установлены частота, структура и сроки нарушений целостности имплантатов, абатментов и покрывающих несъемных протезов. Определены возможности замены протетической конструкции и компонентов имплантатов при их деформации или нарушении целостности без удаления имплантатов.

Впервые в условиях трехмерного математического моделирования изучено напряженно-деформированное состояние имплантатов, абатментов и покрывающих коронок в условиях широкого спектра оптимальных и неадекватных биомеханических условий нагрузки.

Изучено напряженно-деформированное состояние имплантатов, замещающих частичные дефекты зубных рядов.

Впервые по данным микроскопии зафиксированы деформационные изменения имплантатов и абатментов вследствие многолетней эксплуатации.

Теоретическая и практическая значимость работы

Представлены клинические обстоятельства поломок имплантатов, в частности, перегрузка протезов и резорбция костной ткани; срок поломок – не ранее 5 лет с начала эксплуатации. По данным анкетирования врачей даны сведения о возможности замены двух третей протетических конструкций и компонентов имплантатов при их разрушении.

Выявлено негативное влияние – повышение напряжений в абатментах и имплантатах при уменьшении диаметра имплантатов, наклоне абатментов, резорбции костной ткани, немедленной нагрузке, окклюзионном супраконтакте (до предела прочности керамики).

Выявлены благоприятные особенности напряженно-деформированного состояния мостовидных протезов на двух имплантатах в отличие от протезов с опорой на имплантат и зуб, в которых имплантат и абатмент испытывают предельные напряжения.

Сформирована база данных «Максимальные напряжения в дентальном имплантате и окружающей кости при нагрузке в неадекватных биомеханических условиях», № 2024625103 (12.11.2024).

Результаты математического моделирования по локализации деформирующих функциональных напряжений подтверждены данными микроскопии поверхности удаленных имплантатов и абатментов.

Методология и методы исследования

В работе проведено анкетирование врачей стоматологов по частоте выявления и причинам поломок и деформаций дентальных имплантатов и покрывающих протетических конструкций.

С использованием трехмерного математического моделирования и в сопоставлении с пределами прочности конструкционных материалов изучены показатели функциональных напряжений в компонентах протетических конструкций на имплантатах, подверженных нагрузке разного направления и при воздействии разных биомеханических факторов.

С применением электронной микроскопии проанализированы поверхности удаленных имплантатов и абатментов с целью выявления эксплуатационных деформаций и трещин.

Проведен статистический анализ с использованием критерия Стьюдента и уровнем достоверности различий $p < 0,05$.

Положения, выносимые на защиту

1. Частота выявления поломок несъемных протетических конструкций и опорных имплантатов составляет 5% с возможностью сохранения двух третей

имплантатов путем замены покрывающей конструкции. Треть поломок происходит в условиях недостаточности объема периимплантатной костной ткани и неполного замещения отсутствующих зубов.

2. Неадекватные биомеханические условия нагрузки имплантата увеличивают напряжения в абатменте и имплантате не менее чем на 60%, в большей степени при наклонной нагрузке. Предел прочности точно испытывает керамическая коронка или облицовка при окклюзионном супраконтакте.

3. Увеличение протяженности дефекта зубного ряда и его замещение имплантатами соответственно числу отсутствующих зубов увеличивает напряжения в абатментах и покрывающих коронках по сравнению с одиночным имплантатом и мостовидным протезом на имплантатах. Включение зуба в опору протеза, наряду с имплантатом, приводит к перегрузке имплантата.

4. Эксплуатация титановых дентальных имплантатов сопровождается деформацией контактирующих поверхностей имплантатов и абатментов.

Степень достоверности и апробация результатов

Диссертация соответствует принципам и стандартам доказательной медицины. Достоверность проведенного исследования определяется достаточной репрезентативностью выборки врачей стоматологов для анкетирования по проблемам поломок конструкций на имплантатах, результатами современного трехмерного математического моделирования напряженно-деформированного состояния под нагрузкой имплантатов, абатментов и покрывающих протетических конструкций, электронно-микроскопическим анализом поверхности удаленных имплантатов, применением современных методов статистической обработки данных.

Материалы исследования доложены на Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России «Ильинские чтения» (Москва, 2024, 2025), Научно-практической конференции МБУ ИНО ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России «Научный авангард» (Москва, 2024, 2025), Конференции «Актуальные вопросы стоматологии», посвященной основателю кафедры ортопедической стоматологии КГМУ, профессору И.М. Оксману (Казань, 2025), Всероссийском стоматологическом форуме «Дентал Ревю» (Москва, 2025), Всероссийской научно-практической конференции с

международным участием «Здоровое долголетие и персонализированная медицина 2025» (Казань, 2025), VI Международной научно-практической конференции «Ученики-учителям» (Москва, 2025), VIII научно-практической конференции «Актуальные вопросы стоматологии», посвященная 15-летию образования кафедры стоматологии (Киров, 2025 г).

Апробация диссертационной работы проведена на заседании кафедры стоматологии Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России (02.06.2025, протокол № 5).

Внедрение результатов исследования в практику

Результаты исследования внедрены в практику работы Медицинской клиники «Берс» (Грозный), ФГБУЗ «Клинический центр стоматологии» ФМБА России (Москва); в учебный процесс на кафедре общей стоматологии ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова»; кафедре стоматологии Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России (Москва).

Личный вклад автора

Автор самостоятельно в полном объеме провела анализ литературных данных по теме исследования; организовала анкетирование 51 врачей стоматологов с последующим анализом частоты и причин поломок протезов на имплантатах; описаны электронно-микроскопические картины поверхностей 48 удаленных имплантатов. С участием автора проведено трехмерное математическое моделирование напряженно-деформированного состояния имплантатов, абатментов и покрывающих протезов; зарегистрирована база данных «Максимальные напряжения в дентальном имплантате и окружающей кости при нагрузке в неадекватных биомеханических условиях».

Публикации по теме диссертации

По результатам исследования автором опубликовано 15 печатных работ, в том числе 4 научных статей в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий Сеченовского Университета/Перечень ВАК при Минобрнауки России, в которых должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук; 1 статья в издании, индексируемом в международной

базе данных Chemical Abstracts; 8 публикаций в сборниках материалов международных и всероссийских научных конференций; 1 учебно-методическое пособие; 1 свидетельство о государственной регистрации базы данных.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Научные положения диссертации соответствуют паспорту научной специальности 3.1.7. Стоматология, пункту 4 направлений исследований – «Разработка и совершенствование методов дентальной имплантации».

Структура и объем диссертации

Работа изложена на 138 листах компьютерного текста и состоит из введения, обзора литературы, трех глав собственных исследований, обсуждения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы. Диссертация иллюстрирована 45 рисунками и 5 таблицами. Список литературы включает 230 источников, из которых 137 отечественных и 93 зарубежных.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материал и методы исследования

Для сбора статистического материала по частоте поломок имплантатов проведено анкетирование 51 стоматологов-хирургов и стоматологов-ортопедов Чеченской республики с опытом работы в дентальной имплантологии не менее 5 лет. Анкета включала шесть разделов и отражала такие тематические аспекты как: индивидуальный стаж работы; число установленных имплантатов; число выявленных поломок в виде стираний, трещин, расцементировок, отломов, деформаций, переломов; причины поломок.

Предварительные данные по сведениям из анкет отражали характеристики имплантатов и протезов на имплантатах в Чеченской республике: у каждого врача количество установленных имплантатов составляло 500-25000 (в среднем 5124 ± 801); в основном (84,1%) применялись имплантаты из сплава Grade 4; в 41,1% применялись цементная фиксация протезов к имплантатам и в 58,9% – винтовая; 82,0% несъемных протезов на имплантатах были металлокерамическими; 93,9% абатментов были из титана.

С целью трехмерного математического моделирования функциональных напряжений в имплантатах и протезах использовалась базовая модель внутрикостного титанового имплантата с титановым абатментом и цельнокерамической коронкой, размещенного в альвеолярном гребне нижней челюсти (Рисунок 1).

Помимо стандартных размеров имплантата (длина 11 мм, диаметр 3 мм) и сегмента нижней челюсти, в расчетную программу SolidWorks внесены общеизвестные физические свойства слоев модели: титан (модуль упругости 116000 МПа, коэффициент Пуассона 0,32); керамика (модуль упругости 200000 МПа, коэффициент Пуассона 0,22); кость кортикальная (модуль упругости 20500 МПа, коэффициент Пуассона 0,32); кость губчатая (модуль упругости 3500 МПа, коэффициент Пуассона 0,34). Ввиду анализа прочности конструкционных материалов учитывался предел прочности титана и керамики: соответственно 895 МПа и 300 МПа.

Под нагрузкой 150 Н в вертикальном направлении и под углом 45 градусов анализировались напряжения (по Мизесу, растягивающие и сжимающие), как в протетической конструкции на имплантате в сборке, так и отдельно в имплантате, абатменте и коронке.

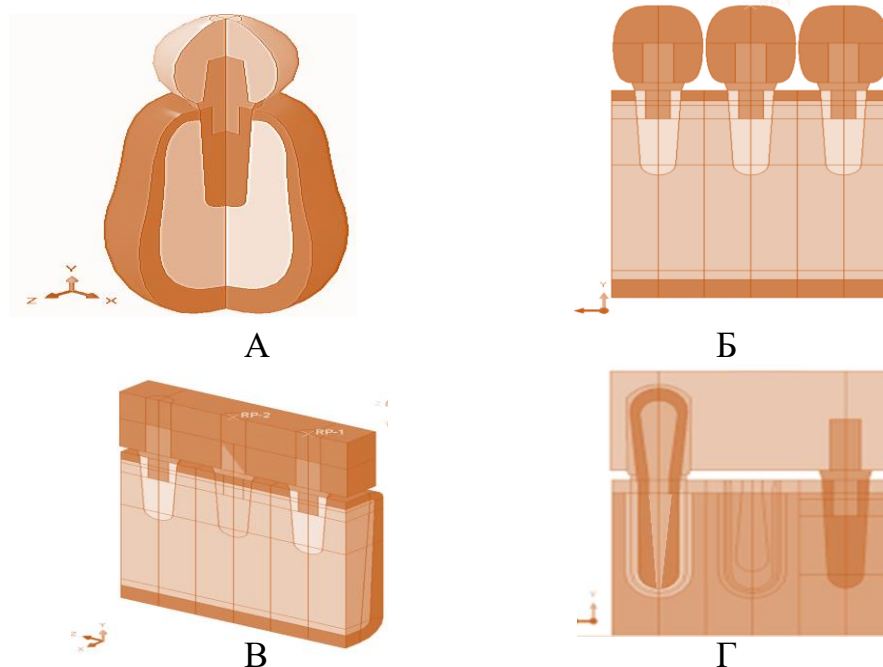


Рисунок 1 – Схематическое изображение базовой трехмерной математической модели внутрикостного имплантата (А) и включённого дефекта нижнего зубного ряда с разным протетическим замещением: Б) – три имплантата, В) – мостовидный протез на двух имплантатах, Г) – мостовидный протез на зубе и имплантате

В соответствии с задачами исследования в трехмерную математическую модель вносились изменения относительно биомеханических условий нагрузки имплантата, а именно: уменьшение длины или диаметра имплантата на 30% (а также сочетанное уменьшение длины и диаметра); уменьшение толщины кортикальной пластины на 30%; уменьшение модуля упругости кортикальной кости на 30%; наклон абатмента 15° и 30°; резорбция периимплантатной костной ткани на 30% и 50%; увеличение величины нагрузки на 30%; окклюзионный супраконтакт; уменьшение контакта с костной тканью на 50% (для имитации немедленной нагрузки).

Дополнительно создана математическая модель включённого дефекта бокового отдела нижнего зубного ряда протяжённостью три зуба и проведено сравнение с одиночным имплантатом напряжений в имплантатах и покрывающих протезах при замещении дефекта тремя имплантатами. Также изучены напряжения в имплантатах при замещении включённого дефекта мостовидным протезом на двух имплантатах или на имплантате и зубе.

С целью доказательства деформационных изменений в составляющих компонентах имплантатов в компании «Системы для микроскопии и анализа» (ООО «СМА», Москва) с помощью электронной микроскопии проведено исследование 67 удаленных в Медицинской клинике «Берс» (Грозный) внутрикостных дентальных имплантатов со сроками предшествующими эксплуатации от трех до пятнадцати лет. При удалении большинства имплантатов хроническое воспаление периимплантатных тканей сочеталось с неблагоприятными биомеханическими условиями функционирования имплантатов: перегрузка из-за недостаточного количества имплантатов в мостовидном протезе, окклюзионного супраконтакта, наличие незамещенных дефектов зубных рядов, малого количества костной ткани для восприятия жевательного давления; небольшие размеры имплантата и их установка под углом к альвеолярному гребню; нагрузка имплантатов одновременно с их установкой.

Исследование проводилось с использованием прибора Versa 3D DualBeam компании FEI с увеличениями от 100х до 2000х.

При статистической обработке формирование количества опрошенных врачей и числа удалённых имплантатов при изучении их деформации проводилось на

основании критерия Шапиро-Уилка. Количественные результаты исследования приводились к средним арифметическим величинам (M) с стандартными отклонениями (SD). Сравнение частоты выявления осложнений имплантации и деформации имплантатов в зависимости от разных биомеханических факторов проводилось с использованием доверительного интервала (ДИ) 95%. Для статистической обработки цифрового материала применялась программа StatTech v. 3.1.10 (Россия).

Результаты собственных исследований

Анализ анкет врачей стоматологов показал незначительное число разрушений дентальных имплантатов и опирающихся на них несъемных протезов относительно установленных имплантатов: 226 случаев; 4,4%. Разброс частоты удаления по врачам составил 2,5% – 6,6%. В структуре поломок, разрушений и деформаций протетических конструкций и опорных имплантатов отмечались: 19,0% – сколы и трещины коронок; 11,1% – поломки абатментов (только керамических); 59,7% – переломы и деформации винтов; 4,0 % – поломки имплантатов; 6,2% – сочетанные поломки.

Сопоставление биомеханических факторов эксплуатации протезов на имплантатах и частоты их поломок показало сочетание поломок с такими биомеханическими обстоятельствами как: разрушение композитной изоляции шахты винта – 42,5% поломок; расфиксация (расцементировка) коронок – у 34,1%; незамещенные дефекты зубного ряда – 35,8%; недостаточный объем костной ткани вокруг имплантата – 31,0%; подвижность имплантатов – 1,3%; подвижность абатмента в имплантате – 14,2%; окклюзионные супраконтакты – 6,6%; недостаточное число опорных имплантатов в мостовидном протезе – 11,5%; низкая плотность костной ткани – 5,3%; резорбция пришеечной костной ткани – 24,8%; короткий имплантат – 12,0%; узкий имплантат – 18,6%; наклон имплантата относительно альвеолярного гребня – 13,7%; угловой абатмент – 8,9%; короткий конус узла соединения имплантата с абатментом – 8,0%; керамические коронки – 12,8% (Рисунок 2).



Рисунок 2 – Частота выявляемости неблагоприятных биомеханических факторов при поломках конструкций на имплантатах

По срокам с момента установки имплантатов поломки делились: 4,0% поломок – до трех лет, 27,4% – до пяти лет, 59,3% – до десяти лет, 9,3% – свыше десяти лет.

Возможный ремонт поломок протезов и имплантатов распространяется на 156 случаев поломок, то есть 69,0% (замена винтов, абатментов, коронок и мостовидных протезов).

Зависимость поломок протезов на имплантатах от биомеханических условий во многом объясняется особенностями напряженно-деформированного состояния конструкций. В условиях оптимальной функциональной нагрузки 150 Н сборная конструкция «имплантат – абатмент – керамическая коронка» подвергалась максимальным напряжениям 75,163 МПа при вертикальном направлении нагрузки и в большей степени – 302,193 МПа при наклонной нагрузке 45°. При вертикальной нагрузке максимум напряжений регистрировался по окклюзионной поверхности коронки; при наклонной – с щечной и язычной сторон по нижнему краю уступа абатмента. При дифференцированном анализе напряжений в компонентах имплантата керамическая коронка испытывала максимальные напряжения 75,163 МПа по окклюзионной поверхности при вертикальной нагрузке и 145,974 МПа при наклонной

нагрузке по краю коронки (Рисунок 3).

При вертикальной нагрузке абатмент подвержен максимальным напряжениям с величиной 26,826 МПа в части, входящей в шахту имплантата; в условиях наклона нагрузки происходило значительное увеличение напряжений до 302,193 МПа по краю уступа абатмента. Максимальные напряжения в имплантате составляли 19,975 МПа по пришеечной поверхности при вертикальной нагрузке и с увеличением при наклонной до 255,799 МПа по краю платформы. Зарегистрированные напряжения в оптимальных условиях нагрузки и биомеханических факторов были намного ниже пределов прочности конструкционных материалов.

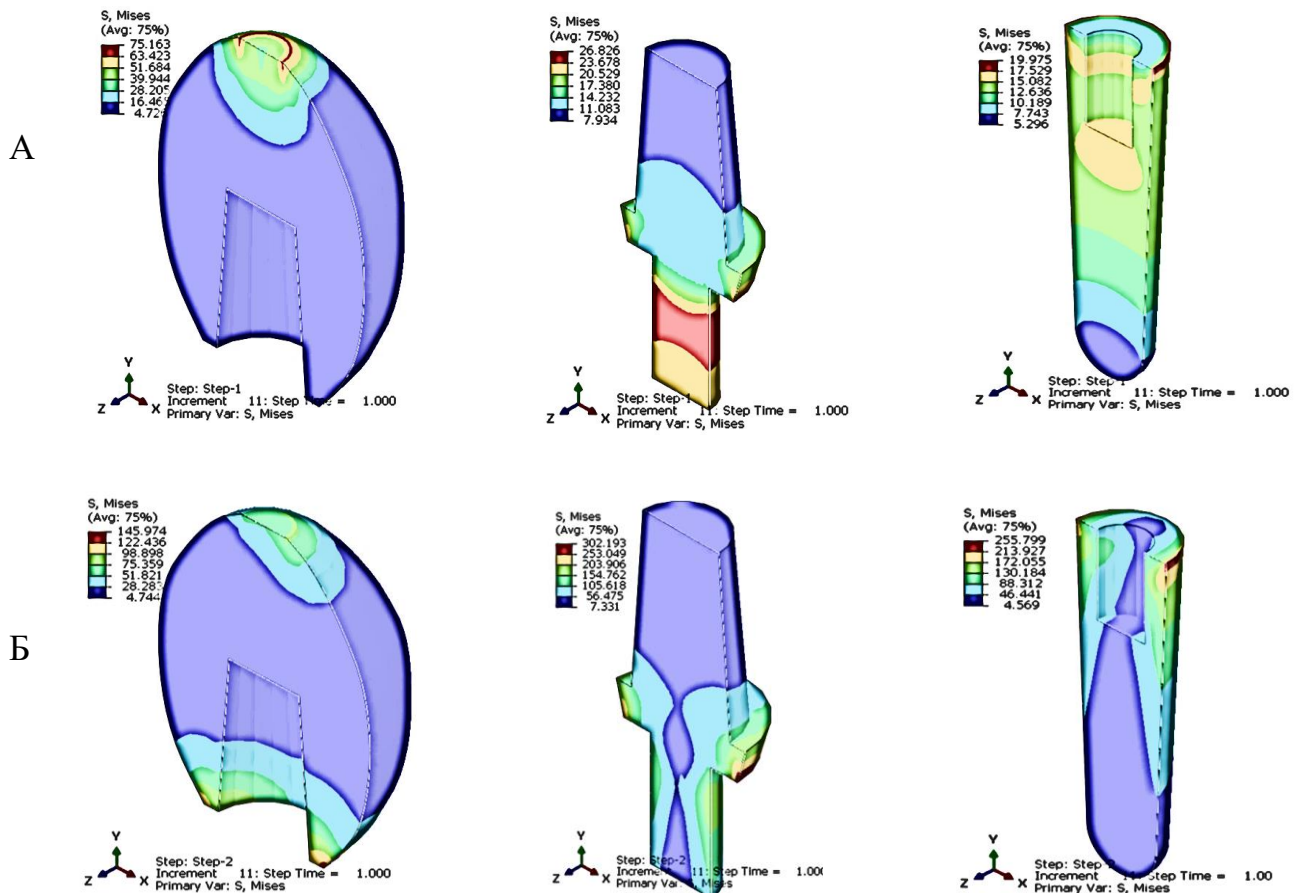


Рисунок 3 – Картины распределения напряжений в коронке, абатменте и имплантате при вертикальной (А) и наклонной (Б) нагрузках

Неблагоприятные биомеханические условия нагрузки имплантатов по-разному влияют на величину напряжений в конструкционных материалах протетической

конструкции, но фактически не меняют картину распределения напряжений в сравнении с базовой моделью (Таблица 1).

Таблица 1 – Максимальная величина напряжений в компонентах протетической конструкции на имплантате в неблагоприятных биомеханических условиях (МПа)

Компонент конструкции	Вертикальная нагрузка	Наклонная нагрузка
<i>Уменьшение длины имплантата (на 30%)</i>		
керамическая коронка	66,054	129,340
абатмент	25,378	207,975
имплантат	16,609	209,039
<i>Уменьшение диаметра имплантата (на 30%)</i>		
керамическая коронка	52,322	120,923
абатмент	45,834	542,173
имплантат	39,022	550,158
<i>Уменьшение толщины кортикальной кости (на 30%)</i>		
керамическая коронка	69,949	138,598
абатмент	26,425	280,508
имплантат	17,920	212,748
<i>Снижение модуля упругости кортикальной костной ткани (на 30%)</i>		
керамическая коронка	75,162	145,572
абатмент	27,394	299,939
имплантат	19,885	259,885
<i>Наклон абатмента 30°</i>		
керамическая коронка	58,826	132,480
абатмент	66,041	395,325
имплантат	57,633	280,055
<i>Резорбция костной ткани 50%</i>		
керамическая коронка	49,971	120,688
абатмент	33,490	357,159
имплантат	29,735	630,007
<i>Увеличение нагрузки на 30%</i>		
керамическая коронка	97,712	189,766
абатмент	34,874	392,851
имплантат	25,968	332,539
<i>Окклюзионный супраконтакт</i>		
керамическая коронка	16030,818	13384,914
абатмент	132,579	502,576
имплантат	20,002	255,811
<i>Контакт с костной тканью 50% (немедленная нагрузка)</i>		
керамическая коронка	65,680	138,947
абатмент	27,619	322,083
имплантат	21,843	290,630

В условиях вертикальной нагрузки измененные биомеханические условия функционирования имплантата, хотя и влияют на величину напряжений (в частности, при увеличении силы воздействия и при наличии окклюзионного супраконтакта), но далеки от пределов прочности изучаемых материалов. Наклонная нагрузка усугубляет негативное воздействие основных неблагоприятных биомеханических факторов. Относительно отдельных частей имплантатной конструкции степень изменения напряжений в неблагоприятных биомеханических условиях: при уменьшении диаметра (в абатменте и имплантате на 41,5% и 48,8% при вертикальной нагрузке, на 44,3% и 53,5% при наклонной), наклоне абатмента (при 15° в абатменте и имплантате на 25,5% и 21,4%, при 30° – на 59,3% и 65,3% при вертикальной нагрузке; на 23,6% и 8,6% при наклонной), при окклюзионном супраконтакте (в коронке и абатменте на 99,5% и 79,7% при вертикальной нагрузке, на 98,9% и 39,8% при наклонной), при немедленной нагрузке (в абатменте и имплантате на 6,2% и 11,9% при наклонной нагрузке), при резорбции костной ткани (при 30% – в абатменте и имплантате на 17,4% и 21,4% при вертикальной нагрузке, на 46,3% при наклонной; при 50% – на 19,9% и 32,8% при вертикальной нагрузке, на 15,4% и 59,4% при наклонной).

При замещении протяженного дефекта зубного ряда протетическая конструкция на имплантатах испытывает различающиеся напряжения в зависимости от числа опорных имплантатов (Таблица 2).

При замещении дефекта на примере отсутствия трех зубов последовательностью внутрикостных имплантатов с коронками по принципу «имплантат за каждый отсутствующий зуб» напряжения в самих имплантатах мало меняются в сравнении с базовой моделью. В других отделах протетической конструкции на трех имплантатах напряжения увеличиваются в сравнении с базовой моделью: при вертикальной нагрузке – в мостовидном протезе на 17,1%, абатментах на 69,5%; при наклонной нагрузке – соответственно на 31,1% и 35,9%.

Замещение дефекта зубного ряда мостовидным протезом с опорой на дентальные имплантаты существенно снижает напряжения в протетической конструкции и ее компонентах в сравнении с замещением рядом дентальных имплантатов: в мостовидном протезе, абатментах и имплантатах при вертикальной нагрузке на 91,7%,

58,3%, 46,0%; при наклонной нагрузке соответственно на 69,2%, 66,1%, 49,5%.

Таблица 2 – Максимальная величина напряжений в опорных имплантатах при замещении протяженного дефекта зубного ряда (МПа)

Компонент конструкции	Вертикальная нагрузка	Наклонная нагрузка
<i>Замещение дефекта имплантатами «за каждый отсутствующий зуб»</i>		
конструкция в сборке	90,693	471,702
керамический протез	90,693	212,002
абатменты	38,615	471,702
имплантаты	15,394	248,127
<i>Замещение дефекта мостовидным протезом на двух имплантатах</i>		
конструкция в сборке	16,101	160,019
керамический протез	7,547	65,297
абатменты	16,101	160,019
имплантаты	9,999	125,367
<i>Замещение дефекта мостовидным протезом на имплантате и зубе</i>		
конструкция в сборке	172,016	1053,476
керамический протез	119,667	400,456
абатменты	265,337	1053,476
имплантаты	57,844	207,020

Особым образом распределяются и характеризуются другими величинами напряжения в мостовидном протезе с опорой на имплантат и зуб. Ввиду амортизации пародонта зуба основные напряжения от нагрузки регистрируются в зоне имплантата (по краю коронки, уступу абатмента, шейке имплантата). При этом напряжения в указанных местах увеличиваются соответственно на 93,7%, 93,9%, 82,7% в сравнении с протезом на двух имплантатах при вертикальной нагрузке, на 83,7%, 84,8%, 39,5% при наклонной.

Выявлена биомеханическая целесообразность установки мостовидного протеза на двух имплантатах вместо коронок на трех имплантатах. Показана нецелесообразность включения зуба в опору мостовидного протеза при наличии опорного имплантата, поскольку функциональные напряжения в этом случае приближаются к пределам прочности конструкционных материалов – титана и керамики.

Электронно-микроскопический анализ контактирующих поверхностей имплантатов, абатментов, винтов удаленных имплантатов показал во всех случаях явления деформаций титановых поверхностей: смятости, стертости, расслоения, дефекты и лакуны, расплющивания, заусеницы, отколы (Рисунок 4). Деформации более выражены по краям платформы имплантатов, основания абатментов, по граням шестигранника узла соединения имплантатов и абатментов.



Рисунок 4 – Примеры деформации и дефектов платформы удаленных имплантатов (электронная микроскопия x до 2000 раз)

ВЫВОДЫ

1. В 4,4% случаев установки имплантатов (в основном через 5 лет нагрузки) происходят поломки компонентов протетических конструкций: имплантатов (4,0%), абатментов (11,1%), винтов (59,7%), коронок (19,0%), а также их сочетаний (6,2%) с возможностью замены без удаления 69,0% имплантатов. Треть поломок сопровождалась неблагоприятными биомеханическими условиями в виде незамещенных дефектов зубного ряда и недостаточного объема периимплантатной костной ткани.

2. Функциональные напряжения в коронке на имплантате составляют 75,163 МПа при вертикальной и на 47,8% больше при наклонной нагрузке, в абатменте соответственно 26,826 МПа и 91,1%, в имплантате 19,975 МПа и 92,2%. Локализация максимальных напряжений в указанных компонентах – окклюзионная поверхность, шахта имплантата, шейка имплантата – смещается при наклонной нагрузке в узел соединения коронки, абатмента и имплантата.

3. Увеличение напряжений в имплантате с покрывающей коронкой происходит: при уменьшении диаметра (в абатменте и имплантате на 41,5% и 48,8% при

вертикальной нагрузке, на 44,3% и 53,5% при наклонной), наклоне абатмента (при 15° в абатменте и имплантате на 25,5% и 21,4%, при 30° – на 59,3% и 65,3% при вертикальной нагрузке; на 23,6% и 8,6% при наклонной), при окклюзионном супраконтакте (в коронке и абатменте на 99,5% и 79,7% при вертикальной нагрузке, на 98,9% и 39,8% при наклонной), при немедленной нагрузке (в абатменте и имплантате на 6,2% и 11,9% при наклонной нагрузке), при резорбции костной ткани (при 30% – в абатменте и имплантате на 17,4% и 21,4% при вертикальной нагрузке, на 46,3% при наклонной, при 50% – на 19,9% и 32,8% при вертикальной нагрузке, на 15,4% и 59,4% при наклонной).

4. Замещение имплантатами более протяженного дефекта в сравнении с одиночным имплантатом характеризуется увеличением функциональных напряжений в коронках (на 17,1% и 31,1% при вертикальной и наклонной нагрузках) и абатментах (соответственно на 69,5% и 35,9%)

5. Биомеханика мостовидного протеза на двух имплантатах отличается от ситуации замещения имплантатами каждого отсутствующего зуба в дефекте идентичной протяженности снижением напряжений в коронках, абатментах и имплантатах: соответственно при вертикальной и наклонной нагрузках на 91,7% и 69,2%; 58,3% и 66,1%; 35,0% и 49,5%.

6. Электронно-микроскопический анализ выявляет во всех случаях деформации и дефекты удаленных имплантатов по контактным поверхностям абатментов, винтов и имплантатов.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. В целях профилактики деформации и поломок дентальных имплантатов и покрывающих конструкций при протезировании на имплантатах рекомендуется замещение всех дефектов зубных рядов пациента.

2. На основании отдаленных клинических результатов рекомендуется избегать применения узких имплантатов и с наклоном к альвеолярному гребню путем использования остеопластики.

3. Не рекомендуется немедленная нагрузка имплантатов в клинических условиях, осложненных неблагоприятными биомеханическими факторами.

4. При замещении дефектов зубного ряда, наряду с использованием опорных имплантатов за каждый отсутствующий зуб, возможно использование мостовидных протезов на имплантатах

5. Нецелесообразно применение мостовидных протезов с опорой на имплантат и зуб.

6. Для профилактики осложнений протезирования на дентальных имплантатах рекомендуется контроль (2 раза в год) окклюзионных взаимоотношений протезов с антагонистами, целостности композитной герметизации винтов имплантатов, а также профессиональная гигиена полости рта для профилактики резорбции периимплантатной костной ткани.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Анализ критических функциональных напряжений в имплантатах / **М. Р. Берсанова**, Э. А. Олесова, Р. У. Берсанов, З. С. С. Хубаев // Актуальные вопросы профилактики и лечения заболеваний полости рта : Сборник статей научно-практической конференции стоматологов ФМБА России, Москва, 18–19 апреля 2024 года. – Москва: Государственный научный центр Российской Федерации - Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, 2024. – С. 42–46.

2. **Берсанова, М.Р.** Анализ максимальных напряжений в коронках и опорных внутрикостных имплантатах / **М.Р. Берсанова**, А.Г. Зверьев, П.В. Кащенко // Актуальные вопросы стоматологии. Сборник научных трудов, посвященный основателю кафедры ортопедической стоматологии КГМУ, профессору Исааку Михайловичу Оксману. – Казань. – 2025. – С. 87–90.

3. **Берсанова, М. Р.** Зоны максимальных напряжений в дентальном имплантате при функциональных нагрузках / **М. Р. Берсанова**, В. Н. Олесова, П. В. Кащенко // Паринские чтения 2024. Диагностика, лечение, восстановительный период и диспансеризация пациентов с хирургической патологией черепно-челюстно-лицевой области : Сборник трудов Национального конгресса с международным участием, Минск, 03 мая 2024 года. – Минск: Изд. центр БГУ, 2024. – С. 4–8.

4. **Берсанова, М.Р.** Механические деформационные последствия многолетней эксплуатации дентальных имплантатов / **М.Р. Берсанова**, Б.М. Радзишевский, А.Я. Лернер // сборник VI Международной научно-практической конференции «Ученики-учителям». – Москва. – 2025. – С. 11–12.

5. **Берсанова, М.Р.** Роль углового абатмента в деформационных изменениях узла соединения «имплантат-абатмент» / **М.Р. Берсанова**, П.В. Кашенко, В.В. Микрюков, Р.У. Берсанов // Научный авангард : Сборник статей VII Научно-практической конференции и межвузовской студенческой олимпиады, Москва, 27 мая 2025 года. – Москва: Государственный научный центр Российской Федерации - Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, 2025. – С. 79–83.

6. Величина и распределение напряжений в титановом дентальном имплантате и покрывающей конструкции при функциональных нагрузках / **М. Р. Берсанова**, Е. Е. Олесов, Р. С. Заславский, Р.У. Берсанов, З.С. Хубаев // **Российский вестник дентальной имплантологии**. – 2023. – № 4(62). – С. 3–10.

7. Влияние размеров и положения имплантата в нижней челюсти на его напряженно-деформированное состояние при нагрузке / **М.Р. Берсанова**, Э.Ф. Алекберов, В.В. Микрюков, А.Г. Зверьяев // Ильинские чтения 2025: Сборник материалов международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов, Москва: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2025. – С. 358–360.

8. Напряженно-деформированное состояние внутрикостного дентального имплантата при нагрузке в неблагоприятных биомеханических условиях / **М. Р. Берсанова**, Е. Е. Олесов, Р. У. Берсанов, Э.А. Олесова, М.С. Гришков, С.А. Заславский // **Стоматология для всех**. – 2024. – № 3(108). – С. 32–38. – DOI 10.35556/idr-2024-3(108)32-38.

9. Напряжённо-деформированное состояние протетических конструкций на имплантатах при замещении дефекта зубного ряда / **М. Р. Берсанова**, В. Н. Олесова, Р. С. Заславский, Р.У. Берсанов, С.П. Ярилкина // **Российский стоматологический журнал**. – 2024. – Т. 28, № 4. – С. 432–438. – DOI 10.17816/dent629415. (**Chemical Abstracts**)

10. Отражение особенностей функциональной нагрузки конструкций на имплантатах на их напряжённо- деформированное состояние / **М. Р. Берсанова**, Д. В. Мартынов, М. С. Гришков, А. А. Попов // Научный авангард : Сборник статей VI Научно-практической конференции и межвузовской студенческой олимпиады, Москва, 25–28 мая 2024 года. – Москва: Государственный научный центр Российской Федерации - Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, 2024. – С. 67–71.

11. **Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024625103** Российская Федерация. Максимальные напряжения в дентальном имплантате и окружающей кости при нагрузке в неадекватных биомеханических условиях / **М. Р. Берсанова**, Э. А. Олесова, Р. У. Берсанов, Э. Ф. Алекберов – 2024624821, заявл. 30.10.2024, **опубл. 12.11.2024**

12. Трёхмерное математическое моделирование функциональных напряжений в протетических конструкциях / **М.Р. Берсанова**, Э.А. Олесова, А.А. Попов, Р.У. Берсанов, З.С. Хубаев // Ильинские чтения 2025: Сборник материалов международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов, Москва: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2024 – С. 211–214.

13. Частота и причины поломок имплантатов и покрывающих конструкций по данным анкетирования врачей-стоматологов / **М. Р. Берсанова**, В. Н. Олесова, С. А. Заславский, Р. У. Берсанов // **Российский вестник дентальной имплантологии.** – 2024. – № 1(63). – С. 15–20.

14. Электронно-микроскопический анализ деформирующихся поверхностей компонентов титановых дентальных имплантатов / **М.Р. Берсанова**, Б.М. Радзишевский, Е.А. Некрасова, Р.У. Берсанов, В.Н. Олесова // **Российский вестник дентальной имплантологии.** – 2025 №2 (68). – С. 59–64.

15. Распространенность и биомеханические причины деформаций и поломок несъёмных протезов на дентальных имплантатах. Учебное пособие для врачей стоматологов / **Берсанова М. Р.**, Попов А.А., Кащенко П.В., Мартынов Д.В., Зверьев А.Г. – Москва: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2025. – 47 с.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

НДС – напряженно-деформированное состояние

ОПТГ – ортопантомограмма

ПИ – периимплантит

ПП – предел прочности

МПа – Мега Паскаль

мкм – микрон

ЭМС – электронная микроскопия