

На правах рукописи



Заславский Роман Семенович

**Биомеханические факторы риска несъёмного протезирования
на дентальных имплантатах**

3.1.7. Стоматология

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
доктора 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 консультант:

доктор медицинских наук, профессор,
член-корреспондент РАН

Абакаров Садулла Ибрагимович

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», факультет усовершенствования врачей, кафедра хирургической стоматологии и имплантологии, заведующая кафедрой

Панин Андрей Михайлович – доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Научно-образовательный институт стоматологии им. А.И. Евдокимова, стоматологический факультет, кафедра пропедевтики хирургической стоматологии, заведующий кафедрой

Хафизов Раис Габбасович – доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Институт фундаментальной медицины и биологии, кафедра стоматологии и имплантологии, заведующий кафедрой

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный медицинский университет» Министерства Здравоохранения Российской Федерации

Защита состоится «20» февраля 2025 г. в 13:00 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, Зубовский бульвар, д.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

Многолетний опыт применения внутрикостных дентальных имплантатов показывает их высокую эффективность в качестве опор зубных протезов в отдаленные сроки после завершения протезирования (Богатов Е.А., 2020; Гветадзе Р.Ш. с соавт., 2019; Бадалян В.А. с соавт., 2023; Дурново Е.А. с соавт., 2022; Зекий А.О., 2018; Карабушин В.А., 2020; Колганов И.Н., 2022; Королев А.И., 2020; Кулаков А.А. с соавт., 2020; Решетников А.П. с соавт., 2023; Погосян Н.М., 2023; Розов Р.А., 2023; Симоненко А.А., 2020; Музыкин М.И. с соавт., 2023; Ашурко И. с соавт., 2021; Цициашвили А.М., 2020; Яременко А.И. с соавт., 2021; Revilla-León M. et al., 2023; Zhang C. et al., 2023; Rameh, S. et al., 2020). В полной мере это касается несъемных протезов при замещении частичных дефектов зубных рядов. Так, в анализе результатов 20-летней эксплуатации несъемных протезов, проведенном А.С. Ивановым и соавт. (2021), около 40% имплантатов сохраняли устойчивость и функциональность. На основании сохранности более половины имплантатов под несъемными протезами рассчитан средний срок функционирования коронок на имплантатах – 20 лет, мостовидных протезов с опорой на имплантаты – 15 лет.

В то же время стали очевидными типичные осложнения в состоянии периимплантатных тканей, следствием которых является дезинтеграция и удаление имплантата. Главным осложнением считается хроническое воспаление в периимплантатной десне с последующей резорбцией подлежащей костной ткани (Андреева С.Н. с соавт., 2023; Макарова Н.И., 2020; Михальченко Д.В., 2022; Григорьянц Л.А. с соавт., 2022; Lee S.J. et al., 2023). Доказана зависимость развития мукозита и периимплантита от экспрессии пародонтопатогенов и другой микрофлоры полости рта вследствие недостаточной гигиены рта (Яковлев М.В. с соавт., 2020; Махмудов Т.Г., 2019; Тарасенко С.В. с соавт., 2021; Романов А.С., 2022; Сакаева З.У., 2023; Mühlemann S. et al., 2022). Концентрации микроорганизмов вокруг имплантата способствуют отсутствию биологического имплантато-десневого соединения и технологический зазор между имплантатом и абатментом (Берсанова М.Р. с соавт., 2023; Мартынов Д.В., 2021).

Перегрузка периимплантатной костной ткани, как причина ее резорбции, мало изучена в клиническом плане, хотя путем математического моделирования проиллюстрирована значимость ряда биомеханических факторов для напряженно-деформированного состояния костной ткани (Мержоева Х.М. с соавт., 2023; Мурашов М. с соавт., 2023; Стрекалов А.А., 2021; Gibreel M.F et al., 2019; Mousa M.A. et al., 2021; Gupta S. et al., 2020; Falcinelli C. et al., 2023; Assoratgoon I. et al., 2022; Nie H. et al., 2023; Kul E., Korkmaz İ.N., 2021). Показана концентрация функциональных напряжений в кортикальной костной ткани вокруг платформы

имплантата, повышение величины напряжений при действии наклонной нагрузки (Кирсанова В.В. с соавт., 2023; Абакаров С.И. с соавт., 2023; Sun X. et al., 2023; Hosseini-Faradonbeh S.A., Katoozian H.R., 2022; Ichikawa H. et al., 2023; Prados-Privado M. et al., 2020; Alqahtani A.R. et al., 2023; Kim J.C. et al., 2022; Ruan W. et al., 2022; Storelli S. et al., 2021).

На фоне микробиологических факторов развития периимплантита биомеханические факторы риска осложнений имплантации изучены поверхностно и фрагментарно, что требует их комплексного экспериментально-клинического анализа.

Протезирование на дентальных имплантатах относится к дорогостоящим методам стоматологического лечения (Каганова О.С., 2019; Забаева М.Н. с соавт., 2020; Новоземцева Т.Н., 2021; Шаймиева Н.И., 2021; Янушевич О.О. с соавт., 2021, 2022; Вагнер В.Д. с соавт., 2021). Вызывают практический интерес экономические аспекты коррекции биомеханических условий установки имплантатов и их функционирования.

Степень разработанности темы исследования

В ряде научных исследований последнего времени приведены результаты протезирования на имплантатах, обобщающие десятилетний опыт ортопедического лечения с опорой на имплантаты (Бронштейн Д.А., 2018; Френч Д. со соавт., 2017; Camarda A.J et al., 2021). Эффективность протезирования на имплантатах в одних клинических ситуациях внушает оптимизм; относительно других условий функционирования протезов долгосрочность эксплуатации протезов на имплантатах вызывает большие сомнения ввиду быстрой дезинтеграции опорных имплантатов.

Общим пониманием основной причины удаления имплантатов на всех сроках их нагрузки является развитие воспаления в периимплантатной десне и последующая резорбция подлежащей костной ткани; избыток и агрессивность пародонтопатогенов, по аналогии с пародонтитом, обоснованно расценивается как основной фактор этиопатогенеза периимплантита (Ильясова С.Т., 2020; Чибисова М.А. с соавт., 2023; Shen L. et al., 2023).

Перегрузка костной ткани как возможная причина резорбции костной ткани и удаления имплантатов рассматривается в немногочисленных экспериментальных работах и в связи с отдельными биомеханическими факторами риска. С использованием трехмерного математического моделирования напряженно-деформированного состояния костной ткани вокруг имплантатов, в частности мини-имплантатов, с угловыми абатментами проведены исследования С.С. Комлева и соавт. (2023), П.О. Гришина и соавт. (2023), Р.А. Розова и соавт. (2020), ряда зарубежных авторов (Medina-Galvez R. et al., 2021; Kuroshima S. et al., 2024). При полном отсутствии зубов Д.А. Бронштейн (2018), Н.А. Узунян (2019) анализировали напряжения в костной ткани челюсти в зависимости от числа и материала опорных имплантатов под протяженными несъемными протезами.

Комплексных исследований по математическому моделированию функциональных напряжений в костной ткани и клиническому анализу эффективности протезирования в зависимости от широкого спектра биомеханических факторов риска установки и функционирования внутрикостных дентальных имплантатов ранее не проводилось.

Цель и задачи исследования

Цель: повышение эффективности несъёмного протезирования на дентальных внутрикостных имплантатах путем выявления и профилактики биомеханических факторов риска перегрузки костной ткани.

Задачи:

1. Проанализировать частоту установки и функционирования внутрикостных дентальных имплантатов в неадекватных биомеханических условиях при замещении частичных дефектов зубных рядов.
2. По результатам десятилетней эксплуатации несъёмных протезов на внутрикостных дентальных имплантатах установить роль неадекватных биомеханических условий их нагрузки на частоту и структуру осложнений протезирования.
3. В трехмерных математических моделях сопоставить параметры напряженно-деформированного состояния внутрикостного имплантата и зуба; сегмента интактного зубного ряда и соответствующего включенного дефекта, замещенного имплантатами.
4. В математическом эксперименте изучить влияние неадекватных биомеханических условий выбора, установки и нагрузки внутрикостных дентальных имплантатов на величину функциональных напряжений в кортикальной и губчатой периимплантатной костной ткани.
5. Сопоставить характеристики напряженно-деформированного состояния костной ткани сегмента нижней челюсти при разных вариантах замещения дефекта зубного ряда несъёмными протезами с использованием дентальных имплантатов.
6. Рассчитать совокупные затраты за 10-летний период на сохранение и коррекцию результатов протезирования на имплантатах в зависимости от биомеханических и профилактических условий функционирования.
7. Разработать научно-обоснованную прогностическую многофакторную модель состояния имплантатов в отдаленные сроки в зависимости от исходных биомеханических факторов.

Научная новизна

Впервые на современном этапе дан анализ биомеханических условий установки и функционирования внутрикостных дентальных имплантатов при несъёмном протезировании частичных дефектов зубных рядов. Определена частота выявления конкретных неадекватных биомеханических факторов риска современного несъёмного протезирования на имплантатах.

Впервые по итогам десятилетнего периода эксплуатации несъёмных протезов на имплантатах сопоставлены эффективность и осложнения протезирования на имплантатах с биомеханическими условиями их функционирования. Разработаны и зарегистрированы базы данных значений прогностического риска неблагоприятного исхода имплантации дентальных имплантатов и исходов имплантации в зависимости от биомеханических факторов функционирования имплантатов.

Впервые разработана прогностическая многофакторная модель состояния имплантатов в зависимости от исходных биомеханических факторов.

Впервые в условиях трехмерных математических моделей зуба и внутрикостного имплантата изучена степень негативного влияния разных биомеханических факторов функционирования имплантатов на величину и распределение напряжений в окружающей кортикальной и губчатой костной ткани.

Впервые в сопоставлении с напряженно-деформированным состоянием костной ткани сегмента интактного зубного ряда рассчитаны соответствующие показатели при замещении частичного дефекта зубного ряда разными конструкциями несъёмных протезов на имплантатах. Разработаны и зарегистрированы базы данных значений максимальных интегральных напряжений в периимплантатной костной ткани в разных биомеханических условиях функционирования имплантата и при замещении дефекта зубного ряда с использованием имплантатов с разными биомеханическими условиями функционирования.

Впервые установлена близость закономерностей влияния негативных биомеханических факторов по данным клинического анализа и математического моделирования напряженно-деформированного состояния костной ткани.

Впервые рассчитаны совокупные затраты за 10-летний период на обеспечение, сохранение и коррекцию результатов протезирования дифференцированно в зависимости от биомеханических факторов установки и эксплуатации опорных имплантатов. Выявлены значительно большие затраты на сохранение результатов протезирования на имплантатах при отсутствии систематической профилактики осложнений.

Теоретическая и практическая значимость работы

На основании клинических отдаленных результатов протезирования на имплантатах и данных трехмерного математического моделирования напряженно-деформированного состояния периимплантатной костной ткани сформирован ранжированный ряд негативных биомеханических условий установки внутрикостных имплантатов и их функционирования.

Сформированы базы данных исходов и значений прогностического риска неблагоприятного исхода имплантации дентальных имплантатов в зависимости от биомеханических факторов функционирования имплантатов, базы данных значений

максимальных интегральных напряжений в периимплантатной костной ткани в разных биомеханических условиях функционирования одиночного имплантата и при замещении дефекта зубного ряда. Предложена прогностическая многофакторная модель состояния имплантатов в зависимости от исходных биомеханических факторов.

Представлены данные о структуре и частоте осложнений несъёмного протезирования на имплантатах при контроле через 10 лет после окончания протезирования; показана большая доля имплантатов (достигающая 90%), сохраняющих функции опор несъёмных протезов.

Продемонстрирована объективность трехмерного математического моделирования при сопоставлении с клиническими результатами. Раскрыта степень повышения функциональных напряжений в костной периимплантатной ткани под воздействием неблагоприятных биомеханических факторов. Указаны биомеханические факторы, приближающие напряжения в костной ткани при наклонной нагрузке к пределам ее прочности: недостаточный диаметр имплантата, периимплантит с резорбцией кости более 30% длины имплантата, немедленная нагрузка имплантата с отсутствием костного контакта 50% его поверхности, наклон имплантата или применение абатмента с углом 30°, неполное замещение зубного ряда, наличие мостовидного протеза с опорой на имплантат и зуб.

Продемонстрирована разница напряженно-деформированного состояния костной ткани интактного зубного ряда и имплантата, сегмента зубного ряда и протезов на имплантатах, замещающих соответствующий дефект: более высокая величина напряжения вокруг имплантата и концентрация напряжений в пришеечной зоне; близость показателей напряженно-деформированного состояния при замещении дефекта зубного ряда имплантатами или мостовидным протезом на имплантатах.

Показана структура затрат на первичную коррекцию неблагоприятных биомеханических факторов, профилактику осложнений и их устранение. Выявлен ряд биомеханических факторов риска, первичное устранение которых обеспечивает экономию совокупных затрат на сохранение результатов протезирования.

Методология и методы исследования

В работе проведена клинико-рентгенологическая оценка состояния протезов и опорных имплантатов, установленных 10 лет назад. Проанализирована статистическая зависимость состояния периимплантатных тканей и частоты удаления имплантатов от биомеханических условий их установки и функционирования.

В экспериментальных условиях трехмерного математического моделирования сопоставлено при вертикальной и наклонной нагрузке напряженно-деформированное состояние кортикальной и губчатой костной ткани вокруг зуба и имплантата; мостовидного протеза с опорой на зубы или на имплантаты. Проанализирована степень увеличения напряжений в

костной ткани при функционировании имплантатов в неадекватных биомеханических условиях.

С учетом баз данных зависимости результатов протезирования на имплантатах в клинике и в условиях математического моделирования разработана прогностическая многофакторная модель состояния имплантатов в зависимости от исходных биомеханических факторов.

На основании частоты выявления осложнений у пациентов с разными биомеханическими условиями рассчитаны совокупные затраты за 10-летний период на сохранение и коррекцию результатов протезирования на имплантатах.

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

Положения, выносимые на защиту

1. В настоящее время до 65% внутрикостных имплантатов устанавливаются или функционируют в неадекватных биомеханических условиях – при этом через 10 лет исходное состояние периимплантатной костной ткани и десны выявляется не более чем у 10% имплантатов, тогда как в среднем у пациентов с имплантатами на этом сроке контроля неизменное состояние периимплантатных тканей регистрируется у 18% имплантатов.

2. Неблагоприятное влияние ряда биомеханических факторов достигает 23% по частоте удаления имплантатов при среднем показателе 11%. Степень влияния усиливается в последовательности: недостаточное количество опорных имплантатов в мостовидных протезах и недостаточный объем костной ткани, установка имплантатов с наклоном к альвеолярному гребню, объединение имплантатов и зубов протезной конструкцией, немедленная нагрузка имплантатов, короткие и узкие имплантаты, повышенная функциональная нагрузка и супраконтакты протезов на имплантатах, низкая плотность костной ткани и недостаточная толщина кортикальной кости, отсутствие апроксимальных контактов коронок на имплантатах, неполное замещение зубного ряда.

3. Функциональные напряжения в кортикальной и губчатой костной ткани вокруг дентальных имплантатов превышают до трех раз величину напряжений вокруг зуба при идентичных нагрузках; напряжения локализуются вокруг платформы имплантата и более выражены при наклонной нагрузке.

4. В неадекватных биомеханических условиях функционирования имплантатов напряжения в периимплантатной костной ткани могут увеличиваться до 5 раз.

5. При наклонной нагрузке имплантатов напряжения в костной ткани превышают пределы ее прочности при периимплантите с резорбцией кости на треть длины имплантата, немедленной нагрузке имплантата с отсутствием костного контакта 50% его поверхности,

наклоне имплантата или применении абатмента с углом 30° , вокруг узких имплантатов, неполном замещении зубного ряда, наличии мостовидного протеза с опорой на имплантат и зуб.

6. Разработанная прогностическая многофакторная модель на основе базы данных исходов имплантации в зависимости от биомеханических факторов функционирования имплантатов, а также базы данных значений максимальных интегральных напряжений в периимплантатной костной ткани в разных биомеханических условиях функционирования имплантатов отражают степень риска развития осложнений в состоянии имплантатов в отдаленные сроки и способствуют профилактике перегрузки имплантатов на этапе планирования имплантологического лечения.

7. Неблагоприятные биомеханические факторы увеличивают на 30–50% совокупные затраты за 10-летний период на сохранение и коррекцию результатов протезирования на имплантатах; затраты в 3 раза меньше при соблюдении диспансерных профилактических мероприятий; первичная коррекция ряда неблагоприятных биомеханических факторов обуславливает через 10 лет экономию совокупных затрат на имплантацию, протезирование и профилактические мероприятия.

Степень достоверности и апробация результатов

Диссертация соответствует принципам и стандартам доказательной медицины. Достоверность проведенного исследования определяется достаточной репрезентативностью выборки пациентов с имплантатами и данными проведенного клинического исследования, результатами трехмерного математического моделирования напряженно-деформированного состояния периимплантатной костной ткани, экономическими расчетами, выполненными на современном уровне с использованием соответствующего программного обеспечения, применением современных методов статистической обработки данных.

Материалы исследования доложены на Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Современные достижения стоматологии» (Киров, 2017), IV Международной научно-практической конференции «Современная медицина: актуальные вопросы и перспективы развития» (Уфа, 2017), Международной научно-практической конференции «Стоматология славянских государств» (Белгород, 2017, 2023), Всероссийской научно-практической конференции «Современные аспекты комплексной стоматологической реабилитации пациентов с дефектами челюстно-лицевой области» (Краснодар, 2019), Конференции «Актуальные вопросы стоматологии», посвященной основателю кафедры ортопедической стоматологии КГМУ, профессору И.М. Оксману (Казань, 2022, 2023), VI Международной научно-практической конференции «Междисциплинарный подход к диагностике, лечению и профилактике заболеваний тканей пародонта у пациентов с сахарным

диабетом» (Санкт-Петербург, 2023), Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Ильинские чтения» (Москва, 2022, 2023, 2024), Научно-практической конференции МБУ ИНО ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России «Научный авангард» (Москва, 2022, 2023, 2024), Научно-практической конференции стоматологов ФМБА России «Актуальные вопросы профилактики и лечения заболеваний полости рта» (Москва, 2024).

Апробация диссертационной работы проведена на заседании кафедры стоматологии Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России (02.09.2024, протокол № 1).

Внедрение результатов исследования в практику

Результаты исследования внедрены в практику работы ФГБУЗ «Клинический центр стоматологии» ФМБА России (Москва), МБУЗ «Стоматологическая поликлиника города Ростова-на-Дону» (Ростов-на-Дону), Центра стоматологии, косметологии и красоты «РОАНГОЛИ» (Москва), ФБУЗ «Приволжский окружной медицинский центр» ФМБА России (Нижний Новгород); в учебный процесс на кафедре ортопедической и общей стоматологии ФГБОУ ДПО РМАНПО, кафедре стоматологии Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, кафедре клинической стоматологии и имплантологии Академии постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, кафедре общей стоматологии ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова», кафедре ортопедической стоматологии ФГБОУ ВО КубГМУ Минздрава России.

Личный вклад автора

Автор самостоятельно в полном объеме провел анализ литературных данных по теме исследования; осуществил клинико-рентгенологический анализ 1222 внутрикостных имплантатов под несъемными протезами с эксплуатацией в течение 10 лет; провел дифференцированный анализ зависимости эффективности имплантации от биомеханических условий установки и нагрузки имплантатов; разработал «Прогностическую многофакторную модель состояния имплантатов в зависимости от исходных биомеханических факторов». С участием автора проведено трехмерное математическое моделирование напряженно-деформированного состояния кортикальной и губчатой костной ткани вокруг имплантатов в сравнении с зубами, в сегменте нижней челюсти при замещении включенного дефекта имплантатами в сравнении с мостовидными протезами с опорой на зубы или на имплантаты; в трехмерных математических моделях рассчитана степень увеличения напряжений в костной ткани при функционировании имплантатов в разных неадекватных биомеханических условиях. Созданы и зарегистрированы базы данных значений максимальных интегральных напряжений

в периимплантатной костной ткани в разных биомеханических условиях функционирования. С участием автора проведены расчеты совокупных затрат за 10-летний период на сохранение и коррекцию результатов протезирования на имплантатах в зависимости от биомеханических и профилактических условий функционирования.

Публикации по теме диссертации

По результатам исследования автором опубликовано 54 печатные работы, в том числе 19 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 доктора наук; 7 статей в изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science, Scopus, PubMed, MathSciNet, zbMATH, Chemical Abstracts, Springer; 3 иные публикации; 17 публикаций в сборниках материалов международных и всероссийских научных конференций; 4 учебно-методических пособия; 4 свидетельства 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 257 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 37 рисунками и 23 таблицами. Список литературы включает 380 источников, из которых 287 отечественных и 93 зарубежных.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материал и методы исследования

Проведён клинико-рентгенологический анализ состояния периимплантатных тканей, протезов на имплантатах в зависимости от биомеханических условий имплантации и протезирования у 391 пациента, которым 10 лет назад завершено несъёмное протезирование на 1222 дентальных имплантатах. Среди пациентов было 175 мужчин и 216 женщин в возрасте от 30 до 87 лет.

Состояние внутрикостных имплантатов проанализированы по критериям: резорбция костной ткани; периимплантатное воспаление; рецессия десны; удаление имплантатов; сохранность исходного состояния; поломка конструкции.

Критерии состояния периимплантатных тканей анализировались и учитывались в зависимости от имеющихся факторов биомеханического риска относительно следующих параметров: объем костной ткани (достаточный, недостаточный некомпенсированный, компенсированный костной пластикой); плотность костной ткани (низкая, оптимальная, высокая); толщина кортикальной кости (1 мм, 2 мм, 3 мм); костная пластика (нет, направленная тканевая регенерация с имплантацией, предварительная пластика); длина имплантата (5 мм, 7 мм, 9 мм, 11 мм, 13 мм, 15 мм); диаметр имплантата (2,5; 3,0; 3,5; 4,0); узел соединения (конусный глубокий, конусный короткий, монолитный имплантат); соотношение имплантатов и протезных единиц в несъемных протезах (1:1, 1:1,5, 1:2, 1:2,5); положение имплантата (перпендикулярно альвеолярному гребню, с наклоном к альвеолярному гребню); окклюзионные супраконтакты на имплантатах (да, нет); замещение дефектов зубного ряда (полное, неполное); жевательная нагрузка (повышенная, оптимальная, пониженная); апроксимальные контакты (да, нет); объединение с зубами (да, нет); нагрузка (немедленная, ранняя, отсроченная).

Для анализа напряжённо-деформированного состояния (НДС) периимплантатных тканей использован метод трёхмерного математического моделирования и созданы 4 серии конечно-элементных моделей (Рисунок 1). Первая отображала напряжения в костной ткани (раздельно в кортикальной и губчатой кости) вокруг одиночного дентального имплантата в сопоставлении с естественным зубом (премоляром нижней челюсти). Вторая содержала 12 моделей неадекватных биомеханических условий функционирования имплантатов: диаметр имплантата меньше на 30%; длина имплантата меньше на 30%; диаметр и длина имплантата меньше на 30%; плотность кости меньше на 30%; толщина кортикальной кости меньше на 30%; окклюзионный супраконтакт; резорбция периимплантатной кости на 30%; резорбция периимплантатной кости на 50%; контакт с костной тканью 50%; угловой абатмент 15°; угловой абатмент 30°; увеличение нагрузки на 30%. Третья серия отражала картину НДС сегмента зубного ряда нижней челюсти с тремя дентальными имплантатами в сопоставлении с интактным сегментом зубного ряда, а также с мостовидным протезом на двух зубах. Четвертая серия моделировала неадекватные биомеханические условия функционирования имплантатов, замещающих включённый дефект зубного ряда: отсутствие апроксимальных контактов коронок на имплантатах; неполное замещение дефекта зубного ряда (наличие двух имплантатов и отсутствие между ними зуба); мостовидный протез на двух имплантатах; мостовидный протез с опорой на имплантат и зуб.

Во всех базовых моделях реализованы естественные размеры, физико-механические свойства и пределы прочности материалов и тканей (Таблица 1). Ко всем моделям прикладывалась нагрузка 150 Н в вертикальном и наклонном направлениях (под углом 45° со

щёчной стороны). Математические результаты (МПа) автоматически иллюстрировались цветочислованием распределения напряжений.

Таблица 1 – Параметры физико-механических характеристик тканей зубов и челюсти, материалов имплантатов и коронок

Материалы, ткани	Модуль упругости E, МПа	Коэффициент Пуассона
Кортикальная кость	20 500	0,32
Губчатая кость	3500	0,34
Эмаль	81 700	0,28
Дентин	23 300	0,31
Цемент	4200	0,3
Периодонт	10	0,3
Титан	116 000	0,32
Керамика	200 000	0,22

С помощью математических расчетов проведена адаптация полученных показателей напряженно-деформированного состояния костной ткани в вышеперечисленных вариантных условиях нагрузки к результатам ряда предшествующих исследований других авторов с отличающимися свойствами костной ткани и имплантатов (S. Gupta et al., 2020; R. Medina-Galvez et al., 2021), а также адаптация результатов проведенного биомеханического моделирования стало при замещении на имплантатах дефекта зубного ряда и вокруг одиночных имплантатов с разными биомеханическими условиями функционирования. Математическое сопоставление позволило расширить перечень показателей функциональных напряжений костной ткани в более широком спектре биомеханических условий.

На основе полученных в исследовании данных клинической эффективности протезирования в зависимости от биомеханических факторов функционирования имплантатов и стоимости клинических манипуляций на различных этапах реализации плана реабилитации построена соответствующая экономическая многофакторная модель сравнительной эффективности необходимых затрат. Для построения модели оценивались потребность, стоимость поддержания исходного состояния и коррекции неблагоприятных исходов, на фоне затрат на коррекцию рассматриваемого фактора риска на начальном этапе реабилитации пациента (остеопластика, мягкотканная пластика, профессиональная гигиена, закрытый кюретаж, лоскутная операция, замена протезной конструкции, реимплантация. В расчетах учитывалась не только частота выявленных за 10 лет осложнений, но и доля пациентов (комплаентных), соблюдающих диспансерную коррекцию гигиены и окклюзии (19,7% комплаентных пациентов). Финансовые показатели сведены к условной стоимости одной имплантации, (условная единица затрат – у.е.з.). Рассчитан экономический эффект от

управления (нивелирования) биомеханическими рисками на начальном этапе имплантологического лечения.

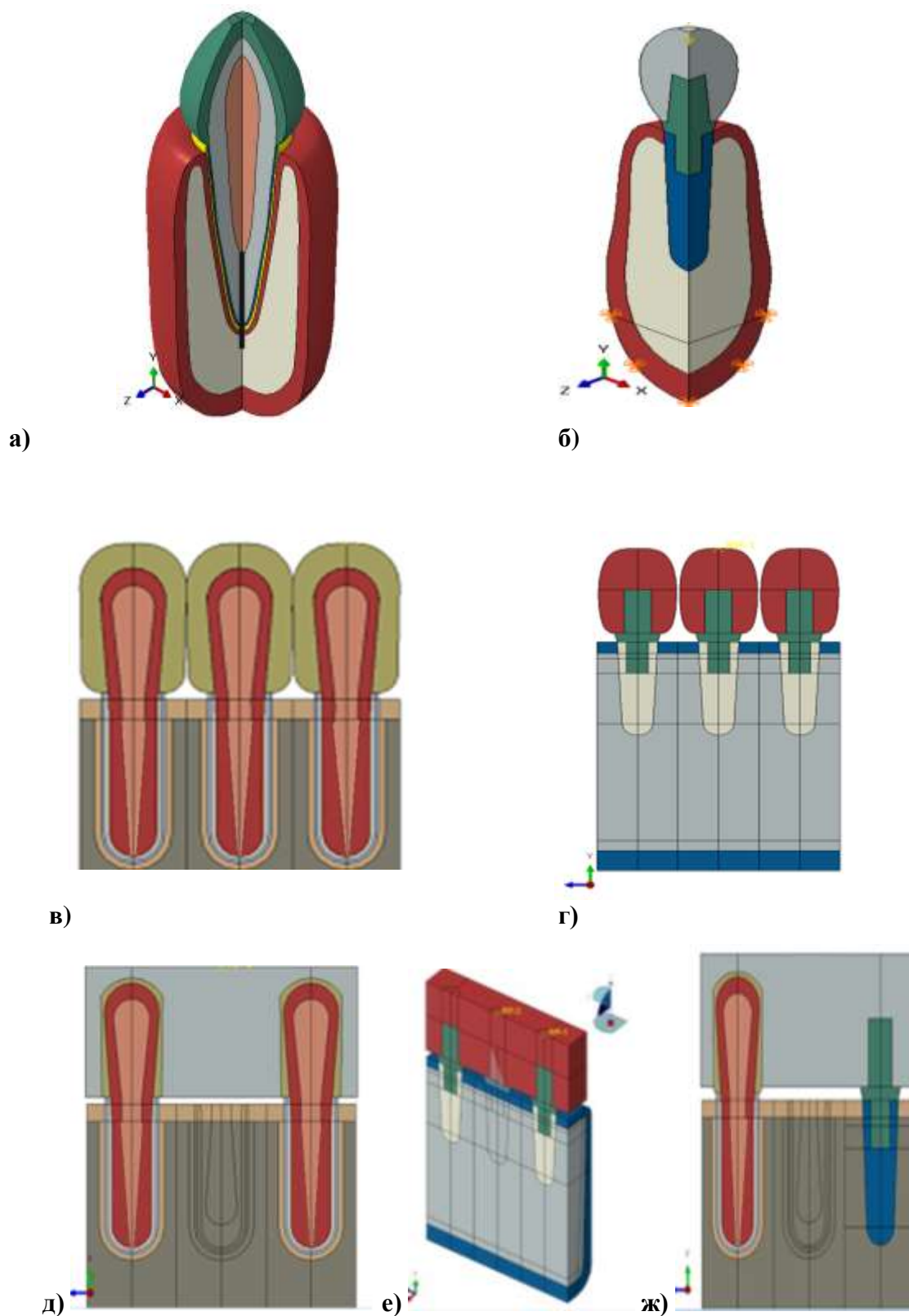


Рисунок 1 – Базовые трёхмерные математические модели: а – зуб, б – внутрикостный имплантат, в - сегмент интактного зубного ряда; г – дефект зубного ряда при замещении имплантатами; д – мостовидным протезом на зубах, е – мостовидным протезом на имплантатах, ж - мостовидным протезом на имплантате и зубе

Статистическая обработка результатов исследования проводилась с использованием программы StatTech v. 3.1.10 («Статтех», Россия). Количественные показатели описывались с помощью средних арифметических величин M и стандартных отклонений SD с границами доверительного интервала ДИ 95%. При разработке прогностической модели зависимости количественной переменной от изучаемых факторов использовался метод линейной регрессии.

Результаты собственных исследований

Анализ состояния имплантатов через 10 лет после установки, проведённый в зависимости от биомеханических факторов функционирования имплантатов, позволил установить частоту выявляемости оптимальных и уязвимых с позиций биомеханики условий имплантации, характерных для современной имплантологии (Таблица 2). По критерию исходного объёма костной ткани – достаточный, недостаточный некомпенсированный, компенсированный костной пластикой – имплантаты составляли 22,5%, 15,%, 62,0%, что подтверждает редкое условие имплантации – достаточный объём костной ткани. Толщина кортикальной костной ткани преимущественно составляла 1 мм и 2 мм (соответственно 65,7% и 33,4%). У 62,0% имплантатов проводилась костная пластика: у 27,8% – предварительная пластика, у 34,2% – направленная тканевая регенерация во время установки имплантатов; 38,0% имплантатов устанавливались без костной пластики, в том числе при дефиците костной ткани. 66,9% имплантатов устанавливались перпендикулярно альвеолярному гребню, а 33,1% – наклонно. Размеры имплантатов по длине были: 11 мм – 43,5%, 9 мм – 24,1%, 13 мм – 12,8% , 7 мм – 12,8%, 5 мм – 2,7%, 15 мм – 4,1%. Диаметр имплантатов: 3 мм – 44,0%, 2,5 мм – 29,1%, 3,5 мм – 17,8%, 4,0 мм – 9,1%. Конусное соединение с абатментом имели большинство имплантатов: с глубоким конусом 56,8%, с коротким – 41,0%; 2,2% имплантатов были неразборными. 42,6% имплантатов функционировали при полном замещении дефектов в зубном ряду, 57,4% – при частичном замещении дефектов, т. е. с возможной перегрузкой имплантатов. 36,6% имплантатов были опорой одной искусственной коронки, 41,9% включались в мостовидные протезы из трех единиц на двух имплантатах, 14,5% имплантатов – из четырёх единиц на двух имплантатах, 7,0% имплантатов были основой протяжённых мостовидных протезов по принципу на 2 имплантата 5 протезных единиц (соответственно соотношение имплантатов и протезных единиц 1:1; 1:1,5; 1:2; 1:2,5). Мостовидные протезы с опорой на имплантаты и зубы включали 19,2% имплантатов. Нагрузка имплантатов в большинстве случаев (83,1%) была отсроченная после периода остеоинтеграции, 9,3% имплантатов подвергались ранней и 7,6% немедленной функциональной нагрузке. Необходимые апроксимальные контакты коронок на имплантатах с зубами или другими протезами были характерны для 60,4% имплантатов, отсутствие контактов – у 39,6%.

Таблица 3 – Структура биомеханических факторов риска у пациентов с несъёмными протезами на дентальных имплантатах

Факторы риска	Всего	Плотность костной ткани			Объем костной ткани			Костная пластика			Толщина кортикальной кости						
		низкая	оптималь	высокая	достат.	недостат. некомпенсир.	компенсир. костной пластикой	нет	НТР с имплант.	предварит. пластика	1 мм	2 мм	3 мм				
Количество имплантатов	1222	395	614	213	275	189	758	464	418	340	803	408	11				
% от всех имплантатов	100,0	32,3	50,3	17,4	22,5	15,5	62,0	38,0	34,2	27,8	65,7	33,4	0,9				
Длина имплантата (мм)					Диаметр имплантата (мм)					Узел соединения			Положение имплантата				
5	7	9	11	13	15	2,5	3,0	3,5	4,0	конусный глубок.	конусный коротк.	монолит. имплантат	перпендик. альвеол. гребню		наклон к альвеол. гребню		
33	156	294	532	156	51	356	538	217	111	694	501	27	817		405		
2,7	12,8	24,1	43,5	12,8	4,1	29,1	44,0	17,8	9,1	56,8	41,0	2,2	66,9		33,1		
Соотношение имплантат. и прот. единиц				Окклюз. супраконт.		Замещение всех дефектов		Жевательная нагрузка			Апроксим. контакты		Объединение с зубами		Нагрузка		
1:1	1:1,5	1:2	1:2,5	да	нет	полное	неполн.	повыш.	оптим.	пониж.	да	нет	да	нет	немедл.	ранняя	отсроч.
447	512	177	86	714	508	521	701	344	727	151	484	738	235	987	93	114	1015
36,6	41,9	14,5	7,0	58,4	41,6	42,6	57,4	28,1	59,5	12,4	39,6	60,4	19,2	80,8	7,6	9,3	83,1
Примечание: НТР – направленная тканевая регенерация																	

У многих имплантатов (58,4%) выявлялись окклюзионные супраконтакты вследствие окклюзионных искажений в процессе многолетней эксплуатации. Для 59,5% имплантатов функциональная нагрузка оценивалась как оптимальная, для 28,1% – повышенная из-за недостаточного количества имплантатов в области жевательных зубов, для 12,4% – пониженная в связи с отсутствием антагонистов. Таким образом, до настоящего времени не учитываются и не корректируются неблагоприятные условия во многих случаях использования имплантатов

По итогам анализа десятилетнего использования несъёмных протезов на внутрикостных дентальных имплантатах установлено удаление 11,4% имплантатов (Рисунок 2). Воспаление периимплантатных тканей разной степени выраженности характерно для многих имплантатов (70,8%). Этот показатель обусловлен отсутствием регулярной диспансеризации (гигиенической и окклюзионной), низкой комплаентностью пациентов и неблагоприятными биомеханическими условиями функционирования имплантатов. При этом хроническое воспаление в периимплантатной десне сочеталось с резорбцией костной ткани, т. е. периимплантитом, у 55,2% установленных имплантатов. У 18,3% имплантатов наблюдалась рецессия десны. Неизменное состояние мягких и костных тканей вокруг имплантатов после 10-летнего периода эксплуатации встречалось у 17,8% установленных имплантатов. Различные поломки протетических конструкций на имплантатах, не требующие их удаления, наблюдались у 7,8% имплантатов на разных сроках эксплуатации (сколы керамической облицовки, ослабление и деформация трансокклюзионных винтов, расцементировка коронок.

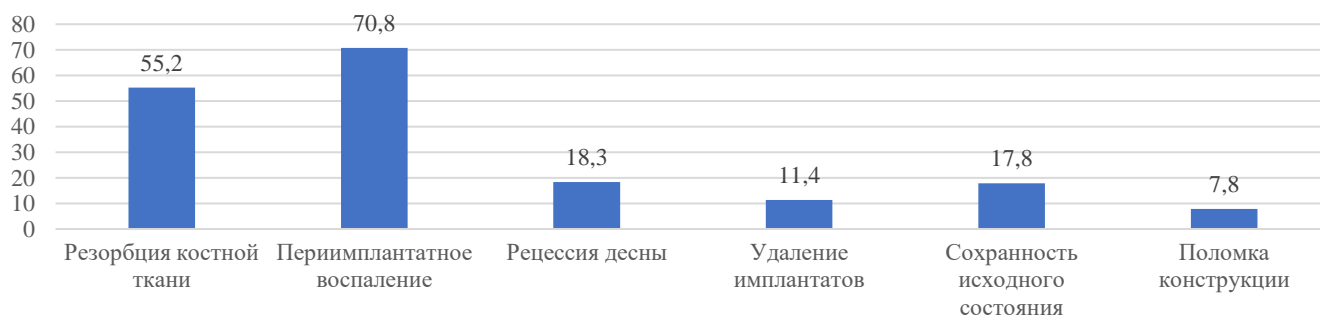


Рисунок 2 – Состояние несъёмных протезов и опорных внутрикостных имплантатов через 10 лет функциональной нагрузки (%)

Эффективность имплантации зависит от плотности, объёма костной ткани и толщины кортикальной пластины в зоне имплантации (Рисунок 3). В зависимости от исходной плотности костной ткани, а именно низкой, оптимальной, высокой, удаления имплантатов за десятилетний период были в количестве 14,9%, 10,4%, 7,5%. В этих группах частота выявления периимплантатного воспаления составляла соответственно: 78,4%, 69,7%, 59,6%. С увеличением плотности костной ткани выявляемость резорбции периимплантатной кости

уменьшалась – 71,4%, 50,2%, 39,4%. Также уменьшается выявляемость рецессии десны – 23,8%, 18,2%, 8,5%. Поломки протетической конструкции встречались у 13,2%, 5,4%, 4,7% протезов на имплантатах соответственно в кости с низкой, оптимальной и высокой плотностью. Без изменений в периимплантатных тканях сохранялись 6,6%, 19,9%, 32,9% имплантатов, установленных в указанных условиях.

Важность объёма костной ткани (исходно достаточный, недостаточный и некомпенсированный, компенсированный костной пластикой) видна при сравнении частоты удаления имплантатов (соответственно 10,5%, 21,2%, 9,2%). Та же закономерность отмечается при анализе выявляемости хронического воспаления десны: 72,7%, 78,8%, 68,1%. Резорбция костной ткани встречалась у 54,2% в достаточном объёме кости, у 50,6% после остеопластики, а при дефиците костной ткани - у 75,1%. Если в условиях установки имплантатов в недостаточном объёме кости рецессия десны наблюдалась у 25,4%, то в условиях достаточного и компенсированного объёма - у 17,1% и 17,0% имплантатов. Восприятие нагрузки при недостаточном объёме костной ткани заметно чаще сопровождалось поломками протезов – 8,0% и 6,2% при достаточном и компенсированном объёме кости и 13,8% при недостаточном. Неизменные параметры периимплантатных тканей отсутствовали в исходно недостаточном объёме костной ткани, в то время как 16,7% и 22,7% имплантатов были без осложнений при достаточном и компенсированном объёме.

В отсутствии костной пластики удаление имплантатов составляло 14,8% против 10,5% и 7,6% в условиях НТР с имплантацией и до имплантации. Относительно развития периимплантатного воспаления имплантаты без костной пластики, с пластикой во время или предварительно перед имплантацией распределялись соответственно: 80,8%, 66,3%, 62,6%, относительно резорбции костной ткани – соответственно 62,7%, 52,8%, 47,6% относительно рецессии десны 20,7%, 18,2%, 15,3%; по поломкам протезов соответственно 9,9%, 6,9%, 5,9%. Через 10 лет функционирования сохранялось исходное состояние периимплантатных мягких и костных тканей у 4,3% имплантатов без костной пластики, 23,2% – с НТР во время имплантации, 29,7% – при предварительной остеопластике.

Если при толщине 3 мм удалений имплантатов не наблюдалось, то при толщине 2 мм и 1 мм удалялись через 10 лет 10,5% и 12,0% имплантатов от установленных в перечисленных условиях. Относительно периимплантатного воспаления выявляемость была 54,5%, 68,1% и 72,3% при толщине кортикальной пластины 3 мм, 2 мм, 1 мм, резорбция костной ткани – соответственно 36,3%, 42,9%, 61,6%, рецессия десны – соответственно 9,1%, 15,6%, 19,8%; поломка конструкций – 0,0%, 6,9%, 8,3%. Без осложнений функционировали 45,5%, 21,3%, 15,7% имплантатов при установке в кость с кортикальной пластиной 3 мм, 2 мм, 1 мм.

Установлено увеличение частоты удаления имплантатов с уменьшением длины имплантатов. Так, при длине имплантатов 15 мм, 13 мм, 11 мм, 9 мм, 7 мм, 5 мм удалялись из них за 10 лет 5,9%, 6,4%, 11,5%, 11,2%, 16,7%, 18,2%; периимплантатное воспаление выявлялось соответственно у 60,8%, 68,6%, 68,2%, 73,8%, 76,9%, 81,8%; резорбция костной ткани с уменьшением длины имплантатов увеличивалась – 41,2%, 42,3%, 50,0%, 60,9%, 73,1%, 81,8%; рецессия десны – 11,8%, 12,8%, 17,7%, 17,7%, 26,2%, 33,3%. Поломка протезов наблюдалась по мере уменьшения длины имплантатов в следующем количестве: 7,8%, 5,8%, 7,5%, 8,5%, 9,6%, 9,1%. Снижение числа имплантатов с сохранностью исходного состояния периимплантатных тканей в зависимости от уменьшения их длины отражено долей имплантатов с неизменными тканями: 33,3%, 25,0%, 19,7%, 15,0%, 6,4%, 0,0% имплантатов.

Выявлено ухудшения результатов протезирования с уменьшением диаметра имплантатов: удалялись 8,1%, 9,7%, 11,7%, 12,9% имплантатов с диаметром соответственно 4,0 мм, 3,5 мм, 3,0 мм, 2,5 мм. Периимплантатное воспаление, резорбция костной ткани и рецессия десны встречались у 58,5%, 45,9%, 12,6% имплантатов диаметром 4 мм, при диаметре 3,5 мм – соответственно 62,2%, 49,8%, 14,7%, при 3,0 мм – соответственно 70,4%, 53,9%, 18,4%, при 2,5 мм – соответственно 80,3%, 63,2%, 22,2%. Поломка протезов происходила у имплантатов с диаметром 4,0 мм, 3,5 мм, 3,0 мм, 2,5 мм в количестве 2,7%, 5,5%, 8,2%, 10,0%. Сохранность периимплантатных тканей уменьшалась пропорционально диаметру имплантатов: 33,3%, 28,1%, 17,8%, 6,7%.

Проявились преимущества глубокого конусного узла соединения имплантата с абатментом: удалены за 10 лет 9,1% против 14,2% при коротком конусном соединении и 18,5% при неразборном имплантате. По критерию периимплантатного воспаления осложнения распределяются соответственно как 64,6%, 78,8% и 81,5%, по резорбции костной ткани – соответственно 50,3%, 61,3%, 66,7%, по рецессии десны – 16,1%, 20,9%, 25,9%. Поломки протезов чаще наблюдались при коротком конусном соединении: 9,8% против 6,3% при глубоком конусном и 7,4% при неразборном имплантате. Неизменность периимплантатных тканей встречалась у 26,4% имплантатов с глубоким конусным узлом соединения, 7,0% – при коротком конусе, не обнаружена у монолитных имплантатов.

При установке с наклоном удаления имплантатов достигали 21,9% против 6,1% при перпендикулярной установке, периимплантатное воспаление наблюдалось соответственно у 78,0% и 67,2%, резорбция костной ткани – у 78,0% и 43,8%, рецессия десны – у 19,8% и 17,6%, поломка конструкции – у 14,3% и 4,5%, без осложнений выявлялись имплантаты только при перпендикулярной установке относительно альвеолярного гребня (26,7%).

В идеальных условиях по протяженности несъемного протеза (на каждый имплантат – искусственная коронка) удаление имплантатов составляло 7,1%, при соотношении имплантатов

и протезных единиц 1:1,5 – 10,9%, 1:2 – 17,5%, 1:2,5 – 23,3%; воспаление в периимплантатных тканях соответственно увеличению протяжённости протезов составляло по выявляемости 88,4%, 81,9%, 58,4%, 55,7% от установленных в этих условиях, резорбция костной ткани – 84,8%, 63,8%, 50,8%, 51,0%, рецессия десны – 37,2%, 26,5%, 17,3%, 12,5%. Поломка конструкции наблюдалась у 7,2% имплантатов при соотношении с протезными единицами 1:1, 6,6% – 1:1,5, 10,7% – 1:2, 11,6% – 1:2,5. Без изменений периимплантатные ткани были в идеальном соотношении 1:1 в количестве 33,8%, 1:1,5 – 20,7%, 1:2 – 0,6%, 1:2,5 – 0,0%.

При полном замещении протезами дефектов зубных рядов частота удаления имплантатов через 10 лет была 9,2% против 12,8%, воспаление в периимплантатных тканях соответственно у 51,4% и 85,4%, резорбция костной ткани – 41,2% против 65,5%; рецессия десны – 16,8% против 19,4%; поломки протезов – 6,9% и 8,4%. При неполном замещении зубного ряда неизменённые периимплантатные ткани оставались только у 1,9% имплантатов, тогда как при полном замещении – у 39,3%.

В условиях повышенной, оптимальной и пониженной нагрузки удалялись за 10 лет соответственно 15,4%, 10,7%, 5,3% имплантатов. Периимплантатное воспаление было характерно для 83,4% имплантатов при повышенной нагрузке, 67,5% – при оптимальной и 57,6% – при пониженной. Резорбция костной ткани диагностировалась соответственно у 65,1% имплантатов, 52,2% и 46,3%, рецессия мягких тканей – у 15,4%, 10,7%, 5,3% имплантатов, нарушение целостности протезов было соответственно у 11,9%, 6,3% и 5,3% имплантатов. Без изменений периимплантатных тканей оставались 36,4% имплантатов без нагрузки, 21,7% – с оптимальной и 1,2% – с повышенной нагрузкой.

При наличии супраконтактов удалялись 14,7% имплантатов против 6,7%, если супраконтакты не выявлялись, периимплантатное воспаление характерно соответственно для 84,2% и 52,0% резорбция костной ткани – 77,7% и 23,4%; рецессия десны – 22,4% и 12,6%, поломка протезов – 9,9% и 4,7%. Только 1,1% имплантатов с супраконтактами сохраняли периимплантатные ткани и 41,3% имели сохранённые ткани при отсутствии супраконтактов.

При наличии апроксимальных контактов за 10 лет удалялись 8,1% имплантатов против 13,6% – при отсутствии апроксимальных контактов, периимплантатное воспаление и резорбция костной ткани соответственно 59,9% и 46,1% против 77,9% и 61,1%; рецессия десны у 9,9% и 23,9%. Поломка протезов наблюдалась у 4,9% имплантатов с апроксимальными контактами и 9,6% – без контактов. Сохранённые периимплантатные ткани наблюдались соответственно у 32,0% и 8,5% имплантатов.

Объединение с зубами единым мостовидным протезом через 10 лет нагрузки приводило к удалению 20,4% таких имплантатов против 9,2% необъединённых с зубами. Хроническое периимплантатное воспаление, резорбция костной ткани, рецессия десны встречались при

объединении имплантатов с зубами у 78,7%, 85,1% и 29,8% имплантатов против 67,4%, 49,5% и 15,6% – при отсутствии опорных зубов. Нарушения протетической конструкции встречались у 11,9% имплантатов, объединённых с зубами, и у 6,8% необъединённых имплантатов. 22,1% имплантатов, функционирующих без объединения с зубами, сохраняли исходную топографию и состояние периимплантатных тканей, тогда как при объединении с зубами таких имплантатов не было.

В условиях немедленной, ранней и отсроченной нагрузки частота удаления имплантатов составляла 19,3%, 14,9%, 10,2%. Периимплантатное воспаление встречалось соответственно у 79,6%, 74,6% и 69,5% имплантатов; резорбция костной ткани – у 64,5%, 59,6%, 53,7%; рецессия десны – у 31,2%, 26,3%, 16,3%. Поломки протезов распределялись в условиях разного срока нагрузки как 11,8%, 9,6%, 7,2%. Без изменения периимплантатных тканей через 10 лет нагрузки оставались 20,3% имплантатов с отсроченной нагрузкой, 10,5% – с ранней и 1,1% – с немедленной нагрузкой.

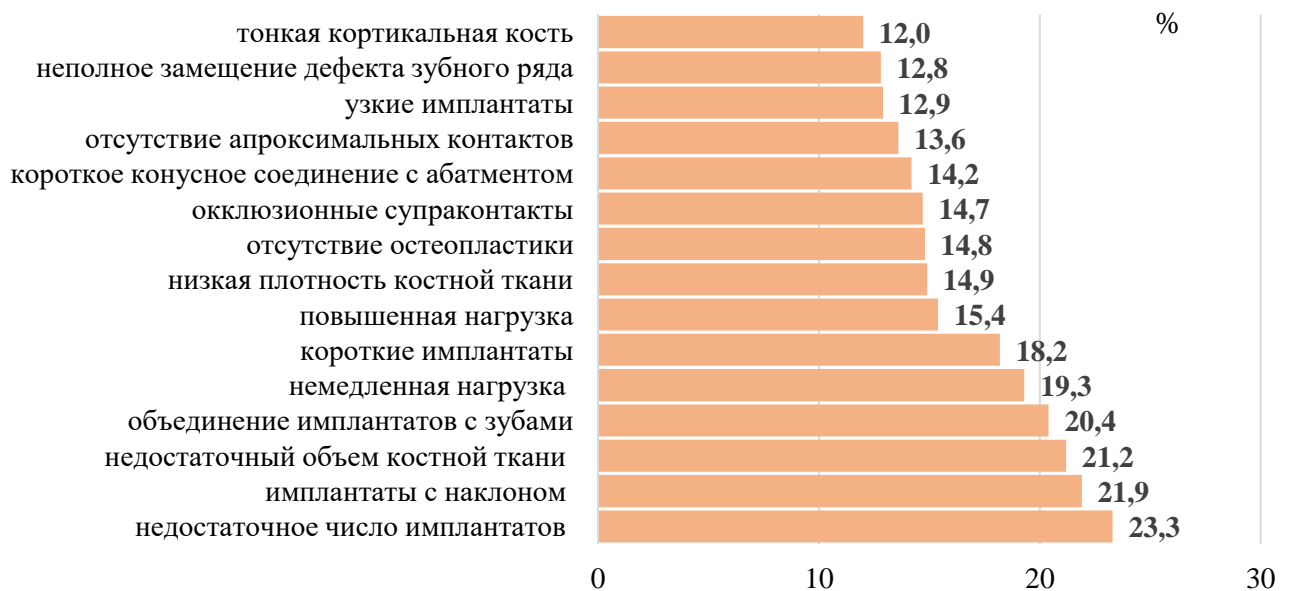


Рисунок 3 – Зависимость удаления имплантатов от неадекватных биомеханических условий функционирования (срок – 10 лет)

Полученные результаты зарегистрированы в виде баз данных: «База данных значений прогностического риска неблагоприятного исхода имплантации дентальных имплантатов», «Исходы имплантации в зависимости от биомеханических факторов функционирования имплантатов». По итогам разработана прогностическая многофакторная модель состояния имплантатов в зависимости от исходных биомеханических факторов, в которой отражена соответствующая факторам вероятность наступления неблагоприятного исхода (резорбция костной ткани, периимплантатное воспаление, рецессия десны, удаление имплантатов, поломка конструкции) (выдержки в Таблице 3).

Таблица 3 – Прогностическая многофакторная модель состояния имплантатов в зависимости от исходных биомеханических факторов

Исход после 10 лет	Резорбция костной ткани	Периимплантатное воспаление	Рецессия десны	Удаление имплантатов	Поломка конструкции
Фактор риска	Совокупное действие всех факторов риска				
Совокупность всех факторов риска	0,89	0,94	0,59	0,46	0,50
Объем костной ткани					
достаточный	0,89	0,95	0,59	0,45	0,57
недостаточный некомпенсированный	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Толщина кортикальной кости					
1 мм	0,92	0,95	0,65	0,50	0,40
3 мм	0,65	0,79	0,24	0,00	0,00
Длина имплантата					
5 мм	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
13 мм	0,76	0,92	0,42	0,26	0,23
Диаметр имплантата					
2,5	0,96	0,98	0,82	0,70	0,64
4,0	0,77	0,85	0,37	0,26	0,10
Положение имплантата					
перпендикулярно гребню	0,79	0,91	0,50	0,24	0,18
с наклоном к альвеолярному гребню	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Соотношение имплантатов и протезных единиц в несъемных протезах					
1:1	0,80	0,88	0,36	0,23	0,23
1:2	1,00	1,00	0,98	0,97	0,96
Замещение дефектов зубного ряда					
полное	0,71	0,79	0,42	0,26	0,21
неполное	0,99	1,00	0,93	0,89	0,83
Объединение с зубами					
да	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
нет	0,84	0,92	0,50	0,36	0,28
Примечание: красный цвет – высокий уровень прогностического риска; жёлтый цвет – умеренный уровень прогностического риска; зелёный цвет – низкий уровень прогностического риска					

В математическом эксперименте по влиянию биомеханических условий имплантации напряженно-деформированного состояние периимплантатной получены базовые показатели в сравнении с костной тканью вокруг зуба: при вертикальной нагрузке максимальные напряжения в кортикальной костной ткани 10,550 МПа локализуются вокруг шейки имплантата, в губчатой костной ткани – 4,185 МПа под апикальной частью имплантата; при наклонной нагрузке напряжения увеличиваются соответственно до 100,199 МПа и 13,989 МПа и концентрируются вокруг шейки имплантата (Рисунок 4). Вокруг зуба костная ткань подвержена меньшим напряжениям: кортикальная кость при вертикальной нагрузке 5,066 МПа в средней трети лунки зуба и скатов челюсти, губчатая кость – 1,382 МПа под апексом зуба; при наклонной нагрузке соответственно 27,909 МПа в стенках челюсти в проекции апекса и 4,375 МПа у шейки и апекса.

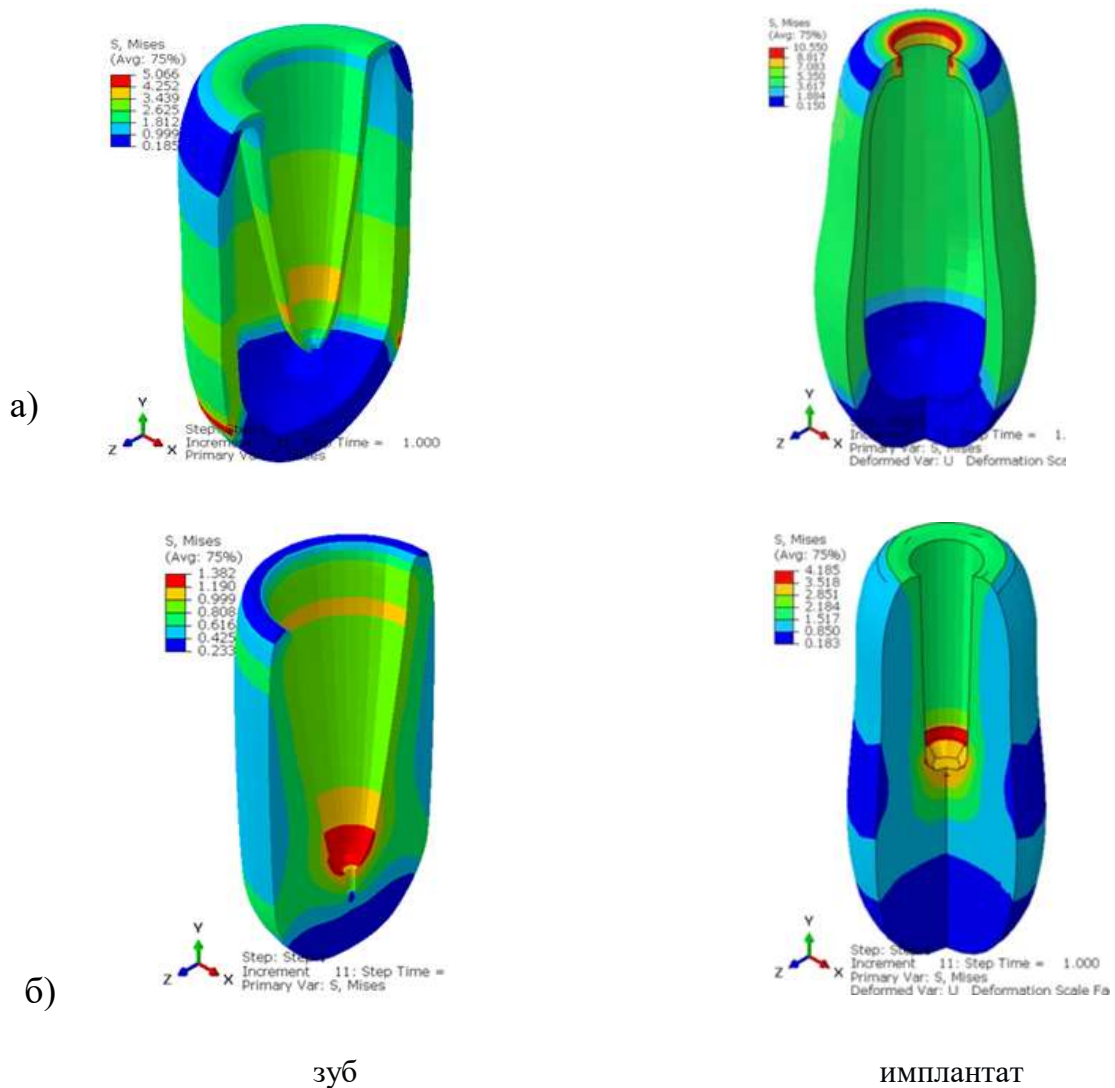


Рисунок 4 – Распределение интегральных напряжений при вертикальной нагрузке в кортикальной (а) и губчатой (б) костной ткани вокруг имплантата и зуба

Напряженно-деформированное состояние в периимплантатной костной ткани существенно меняется в зависимости от биомеханических условий функционирования имплантата (Таблица 4). Уменьшение длины имплантата (на 30%) увеличивает напряжения как в кортикальной, так и в губчатой кости при вертикальной нагрузке (соответственно на 27,7% и 21,4%). Более существенное увеличение напряжений происходит при уменьшении диаметра имплантата на 30%: в кортикальной кости при вертикальной нагрузке на 89,6%, наклонной – 104,7%; в губчатой кости при наклонной нагрузке на 55,4%. Совместное уменьшение длины и диаметра имплантата увеличивает напряжения в костной ткани на 68,5% и 45,9% при вертикальной нагрузке (в кортикальной и губчатой кости) и на 80,2% и 65,0% соответственно при наклонной нагрузке.

Уменьшение толщины кортикальной пластинки увеличивает напряжения в подлежащей губчатой костной ткани при наклонной нагрузке на 13,4%, а при вертикальной – на 21,7%; в самой кортикальной кости её истончение увеличивает напряжения на 78,2% при вертикальной и на 23,4% при наклонной нагрузках.

Резорбция костной ткани при периимплантите на треть высоты имплантата сильно увеличивает напряжения в губчатой кости: на 87,3% при вертикальной нагрузке и на 272,2% при наклонной нагрузке. Кортикальная костная ткань ввиду резорбции практически не имеет контакта с поверхностью имплантата и напряжения в ней уменьшаются на 59,5% при вертикальной нагрузке, на 67,9% при наклонной нагрузке. Усугубление потери костной ткани вследствие периимплантита наполовину высоты имплантата уже не меняют напряжения в кортикальной костной ткани по сравнению с картиной при резорбции на треть высоты имплантата; в то же время ещё больше увеличиваются напряжения в губчатой кости – в сравнении с базовой моделью на 127,0% при вертикальной нагрузке, на 396,7% при наклонной.

Влияние наклонной нагрузки на имплантат через угловой абатмент (15°) заключается в увеличении напряжений в кортикальной и губчатой костной ткани при вертикальной нагрузке на 69,2% и на 35,2% и в губчатой кости на 9,4% при наклонной нагрузке. Ещё больший наклон абатмента сильнее увеличивает напряжения в костных тканях: в кортикальной кости на 202,0% в сравнении с базовой моделью при вертикальной нагрузке, в губчатой кости – соответственно на 72,8% и 18,5% при вертикальной и наклонной нагрузках.

Увеличение нагрузки на треть пропорционально увеличивает напряжения в костной ткани.

Супраконтакт коронки на имплантате незначительно увеличивает напряжения в окружающей костной ткани за счёт точечной концентрации напряжений в коронке.

Таблица 4 – Максимальные интегральные напряжения в периимплантатной костной ткани в разных биомеханических условиях функционирования имплантата (МПа)

Костная ткань	имплантат		Ø имплантата < на 30%		L имплантата < на 30%		Ø и L имплантата < на 30%		толщина кортикальной кости < на 30%		окклюзионный супраконтакт	
	в	н	в	н	в	н	в	н	в	н	в	н
кортикальная кость	10,550	100,199	20,006	205,129	13,466	102,853	17,774	180,570	18,803	123,653	11,556	110,189
губчатая кость	4,185	13,989	4,121	21,732	5,080	14,058	6,107	23,080	5,095	15,861	5,189	15,990
Костная ткань	резорбция кости на 30%		резорбция кости на 50%		контакт с костью 50%		абатмент 15°		абатмент 30°		нагрузка > на 30%	
	в	н	в	н	в	н	в	н	в	н	в	н
кортикальная кость	4,273	32,184	4,331	30,891	9,928	97,743	17,853	96,176	31,857	94,271	13,720	130,259
губчатая кость	7,838	52,062	9,499	69,480	4,164	21,627	5,659	15,310	7,230	16,574	5,440	18,186
Примечание: в – вертикальная нагрузка, н – наклонная нагрузка												

В ситуации с немедленной нагрузкой, когда контакт с костной тканью отсутствует между витками поверхности установленного имплантата и он предположительно составляет 50,0%, контактирующая костная ткань подвержена повышению напряжения только в слое губчатой кости на 54,6% при наклонной нагрузке.

По результатам математического анализа напряжённо-деформированного состояния зарегистрирована «База данных значений максимальных интегральных напряжений в периимплантатной костной ткани в разных биомеханических условиях функционирования имплантата».

При увеличении протяжённости включённого дефекта зубного ряда напряженно-деформированное состояние костной ткани различается в зависимости от опор протетической конструкции (зубы, имплантаты) и их количества. В базовой математической модели интактного зубного ряда получены величины максимальных напряжений при вертикальной и наклонной нагрузках: соответственно в кортикальной кости 5,959 МПа и 47,095 МПа; в губчатой кости – 2,325 МПа и 6,405 МПа (Таблица 5). При вертикальной нагрузке напряжения имеются во всей кортикальной лунке нагруженного зуба с вовлечением в напряжённую зону межзубных перегородок рядом стоящих зубов (величина этих напряжений составляет половину от напряжений в лунке нагруженного зуба); в губчатой костной ткани эти напряжения соответствуют зоне максимальных напряжений в кортикальной лунке. При наклонной нагрузке максимальные напряжения локализуются по краю альвеолярной лунки как в кортикальной, так и в губчатой кости.

Другая базовая модель, а именно, мостовидный протез с опорой на 2 зуба, характеризуется максимальными напряжениями в кортикальной костной ткани 8,209 МПа при вертикальной нагрузке и 56,088 МПа – при наклонной; в губчатой кости соответственно 2,508 МПа и 8,472 МПа; напряжения возрастают в сравнении с интактным зубным рядом (Таблица 5). Максимальные напряжения проявляются симметрично в обоих опорных зубах преимущественно в верхней части лунок зубов.

Таблица 5 – Максимальные интегральные напряжения в костной ткани бокового отдела интактного зубного ряда и при замещении включённого дефекта мостовидным протезом (МПа)

Костная ткань	Интактный зубной ряд		Мостовидный протез	
	В	Н	В	Н
кортикальная кость	5,959	47,095	8,209	56,088
губчатая кость	2,325	6,405	2,508	8,472
Примечание: в – вертикальная нагрузка, н – наклонная нагрузка				

Замещение дефекта зубного ряда протяжённостью три зуба имплантатами по количеству отсутствующих зубов, мостовидным протезом на двух имплантатах или мостовидным протезом с опорой на имплантат и зуб формирует разные характеристики напряжённо-деформированного состояния в костной ткани (Таблица 6).

Напряжения вокруг имплантатов в сравнении с интактным зубным рядом больше на 88,7% в кортикальной кости при вертикальной и на 33,4% при наклонной нагрузках; в губчатой костной ткани соответственно на 39,4% и 66,2%. В кортикальной кости вокруг трёх имплантатов при вертикальной и наклонной нагрузках напряжения в основном локализуются вдоль шейки нагруженного имплантата со снижением к рядом расположенным имплантатам; в губчатой кости при вертикальной нагрузке максимальные напряжения отмечаются у дна нагруженного имплантата; при наклонной нагрузке – вокруг его верхней трети.

Отсутствие апроксимального контакта коронок на имплантатах не меняет картину напряженно-деформированного состояния в сравнении с рядом имплантатов с наличием апроксимальных контактов коронок, однако величина напряжений меняется в сторону увеличения: в кортикальной кости при вертикальной нагрузке на 26,7%, при наклонной – на 15,9%; в губчатой кости соответственно на 30,6% и 7,2%.

Таблица 6 – Максимальные интегральные напряжения в костной ткани при замещении дефекта зубного ряда с использованием имплантатов с разными биомеханическими условиями функционирования (МПа)

Костная ткань	3 имплантата (апроксимал. контакт коронок)		3 имплантата (без апроксимал. контакта коронок)		2 имплантата (неполное замещение дефекта)		мостов. протез на 2-х имплантатах		мостов. протез на имплантате и зубе	
	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н
кортикальная кость	11,247	62,832	14,253	72,804	15,925	83,418	10,196	68,782	20,130	109,506
губчатая кость	3,241	10,645	4,233	11,415	4,841	13,600	2,945	10,425	4,476	15,566
Примечание: в – вертикальная нагрузка, н – наклонная нагрузка										

Важный результат заключается в отсутствии существенных различий (не более 9%) в напряжениях костной ткани в моделях с тремя имплантатами и с мостовидным протезом на двух имплантатах.

При сравнении с мостовидным протезом с опорой на два зуба напряжения при замене опор на имплантаты увеличиваются в костной ткани: в кортикальной кости на 24,2% и 22,6% при вертикальной и наклонной нагрузках; в губчатой кости на 17,4% и 23,1.

Особенно значимое увеличение напряжений и их смещение в сторону имплантата регистрируется в костной ткани вокруг мостовидного протеза с опорой на зуб и имплантат (Рисунок 5). Вокруг имплантата напряжения в кортикальной кости увеличиваются в сравнении с протезом на двух имплантатах на 97,4% при вертикальной нагрузке и на 59,2% при наклонной; в губчатой кости – соответственно 52,0% и 49,3%. В сравнении с базовой моделью (три имплантата) напряжения увеличиваются на 79,0% и 74,3% в кортикальной кости соответственно при вертикальной и наклонной нагрузках, на 38,1% и 46,2% в губчатой кости.

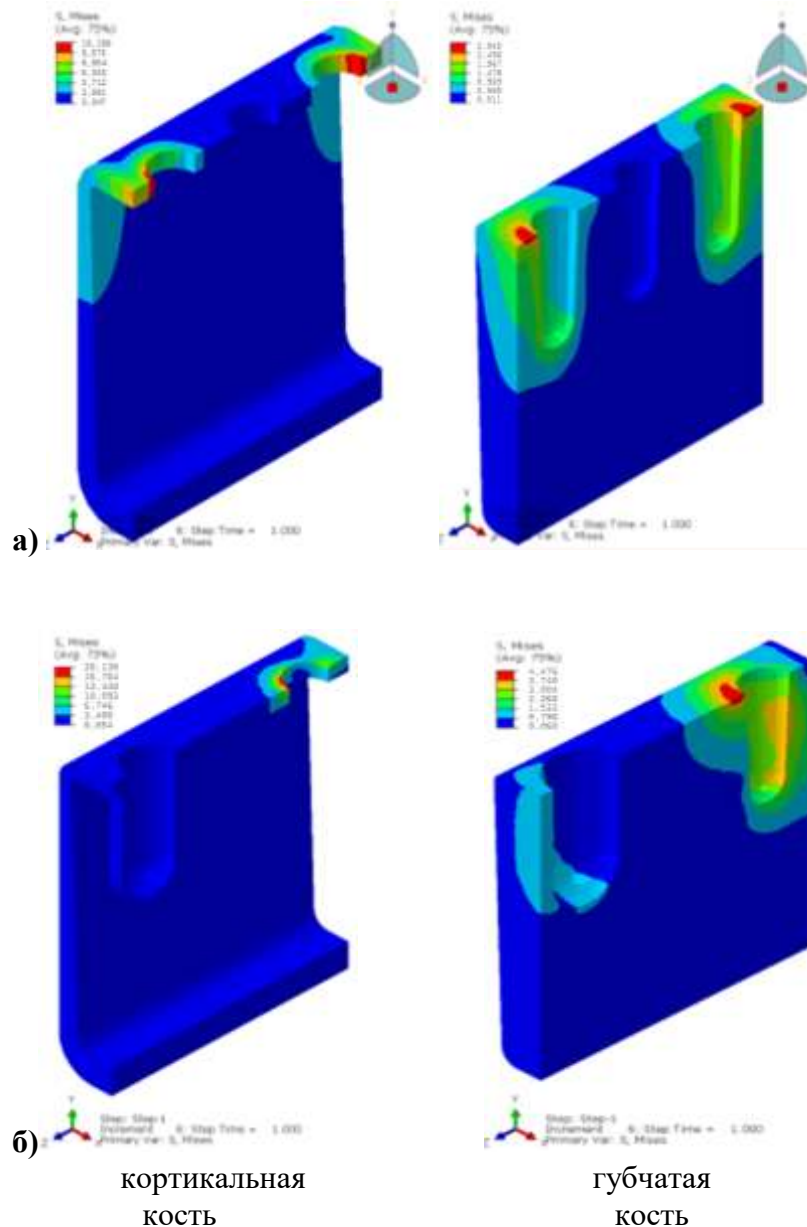


Рисунок 5 – Напряженно-деформированное состояние костной ткани сегмента нижней челюсти с дефектом зубного ряда, замещённым мостовидным протезом на двух имплантатах (а) и на имплантате и зубе (б) при вертикальной нагрузке

Также в сравнении с моделью с тремя имплантатами неполное замещение дефекта зубного ряда (на примере двух имплантатов при отсутствии трех зубов) показывает повышение напряжений вокруг нагруженного имплантата: кортикальной кости при вертикальной нагрузке на 41,6%, при наклонной – на 32,8%; в губчатой кости – соответственно 49,4% и 27,8%.

Относительно пределов прочности костной ткани в уязвимых биомеханических условиях функционирования имплантатов установлено, что на границе предела находятся напряжения в губчатой кости при наклонной нагрузке в двух ситуациях: в мостовидном протезе с опорой на имплантат и зуб; неполном замещении зубного ряда.

По итогам математического анализа зарегистрирована «База данных значений максимальных интегральных напряжений в костной ткани при замещении дефекта зубного ряда с использованием имплантатов с разными биомеханическими условиями функционирования».

Математическое объединение результатов напряжённо-деформированного состояния костной ткани при замещении имплантатами дефекта зубного ряда (отсутствие трёх зубов) и результатов напряжений вокруг одиночных имплантатов в разных биомеханических условиях, а также объединение с результатами других авторов в других условиях моделирования нагрузки имплантатов позволило расширить сведения о биомеханических показателях протезирования на имплантатах.

На основе клинических данных, близких по результатам к анализу напряжений в костной ткани, разработана многофакторная модель сравнительной эффективности затрат на диспансерное наблюдение и коррекцию осложнений имплантации в зависимости от исходных биомеханических факторов и затрат на их коррекцию на начальном этапе. Совокупные затраты за 10 лет с момента окончания протезирования на имплантатах составили на установку и протезирование 1,25 у.е.т. с последующей профилактикой или лечением осложнений в состоянии периимплантатных тканей (на 1 установленный имплантат). Выявлена существенная разница в затратах пациентов в зависимости от соблюдения диспансерных мероприятий (комплаентных и некомплаентных пациентов): 0,41 и 1,46 у.е.т. на протезирование с имплантацией и последующее лечебно-профилактическое сопровождение за 10 лет; экономия комплаентного пациента за 10-летний период с каждого установленного имплантата равняется стоимости имплантации.

С учётом частоты выявления осложнений установлены затраты на лечение периимплантатного воспаления (0,34 у.е.з.), устранение рецессии десны (0,10 у.е.з.), профилактику прогрессирования и устранение резорбции костной ткани (0,39 у.е.з.), устранение поломки протеза (0,14 у.е.з.), замещение дефекта при удалении имплантата (0,49 у.е.з.) (в сумме 1,46 у.е.з.). Доли соответствующих затрат в общих затратах при развитии осложнений составляют 23,3%, 6,9%, 26,7%, 9,6%, 33,6%.

Факторы биомеханического риска существенно влияют на совокупные затраты за 10-летний период эксплуатации протезов на имплантатах (Рисунок 6). Так, при средних затратах на всех пациентов (в расчёте на 1 установленный имплантат) 1,25 у.е.з., затраты при оптимальной плотности костной ткани составляют 1,13 у.е.з., при низкой – возрастают на 34,7%; при достаточном объёме костной ткани затраты составляют 1,24 у.е.з., при недостаточном и некомпенсированном – возрастают на 39,8%. При толщине кортикальной костной ткани 1 мм или 2 мм совокупные затраты различаются на 19,8%. С уменьшением длины и диаметра имплантата увеличиваются совокупные затраты: при длине имплантата 5 мм и 11 мм разница в затратах составляет 39,2%, при диаметре имплантата 2,5 мм и 3,5 мм – 33,8%. Короткий конусный узел соединения имплантата с абатментом обуславливает увеличение затрат на 35,5%. На 56,7% увеличиваются совокупные затраты при установке имплантатов с наклоном. Увеличение числа протезных единиц на 1 имплантат в мостовидном протезе увеличивает расходы: например, разница при соотношении имплантатов и протезных единиц 1:2 и 1:1,5 составляет 36,6%. Наличие окклюзионных супраконтактов приводит к существенному увеличению совокупных затрат (на 59,8%). Неполное замещение дефектов зубного ряда сопровождается увеличением суммарных затрат на 41,4%. Повышенная жевательная нагрузка, например, при частичном восстановлении зубного ряда, увеличивает затраты на 35,9%. Отсутствие апроксимальных контактов увеличивает затраты на 40,6%. Мостовидный протез с опорой на имплантат и зуб характеризуется более высокими суммарными затратами в сравнении с протезом только на имплантатах (на 47,8%). Немедленная нагрузка имплантата отличается по суммарным затратам от отсроченной на 39,6%.

Первичная коррекция неблагоприятных биомеханических условий во время установки имплантатов и протезирования способна сократить суммарные затраты на имплантацию, протезирование и профилактику осложнений относительно ряда биомеханических факторов. В частности, это касается мероприятий по повышению плотности костной ткани (остеопластика, направленная тканевая регенерация), применения имплантатов с глубоким конусным соединением, уменьшения соотношения в мостовидном протезе имплантатов и протезных единиц до 1:2, исключения окклюзионных супраконтактов, обеспечения апроксимальных контактов протезов, соблюдения показаний к немедленной нагрузке имплантатов. Соответствующая экономия колеблется от 0,18 у.е.з. до 0,87 у.е.з., что составляет 14,4–69,6% от суммарных средних затрат.



Рисунок 6 – Зависимость совокупных затрат за 10-летний период эксплуатации протезов на имплантатах от биомеханических факторов и комплаентности пациентов

Таким образом, экономический расчёт продемонстрировал в зависимости от исходных условий биомеханики установленных имплантатов как величину и структуру совокупных затрат на поддержание результатов протезирования, так и экономию затрат при исходном устранении неадекватных биомеханических факторов и роль профилактических мероприятий на этапе эксплуатации протезов.

ВЫВОДЫ

1. Функционирование несъёмных протезов на внутрикостных имплантатах часто происходит в неадекватных биомеханических условиях: тонкая кортикальная кость (65,7% имплантатов), отсутствие апроксимальных контактов с соседними зубами или протезами (60,3%), окклюзионные супраконтакты (58,4%), неполное замещение дефекта зубного ряда (57,3%), имплантаты с коротким конусным узлом соединения с абатментом (41,0%), установка имплантатов с наклоном (33,1%), низкая плотность костной ткани (32,3%), узкие и короткие имплантаты (29,1% и 15,5%), повышенная функциональная нагрузка (28,1%), недостаточное число опорных имплантатов (21,5%), объединение имплантатов с зубами протезом (19,2%), недостаточный и некомпенсированный костной пластикой объем костной ткани (15,5%).

2. Состояние внутрикостных имплантатов и фиксированных к ним несъёмных зубных протезов через 10 лет функциональной нагрузки характеризуется изменениями в периимплантатных тканях: резорбцией костной ткани у 55,2% имплантатов, хроническим воспалением десны и ее рецессией – соответственно у 70,8% и 18,3%; удалением 11,4% имплантатов. 17,8% установленных имплантатов в течение 10 лет сохраняют первоначальное состояние десны и уровень костной ткани.

3. По критерию удаления имплантатов в течение 10 лет неадекватные биомеханические факторы располагаются в последовательности: недостаточное количество опорных имплантатов в мостовидных протезах, установка имплантатов с наклоном к альвеолярному гребню, недостаточный объем костной ткани, объединение имплантатов и зубов протезной конструкцией (частота удаления имплантатов при сроке контроля 10 лет от 23,3% до 20,4%), немедленная нагрузка имплантатов, неразборные имплантаты и короткие имплантаты (частота удаления имплантатов 19,3% и 18,2%), повышенная функциональная нагрузка, низкая плотность костной ткани, отсутствие костной пластики, супраконтакты протезов на имплантатах, короткий конусный узел соединения с абатментом, отсутствие апроксимальных контактов, узкие имплантаты, неполное замещение зубного ряда, недостаточная толщина кортикальной кости (частота удаления имплантатов от 15,4% до 12,0%).

4. Исходное состояние костной ткани и периимплантатной десны через 10 лет характерно не более, чем для 5–10% имплантатов с отсутствием остеопластики, коротких и узких имплантатов, с коротким конусным соединением с абатментом, в костной ткани низкой плотности, при отсутствии апроксимальных контактов протезов на имплантатах и практически не сохраняется у имплантатов в условиях неполного замещения дефекта зубного ряда, недостаточного числа имплантатов, окклюзионных супраконтактов, наклона имплантатов, объединения имплантатов с зубами, недостаточного объема костной ткани.

5. Вертикально направленная нагрузка на зуб обуславливает напряжения в кортикальной костной ткани 5,066 МПа и в губчатой кости 1,382 МПа. Наклонная нагрузка увеличивает соответствующие напряжения до 27,909 МПа и 4,375 МПа. Костная ткань вокруг имплантата испытывает более значимые напряжения в сравнении с зубом: на 108,3% в кортикальной и 202,8% в губчатой кости при вертикальной нагрузке; на 259,0% и 219,7% при наклонной нагрузке. Замещение частичного дефекта зубного ряда дентальными имплантатами увеличивает напряжения в кортикальной костной ткани замещённого участка на 88,7% и 33,4% при вертикальной и наклонной нагрузках соответственно, на 39,4% и 66,2% в губчатой кости.

6. Уменьшение длины имплантатов на 30% увеличивает напряжения только при вертикальной нагрузке: в кортикальной кости на 27,6%, в губчатой кости на 21,4%; соответствующее уменьшение диаметра имплантата при вертикальной нагрузке увеличивает напряжения в кортикальной кости на 89,6%, при наклонной нагрузке – на 104,7%; в губчатой кости – только при наклонной нагрузке на 55,4%. Одновременное уменьшение длины и диаметра имплантата увеличивает при вертикальной нагрузке напряжения на 68,5% в кортикальной и на 45,9% в губчатой кости, при наклонной нагрузке – на 80,2% и 65,0% в кортикальной и губчатой кости соответственно.

7. Увеличение нагрузки имплантата на 30% пропорционально увеличивает напряжения в кортикальной и губчатой кости. Степень увеличения напряжений в кортикальной костной ткани при супраконтакте коронки на имплантате составляет 9,5% при вертикальной нагрузке и 10,0% при наклонной; в губчатой кости соответственно 24,0% и 14,3%. Нагрузка имплантатов с угловым абатментом (15°) увеличивает напряжения в кортикальной кости на 69,2% при вертикальной нагрузке и в губчатой кости – при вертикальной и наклонной нагрузках (соответственно на 35,2% и 9,4%). Увеличение наклона абатмента до 30° увеличивает напряжения в указанных тканях и направлениях нагрузки на 202,0%, 72,7%, 18,5% соответственно.

8. Уменьшение толщины кортикальной кости на 30% увеличивает напряжения в кортикальной кости при вертикальной и наклонной нагрузках (соответственно на 78,2% и 23,4%), а также в губчатой кости (соответственно на 21,7% и 13,4%). При резорбции костной ткани на треть длины имплантата снижаются напряжения в сохранившейся кортикальной кости при вертикальной и при наклонной нагрузке; в то же время значительно увеличиваются напряжения в губчатой кости – на 87,3% при вертикальной и на 272,2% при наклонной нагрузках. При резорбции костной ткани на половину длины имплантата эта закономерность усугубляется. Недостаточная площадь костного контакта (немедленная нагрузка имплантата) увеличивает напряжения только в губчатой кости при наклонной нагрузке (на 54,6%).

9. В сравнении с базовой моделью замещения дефекта зубного ряда имплантатами мостовидный протез на имплантатах увеличивает напряжение в окружающей костной ткани в пределах 10,0%, отсутствие апроксимальных контактов коронок на имплантатах – до 30,6%, неполное замещение зубного ряда – до 49,4%, мостовидный протез с опорой на имплантат и зуб – до 79,0%.

10. Превышение пределов прочности периимплантатной костной ткани при наличии биомеханических факторов риска регистрируется только при наклонной нагрузке: в кортикальной кости – при уменьшении диаметра имплантата; в губчатой кости – при периимплантите с резорбцией кости более 30% длины имплантата, немедленной нагрузке имплантата с отсутствием костного контакта 50% его поверхности, вокруг узких имплантатов, наклоне имплантата или применении абатмента с углом 30°, неполном замещении зубного ряда, наличии мостовидного протеза с опорой на имплантат и зуб.

11. Совокупные затраты на сохранение и коррекцию состояния имплантатов и периимплантатных тканей за 10-летний период составляют 1,25 стоимости установки одного имплантата с покрывающей коронкой. При этом затраты у комплаентных пациентов в 3 раза ниже в сравнении с пациентами, не соблюдающими диспансерные мероприятия по профилактике воспалительных и окклюзионных осложнений (соответственно 0,41 против 1,46). С учётом частоты выявления осложнений в состоянии периимплантатных тканей за 10-летний период структура совокупных затрат на коррекцию осложнений составляет 23,3% при развитии воспаления, 6,9% – рецессии десны, 26,7% – резорбции костной ткани, 9,6% – поломке конструкции, 33,6% – удалении имплантата.

12. Неблагоприятные биомеханические факторы существенно повышают совокупные затраты на коррекцию осложнений в состоянии периимплантатных тканей: низкая плотность костной ткани – на 34,7%, недостаточный объём костной ткани – 39,8%, недостаточная толщина кортикальной кости – 19,8%, короткие или узкие имплантаты – соответственно 39,2% и 33,8%, наклонные имплантаты – 56,7%, соотношение имплантатов и протезных единиц свыше 1:2 – 36,6%, окклюзионные супраконтакты – 40,6%, мостовидный протез с опорой на имплантат и зуб – 47,8%, немедленная нагрузка имплантатов – 39,6%.

13. Первичная коррекция ряда неблагоприятных биомеханических факторов обуславливает через 10 лет экономию совокупных затрат на имплантацию, протезирование и профилактические мероприятия (повышение плотности костной ткани путём остеопластических методик, направленная тканевая остеорегенерация, использование имплантатов с глубоким конусным узлом соединения, уменьшение соотношения имплантатов и протезных единиц до 1:2, исключение окклюзионных супраконтактов и обеспечение

апроксимальных контактов протезов на имплантатах, соблюдение показаний к немедленной нагрузке).

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Прогностическая многофакторная модель состояния имплантатов в зависимости от исходных биомеханических факторов рекомендуется использовать при планировании количества, размеров, мест и методики установки внутрикостных дентальных имплантатов для опоры несъёмных протезов.

2. Данные о параметрах напряжённо-деформированного состояния периимплантатной костной ткани, «База данных значений максимальных интегральных напряжений в периимплантатной костной ткани в разных биомеханических условиях функционирования имплантата» и «База данных значений максимальных интегральных напряжений в костной ткани при замещении дефекта зубного ряда с использованием имплантатов с разными биомеханическими условиями функционирования» целесообразно использовать при разработке компьютерных программ персонализированного анализа биомеханики протетических конструкций на дентальных имплантатах.

3. Для профилактики перегрузки периимплантатной костной ткани не рекомендуется:

- применение имплантатов диаметром менее 3 мм;
- установка имплантатов с наклоном 30° и более;
- применение абатментов с углом наклона 30°;
- немедленная нагрузка имплантатов с отсутствием костного контакта 50% его поверхности;
- нагрузка имплантатов при периимплантите с резорбцией кости более 30% длины имплантата.

4. Для обеспечения экономической эффективности протезирования на имплантатах целесообразна коррекция неблагоприятных биомеханических условий имплантации на начальном этапе комплексного лечения.

5. Для снижения затрат на устранение осложнений протезирования на имплантатах, функционирующих в неблагоприятных биомеханических условиях, обязательна регулярная профилактика развития воспалительных и окклюзионных нарушений.

6. При обсуждении с пациентами плана ортопедического лечения на имплантатах в целях мотивации к адекватному объёму лечебно-профилактических мероприятий рекомендуется использовать изложенные в исследовании данные экономических расчётов затрат на отдалённых сроках пользования протезами.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Биомеханическая зависимость эффективности несъемного протезирования при полном отсутствии зубов от количества и топографии опорных имплантатов / Узунян Н.А., Шматов К.В., Лобанов С.А., **Заславский Р.С.**, Кобзев И.В., Захаров П.А. // Стоматология славянских государств : сборник трудов X Международной научно-практической конференции, посвящённой 25-летию ЗАО «ОЭЗ «ВладМиВа». – Белгород: Издательский дом «Белгород», 2017. – С. 349-351.

2. Недостатки полных съёмных протезов в сравнении с покрывными протезами на имплантатах (отдаленные клинические данные) / Бронштейн Д.А., **Заславский Р.С.**, Лернер А.Я., Узунян Н.А., Повстанко Ю.А., Шматов К.В. // Современные достижения стоматологии : сборник всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 30-летию Кировского государственного медицинского университета, Киров, 12 апреля 2017 года. – Киров: Кировский государственный медицинский университет, 2017. – С. 47-49.

3. Трёхмерное математическое моделирование биомеханики верхней и нижней беззубых челюстей при нагрузках мостовидного протеза с укороченным зубным рядом на имплантатах во фронтальном отделе / Узунян Н.А., Заславский Р.С., Лернер А.Я., Микрюков В.В., Шматов К.В., Кобзев И.В. // **Российский вестник дентальной имплантологии.** – 2017. – № 3-4(37-38). – С. 8-11.

4. Сравнительное исследование качества несъемного протезирования с опорой на зубы и имплантаты в отдаленные сроки / Узунян Н.А., Лернер А.Я., **Заславский Р.С.**, Шматов К.В., Лобанов С.А. // Современная медицина: актуальные вопросы и перспективы развития : Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции, Уфа, 11 сентября 2017 года. Том Выпуск IV. – Уфа: Инновационный центр развития образования и науки, 2017. – С. 45-48.

5. Биомеханические проблемы цементной фиксации искусственных коронок на имплантатах / Узунян Н.А., Лернер А.Я., Лобанов С.А., **Заславский Р.С.**, Шматов К.В. Кобзев И.В. // Журнал научных статей Здоровье и образование в XXI веке. – 2017. – Т. 19, № 11. – С. 113-117.

6. Анализ трудовых и финансовых затрат при производстве облицованных керамикой коронок с разной технологией изготовления каркасов / Олесов Е.Е., Новоземцева Т.Н., Олесов А.Е., **Заславский Р.С.**, Каганова О.С. // Стоматолог. Минск. – 2017. – № 1(24). – С. 70-75.

7. Результаты ортопедической реабилитации пациентов с полным отсутствием зубов в зависимости от конструкции протезов на дентальных имплантатах / Бронштейн Д.А., Олесов

Е.Е., **Заславский Р.С.**, Узунян Н.А., Шматов К.В., Лобанов С.А. // **Российский вестник дентальной имплантологии.** – 2017. – № 2(36). – С. 45-49.

8. Структура клинических условий и используемых методов протезирования в практической имплантологии / **Заславский Р.С.**, Олесова В.Н., Шматов К.В., Иванов А.С., Заславский С.А // **Стоматология для всех.** – 2018. – № 3. – С. 30-33.

9. Stress-strain state of bone tissue of the mandible at loading of the nonremoval prosthesis on intraosseous dental implants at the substitution of the tooth defect of the teeth range / Olesova V.N., **Zaslavsky R.S.**, Shmatov K.V., Olesov E.E., Lerner A.Y., Ivanov A.S. // **Russian Journal of Biomechanics.** – 2018. – Vol. 22, No. 2. – P. 223-229. [Scopus]

10. Биомеханика несъемного протеза на имплантатах при полном отсутствии зубов на верхней челюсти / Олесова В.Н., Бронштейн Д.А., Узунян Н.А., **Заславский Р.С.**, Лернер А.Я., Шматов К.В. // **Стоматология.** – 2018. – Т. 97, № 6. – С. 53-56. – DOI 10.17116/stomat20189706153. [Scopus]

11. Анализ трудовых и материальных затрат при ортопедическом лечении пациентов с дефектами зубных рядов / Новоземцева Т.Н., **Заславский Р.С.**, Олесов Е.Е., Морозов Д.И., Глазкова Е.В. // **Российский стоматологический журнал.** – 2018. – Т. 22, № 4. – С. 206-209. [Chemical Abstracts]

12. Олесов Е.Е., **Заславский Р.С.**, Лернер А.Я., Шматов К.В., Степанов А.Ф., Шумаков Ф.Г., Иванов А.С., Мартынов Д.В. Сравнительное исследование современных дентальных имплантатов: экспериментально-клинические и технологические аспекты. Учебное пособие // ИПК ФМБА России – 2018. – 24 с.

13. Диоксид циркония как современный материал для зубных протезов и имплантатов / Иванов А.С., Мартынов Д.В., Олесова В.Н., **Заславский Р.С.**, Шматов К.В., Лернер А.Я., Морозов Д.И.// **Российский стоматологический журнал.** – 2019. – Т. 23, № 1. – С. 4-6. [Chemical Abstracts]

14. Сравнительная эффективность разных конструкций протезов у больных с полным отсутствием зубов / Иванов А.С., **Заславский Р.С.**, Шматов К.В., Олесова В.Н., Мартынов Д.В. // **Современные аспекты комплексной стоматологической реабилитации пациентов с дефектами челюстно-лицевой области : сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции.** – Краснодар: Кубанский государственный медицинский университет, 2019. – С. 24-27.

15. Клинико-микробиологическое обоснование периодичности профессиональной гигиены рта на протяжении имплантологического лечения / Сакаева З.У., **Заславский Р.С.**, Ремизова А.А., Рагулин А.В., Попов А.А., Олесов Е.Е.// **Российский вестник дентальной имплантологии.** – 2020. – Т. 49-50. – № 3-4. – С. 78-82.

16. Потребность в протезировании на имплантатах и его себестоимость в разных профессиональных группах / **Заславский Р.С.**, Иванов А.С. Мартынов Д.В., Саламов М.Я., Олесов Е.Е., Морозов Д.И. // **Российский вестник дентальной имплантологии.** – 2020. – № 1-2(47-48). – С. 92-94.

17. Сравнение прецизионности стандартных и индивидуальных титановых абатментов / Мартынов Д.В., Саламов М.Я., Олесова В.Н., Лосев Ф.Ф., Иванов А.С., **Заславский Р.С.**, Морозов Д.И. // **Российский вестник дентальной имплантологии.** – 2020. – № 3-4(49-50). – С. 4-11.

18. Воспалительные осложнения в состоянии периимплантных тканей и их причины по результатам анкетирования врачей стоматологов / **Заславский Р.С.**, Иванов А.С., Саламов М.Я., Олесов Е.Е., Заславский С.А. // **Стоматология для всех.** – 2021. – № 3(96). – С. 12-15.

19. Иванов А.С., Саламов М.Я., Рагулин А.В., **Заславский Р.С.**, Олесова Э.А. Клиническая значимость узла соединения дентальных имплантатов с абатментами. Учебное пособие для врачей стоматологов – М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2021 – 35 с.

20. Клинико-рентгенологическая оценка состояния имплантатов с несъемными конструкциями в динамике за 20 лет / Олесов Е.Е., Иванов А.С., **Заславский Р.С.**, Рагулин А.В., Романов А.С. // **Медицина экстремальных ситуаций.** – 2021. – Т. 23, № 4. – С. 29-33. – DOI 10.47183/mes.2021.040. [Scopus]

21. Прецизионность контакта с имплантатом индивидуальных керамических абатментов / Саламов М.Я., Олесова В.Н., **Заславский Р.С.**, Олесов Е.Е., Романов А.С. // **Российский вестник дентальной имплантологии.** – 2021. – № 3-4(53-54). – С. 12-17.

22. Саламов М.Я., Олесова В.Н., **Заславский Р.С.**, Олесов Е.Е., Романов А.С. Сравнительная прецизионность контакта с имплантатом индивидуальных керамических абатментов и искусственных коронок // **Российский вестник дентальной имплантологии.** – 2021 – Т. 53-54. – №3-4. – С. 18-24.

23. Структура протетических конструкций с опорой на дентальные имплантаты в динамике за 20 лет / Иванов А.С., Олесова В.Н., Максюков С.Ю., Саламов М.Я., **Заславский Р.С.**, Рагулин А.В., Олесов Е.Е. // **Российский вестник дентальной имплантологии.** – 2021. – № 3-4(53-54). – С. 93-98.

24. Клиническое сравнение прочности керамических и титановых абатментов и состояния прилегающей к ним десны / **Заславский Р.С.**, Саламов М.Я., Цаликова Н.А., Олесов Е.Е., Рагулин А.В., Романов А.С. // **Российский вестник дентальной имплантологии.** – 2022. – № 1-2(55-56). – С. 78-82.

25. Математическое моделирование напряженно- деформированного состояния зубоальвеолярного сегмента / **Заславский Р.С.**, Олесова В.Н., Гришков М.С., Зверьев А.Г., Жаров А.В. // Ильинские чтения 2022 : Сборник материалов школы-конференции молодых учёных и специалистов, Москва, 06–07 октября 2022 года. – Москва: Государственный научный центр Российской Федерации - Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, 2022. – С. 179-181.

26. Олесов Е.Е., Перельмутер М. Н., **Заславский Р.С.**, Гришков М.С., Зверьев А.Г., Лернер А.Я. Сравнение биомеханики керамических и титановых дентальных имплантатов. Учебное пособие для врачей стоматологов – М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2022 – 35 с.

27. Биомеханическое сравнение керамических, титановых и хромкобальтовых штифтовых вкладок при замещении посттравматических дефектов зуба / Олесова В.Н., Иванов А.С., Олесов Е.Е., Романов А.С., **Заславский Р.С.** // **Медицина катастроф.** – 2022. - №1. – С.53-58. [**Scopus**]

28. Влияние клинических биомеханических условий на напряженно-деформированное состояние дентальных имплантатов и окружающей костной ткани. Часть I. Одиночный имплантат, вертикальная нагрузка / **Заславский Р.С.**, Олесова В.Н., Кобзев И.В., Олесов Е.Е., Кащенко П.В., Лосев В.Ф., Гришков М.С., Микрюков В.В. // **Российский вестник дентальной имплантологии.** – 2022. – № 1-2(55-56). – С. 37-44

29. Значение физических характеристик кортикальной кости для биомеханики дентальных имплантатов / **Заславский Р.С.**, Перельмутер М.Н., Олесова В.Н., Кащенко П.В., Жаров А.В. // Научный авангард : Сборник статей IV Научно-практической конференции, Москва, 19–20 мая 2022 года. – Москва: Государственный научный центр Российской Федерации - Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, 2022. – С. 172-174.

30. Причины отказов от повторного протезирования на имплантатах по результатам опроса пациентов / **Заславский Р.С.**, Олесов Е.Е., Иванов А.С., Заславский С.А., Романов А.С. // **Стоматология для всех.** – 2022. – № 1(98). – С. 34-37.

31. Трёхмерное математическое моделирование функциональных напряжений вокруг дентального имплантата в сравнении с однокорневым зубом / **Заславский Р.С.**, Олесова В.Н., Повстанко Ю.А., Олесов Е.Е., Кобзев И.В. // **Российский вестник дентальной имплантологии.** – 2022. – № 3-4(57-58). – С. 4-10.

32. Трёхмерный математический анализ максимальных напряжений зубоальвеолярного сегмента при вертикальной и наклонной нагрузках / **Заславский Р.С.**, Кобзев И.В., Олесов Е.Е., Заславский С.А., Олесова В.Н. // **Стоматология для всех.** – 2022. – № 3(100). – С. 8-13.

33. Факторы отказа пациентов от повторного протезирования на имплантатах / Рагулин А.В., Романов А.С., **Заславский Р.С.**, Попов А.А. // Актуальные вопросы стоматологии : Сборник научных трудов, посвященный 130-летию основателя кафедры ортопедической стоматологии КГМУ, профессора Исаака Михайловича Оксмана. – Казань : Казанский государственный медицинский университет, 2022. – С. 317-321.

34. Частота и субъективные причины отказов от повторного протезирования на имплантатах / Олесова В.Н., Романов А.С., **Заславский Р.С.**, Гришков М.С., Зверяев А.Г. // Клинический вестник ФМБЦ им А.И. Бурназяна. – 2022. – № 1. – С. 27-30. – DOI 10.33266/2782-6430-2022-1-27-30.

35. Биомеханические факторы риска при опоре мостовидного протеза на зубы и имплантаты / Олесова Э.А., **Заславский Р.С.**, Абакаров С.И., Агами М.Б. // Стоматология славянских государств: сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции, приуроченной к 75-летию Заслуженного врача Российской Федерации, доктора медицинских наук, профессора А.В. Цимбалистова / под ред. проф. А.В. Цимбалистова, В.В. Капановой – Белгород: ИД «БелГУ» НИУ «БелГУ», 2023. – С. 17-19.

36. Биомеханическое моделирование зубоальвеолярного сегмента при нагрузках разного направления / **Заславский Р.С.**, Кобзев И.В., Олесова Э.А., Каирбеков Р.Д. // Актуальные вопросы стоматологии : Сборник научных трудов, посвященный основателю кафедры ортопедической стоматологии КГМУ, Профессору Исаак Михайловичу Оксману, Казань, 18 февраля 2023 года. – Казань: Казанский государственный медицинский университет, 2023. – С. 293-296.

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

38. Влияние направления нагрузки на функциональные напряжения в зубоальвеолярном сегменте / Олесова В.Н., **Заславский Р.С.**, Кобзев И.В. // Сборник тезисов VI Международной научно-практической конференции «Междисциплинарный подход к диагностике, лечению и профилактике заболеваний тканей пародонта у пациентов с сахарным диабетом». – Санкт-Петербург: Человек. – 2023. – С. 57.

39. Выявляемость биомеханических факторов риска у пациентов с несъёмными протезами на дентальных имплантатах / **Заславский Р.С.**, Олесова В.Н., Кащенко П.В., Гришков М.С., Олесов Е.Е., Микрюков В.В. // **Российский стоматологический журнал.** – 2023. – Т. 27, № 3. – С. 165-169. [Chemical Abstracts]

40. Закономерности распределения напряжений вокруг опорных зубов мостовидного протеза / Олесова Э.А., **Заславский Р.С.**, Абакаров С.И., Кобзев И.В., Олесов Е.Е., Зверьев А.Г. // **Российский вестник дентальной имплантологии.** – 2023. – Том 60. – № 2. – С. 3-9.

41. Отличия напряжённо-деформированного состояния костной ткани вокруг имплантата и зуба при нагрузке опирающегося на них мостовидного протеза / **Заславский Р.С.**, Абакаров С.И., Олесова В.Н., Кобзев И.В., Олесов Е.Е., Иванов А.С. // **Российский вестник дентальной имплантологии.** – 2023. – Том 60. – № 2. – С. 10-17.

42. Превышение пределов прочности костной ткани в разных условиях функционирования дентальных имплантатов / **Заславский Р.С.**, Абакаров С.И., Олесова В.Н., Мартынов Д.В., Олесова Э.А., Кобзев И.В.// **Российский вестник дентальной имплантологии.** – 2023. – Том 61. – № 3. – С. 3-10.

43. Регистрация перегрузки костной ткани в условиях математического 3-d моделирования зубочелюстного сегмента / **Заславский Р.С.**, Олесова Э.А., Кобзев И.В., Кащенко П.В.// Сборник статей V Научно-практической конференции «Научный авангард». – Москва: Государственный научный центр Российской Федерации - Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, 2023. – С. 54-57.

44. **Свидетельство о регистрации базы данных № 2023621324**, Российская Федерация. База данных значений прогностического риска неблагоприятного исхода имплантации дентальных имплантатов / Е.Е. Олесов, И.В. Кобзев, **Р.С. Заславский**, Э.А. Олесова, Б.М. Радзишевский. – **опубл. 25.04.2023, Бюл. № 5.**

45. **Свидетельство о регистрации базы данных № 2023621369**, Российская Федерация. Исходы имплантации в зависимости от биомеханических факторов функционирования имплантатов / Е.Е. Олесов, И.В. Кобзев, **Р.С. Заславский**, Э.А. Олесова, Б.М. Радзишевский. – **опубл. 02.05.2023, Бюл. № 5.**

46. **Свидетельство о регистрации базы данных № 2023624865**, Российская Федерация. База данных значений максимальных интегральных напряжений в периимплантатной костной ткани в разных биомеханических условиях функционирования имплантата / В.Н. Олесова, Э.А. Олесова, Е.Е. Олесов, **Р.С. Заславский**. – **опубл. 21.12.2023, Бюл. № 1.**

47. **Свидетельство о регистрации базы данных № 2023624910**, Российская Федерация. База данных значений максимальных интегральных напряжений в костной ткани при замещении дефекта зубного ряда с использованием имплантатов с разными биомеханическими условиями функционирования / В.Н. Олесова, **Р.С. Заславский**, Э.А. Олесова, Е.Е. Олесов. – **опубл. 22.12.2023, Бюл. № 1.**

48. Установка дентального имплантата с наклоном как фактор риска функциональной перегрузки костной ткани / **Заславский Р.С.**, Кобзев И.В., Гришков М.С., Микрюков В.В.,

Олесова Э.А. // Ильинские чтения 2023 : Сборник материалов международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов, Москва, 15–16 марта 2023 года. – Москва: Государственный научный центр Российской Федерации - Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, 2023. – С. 125-127

49. Отрицательное действие на имплантат мостовидного протеза с опорой на имплантат и зуб по данным математических расчётов / **Заславский Р.С.**, Абакаров С.И., Некрасова Е.А., Жаров А.В., Васильева Ю.А. // Сборник материалов международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов «Ильинские чтения 2024» – Москва: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2024 – С. 258-261.

50. Иванов А.С., **Заславский Р.С.**, Максюков С.Ю., Абакаров С.И., Олесов Е.Е, Кялов Г.Г. Структура потребности в протетических конструкциях при повторном ортопедическом лечении после удаления имплантатов. Учебное пособие для врачей стоматологов – М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2024. – 28 с.

51. Влияния неблагоприятных биомеханических условий нагрузки имплантатов на величину напряжений в костной ткани / **Заславский Р.С.**, Абакаров С.И., Берсанова М.Р. // Сборник статей VI Научно-практической конференции «Научный Авангард». – Москва.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2024. – С. 147-152.

52. Биомеханические риски опоры мостовидного протеза на зуб и имплантат / **Заславский Р.С.**, Абакаров С.И., Олесов Е.Е., Кащенко П.В.// Сборник статей научно-практической конференции стоматологов ФМБА России «Актуальные вопросы профилактики и лечения заболеваний полости рта». – М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, ФГБУЗ КЦС ФМБА России 2024. – С. 78-81

53. Совокупные затраты в период эксплуатации протезов на имплантатах в зависимости от исходных биомеханических факторов / **Заславский Р.С.**, Абакаров С.И., Олесов А.Е. // Сборник статей научно-практической конференции стоматологов ФМБА России «Актуальные вопросы профилактики и лечения заболеваний полости рта». – Москва, 2024. – С.74-78

54. Экономические аспекты влияния биомеханических условий эксплуатации на эффективность протезов на имплантатах / **Заславский Р.С.**, Абакаров С.И., Олесов А.Е. // Сборник статей VI Научно-практической конференции «Научный Авангард». – Москва.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2024. – С. 152-156.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- КСИ – коэффициент стабильности имплантата
МКЭ – метод конечных элементов
НДС – напряжённо-деформированное состояние
НТР – направленная тканевая регенерация
ОМС – обязательное медицинское страхование
ПЦР – полимеразная цепная реакция
СЗ – совокупные затраты
у.е.з. – условные единицы затрат
НУ – условные единицы по шкале Хаунсфилд
IL – интерлейкин
MIP – макрофагальный белок воспаления
ММР – матриксная металлопротеиназа
PEEK – полиэфирэфиркетон
TIMP – тканевой ингибитор металлопротеиназы