

МУРЗАБЕКОВ АХМЕД ИСРОПИЛОВИЧ

**КЛИНИКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ
ДЕНТАЛЬНЫХ ИМПЛАНТАТОВ С ПОВЕРХНОСТЬЮ,
МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПЛАЗМЕННЫМ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ
ОКСИДИРОВАНИЕМ**

3.1.7. Стоматология (медицинские науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Москва – 2025

Работа выполнена на кафедре челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии медицинского института федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Научный руководитель:

Мураев Александр Александрович - доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии медицинского института федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

Официальные оппоненты:

Саакян Михаил Юрьевич - доктор медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой ортопедической стоматологии и ортодонтии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Шайхалиев Астемир Икрамович - доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры челюстно-лицевой хирургии имени академика Н.Н. Бажанова института стоматологии им. Е. В. Боровского федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет)

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Защита состоится «17» сентября 2025 г. в ____ часов на заседании постоянно действующего диссертационного совета ПДС 0300.028 при ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» по адресу: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6.

С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале УНИБЦ (Научная библиотека) ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6) и на сайте <https://www.rudn.ru/science/dissovet/dissertacionnye-sovety/pds-0300028>

Автореферат разослан «__» _____ 2025 г.

Ученый секретарь

ПДС 0300.028

кандидат медицинских наук, доцент

Макеева Мария Константиновна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Разработка новых методов модификации поверхности титановых дентальных имплантатов и сравнительные исследования имплантатов с различными видами модификации и обработки поверхности продолжают сохранять научный и практический интерес.

Остеоинтеграция относится к прямой структурной и функциональной связи между упорядоченной, живой костью и поверхностью несущего нагрузку дентального имплантата. Успех остеоинтеграции зависит от свойств поверхности имплантата, в первую очередь от химического состава, поскольку это может обуславливать токсическое воздействие на кость и организм (ионы железа, ванадия, алюминия), и от морфологии поверхности имплантата, поскольку шероховатость влияет на контакт имплантата с костью, скорость и качество интеграции. Медицинские сплавы титана (Grade 4 и Grade V) являются наиболее часто используемыми для изготовления дентальных имплантатов. Одним из методов модификация поверхности имплантатов для придания ему наибольшей инертности (экранирование примесей металлов в теле имплантата) и создания оптимальной шероховатости является плазменное электролитическое оксидирование (ПЭО). Изменения химического состава и топографии поверхности дентального имплантата, поверхностного заряда и смачиваемости оказывает важное влияние на остеоинтеграцию (Souza et al., 2019). Конечная цель модификации поверхности имплантата заключается в создании остеоиндуктивной поверхности, то есть поверхности, которая привлекает костеобразующие клетки (He et al., 2019). Наконец, стабилизация сгустка и ранняя васкуляризация, на которую может влиять поверхность дентальных имплантатов, также может играть важную роль на ранних стадиях заживления раны (Shinde et al., 2018).

После установки дентального имплантата, в кости происходит каскад молекулярных и клеточных процессов, включающих образование кровяного сгустка, с последующим ангиогенезом, миграцией остеопрогениторных клеток, образование грубоволокнистой костной ткани на поверхности имплантата, ремоделирование вновь образованной кости и ранее существовавшей кости вокруг имплантата — все это в итоге приводит к остеоинтеграции и вторичной стабильности имплантата. Общеизвестными сроками остеоинтеграции являются 3 месяца на нижней челюсти и 6 месяцев на верхней челюсти. Указанные сроки относятся к имплантатам с традиционными видам поверхности – пескоструйной обработке и кислотному травлению. Тем не менее, имеются научно доказанные данные, что имплантаты с «биоактивными» поверхностями имеют уменьшенные сроки остеоинтеграции (Livne et al., 2012; Jinno et al., 2021).

Наиболее распространёнными методами обработки поверхности титановых имплантатов является дробеструйная обработка с кислотным травлением (SLA поверхность) или двукратное травление высококонцентрированными растворами кислот (DAE поверхность). Для этого используются следующие кислоты: HCl, H₂SO₄, HNO₃ и HF. Кислотное травление приводит к образованию на поверхности имплантата микроскопических пор, размер которых находится в пределах от 0,5 до 3 мкм в диаметре (Massaro C. et al., 2002; Zinger O. et al., 2004). Ряд исследований показали, что ПЭО–покрытия, модифицированные кальцием и фосфором, проявляют хорошую биологическую активность (Kim H. J. Et al.).

В настоящей работе проведён комплекс лабораторных исследований титановых дисков из сплава Grade 4, *in vitro*, *in vivo* и клинических исследований дентальных имплантатов, обработанных по технологии плазменного электролитического оксидирования в присутствии различных растворов: гидроксида натрия и дигидрофосфата кальция.

Степень разработанности темы исследования

На сегодняшний день большинство установленных дентальных имплантатов нагружаются ортопедической конструкцией через 3-4 месяца. Сроки остеоинтеграции дентального имплантата зависят от различных факторов, таких как тип костной ткани пациента, объем костной ткани в целевой области, метод обработки поверхности дентального имплантата, микро- и макроархитектоника дентального имплантата, протокол остеотомии, общесоматическое состояние пациента и так далее. По данным литературы множество методов обработки поверхности дентальных имплантатов изучены и применяются при разработке. Технология плазменного электролитического оксидирования в присутствии различных растворов (гидроокись натрия, дигидрофосфат кальция) является актуальным направлением для исследования в лабораторных, *in vivo* и клинических условиях, так как данный метод обработки поверхности имплантатов по данным литературы придаёт высокий остеоинтегративный потенциал имплантатам.

Цель исследования

Обоснование применения дентальных имплантатов с поверхностью, модифицированной методом плазменного электролитического оксидирования, для повышения эффективности лечения пациентов с потерей зубов.

Задачи исследования:

1. Охарактеризовать и провести сравнение микроструктуры и элементного состава поверхностей дентальных имплантатов из сплава Grade 4, модифицированных различными методами плазменного электролитического оксидирования для дальнейших *in vitro* и *in vivo* исследований.

2. Оценить цитотоксичность поверхности титановых дисков из сплава Grade 4, модифицированных плазменным электролитическим оксидированием в натрий и в кальцийсодержащих растворах на мезенхимальных стволовых клетках человека.

3. Исследовать контакт костной ткани и дентальных имплантатов, модифицированных ПЭО на различных сроках после их имплантации методом микрокомпьютерной томографии.

4. Внедрить в клиническую практику дентальные имплантаты с поверхностью, модифицированной плазменным электролитическим оксидированием, и оценить их эффективность при лечении пациентов с потерей зубов.

Научная новизна исследования

1. Сравнительные исследования элементного состава поверхности изделий из титана Grade 4 (дисков и дентальных имплантатов) подвергнутых ПЭО, продемонстрировали следующие отличия: после обработки поверхности методом ПЭО в растворе гидроксида натрия с концентрацией 2 г/литр (ПЭО Ti) атомный процент ионов железа, по сравнению необработанной поверхностью, снижается с 0.13 до 0.07 атом.%; при проведении ПЭО в растворе дигидрофосфата кальция с концентрацией 1 г/литр атомы железа не определяются.

2. Толщина покрытия «ПЭО Ti» составила 2-3 мкм, толщина покрытия «Ca» – 8-9 мкм. Согласно данным сканирующей электронной микроскопии микрошероховатость поверхности «ПЭО Ti» обладает мономодальным распределением размеров пор в пределах 0.1-3 мкм с максимумом вблизи 0,23 мкм. Поверхность «ПЭО Ca», обладает широким распределением размеров пор в диапазоне от 0,2 до 7 мкм. Распределение пор носит бимодальный характер с основным максимумом в районе 1,05 мкм и сопутствующим максимумом вблизи 2,45 мкм.

3. В исследовании *in vitro* на фибробластах показана различная пролиферативная активность клеток на поверхностях «ПЭО Ti» и «ПЭО Ca». На поверхности ПЭО Ti, клеточная активность была на 18.1% выше, чем на «ПЭО Ca».

4. Продemonстрировано в динамике (2 недели, 1 месяц и 2 месяца) увеличение минерализации костной ткани и площадь её контакта вокруг дентальных имплантатов из сплава Grade 4, модифицированных методом «ПЭО Ti» и «ПЭО Ca» у экспериментальных животных.

5. При проведении клинических исследований дентальных имплантатов с поверхностью, модифицированной методом «ПЭО Ca», показано сокращение сроков остеоинтеграции и достижение имплантатами достаточной стабильности для функциональной нагрузки: на нижней челюсти с 3 до 2 месяцев, на верхней челюсти с 6 до 4 месяцев.

Теоретическая и практическая значимость

1. Теоретическая значимость исследования заключается в том, что продемонстрированы качественные отличия между методами плазменного-электролитического оксидирования (ПЭО), а именно: в щелочном растворе гидроксида натрия (ПЭО Ti) и растворе дигидрофосфата кальция

(ПЭО Са). Формируемые поверхности отличаются морфологией, ионным составом, реакцией клеточных культур фибробластов и остеоинтеграцией.

2. Метод ПЭО, независимо от применяемого раствора, позволяет комплексно модифицировать поверхность дентальных имплантатов сразу в нескольких направлениях: повышает биоинертность за счёт изоляции ионов железа и формирует развитую микрошероховатость; при наличии раствора дигидрофосфата кальция ПЭО формирует покрытие с ионами кальция и фосфора и более выраженной шероховатости.

3. Нарботанный в результате исследования фактический материал и теоретические выводы имеют патентную чистоту и могут быть использованы в разработке технологии серийной обработки дентальных имплантатов методом ПЭО.

4. Практическая значимость исследования заключается в повышении остеоинтегративных свойств дентальных имплантатов из сплава Grade 4 с поверхностью, модифицированной ПЭО Са, и сокращении сроков реабилитации пациентов с частичной и полной потерей зубов.

Методология и методы исследования

При планировании и реализации данного диссертационного исследования соблюдались принципы и правила экспериментальной биологии и доказательной медицины.

В экспериментальной части работы использовали диски и имплантаты из медицинского сплава титана Grade 4, из которого производится большая часть дентальных имплантатов, это позволило адекватно интерпретировать результаты и соотносить их с данными литературы, а также внедрить разработанную технологию в клиническую практику.

Объектом лабораторного исследования были титановые диски из сплава Grade 4, модифицированные двумя режимами ПЭО: в растворе гидроксида натрия и растворе дигидрофосфата кальция; объектом *in vivo* исследования были мезенхимальные стволовые клетки, культивируемые на титановых дисках с различными модификациями поверхностей; объектом *in vivo* исследования были овцы (15 животных).

Предметом исследования в лабораторной части являлись морфология и элементный состав поверхности дентальных имплантатов, который оценивали методом сканирующей электронной микроскопии со спектральным анализом и атомно-силовой микроскопии. Предметом *in vitro* исследования была цитотоксичность титановых дисков, модифицированных двумя режимами ПЭО, и пролиферативная активность мезенхимальных стволовых клеток, культивируемых на этих дисках. Предметом *in vivo* исследования на животной модели были дентальные имплантаты, установленные в челюсть, изучали их остеоинтеграцию методом

микрокомпьютерной томографии по площади контакта с костью и количеству вновь образованной кости на поверхности.

Объектом клинического исследования являлись пациенты с диагнозом «частичная потеря зубов» (K08.1 по МКБ) верхней или нижней челюсти. Все пациенты подписывали добровольное информированное согласие на участие в исследовании. Предметом исследования были дентальные имплантаты, модифицированных методом ПЭО в растворе дигидрофосфата кальция (ПЭО Са). Для оценки их клинической эффективности изучали стабильность дентальных имплантатов методом определения резонансной частоты, измеряли уровень пришеечной резорбции и количество дезинтегрированных имплантатов через год после протезирования и функциональной нагрузки на имплантаты.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Плазменное электролитическое оксидирование в растворе дигидрофосфата кальция с концентрацией 1 г/литр в течение 40 мин, создает покрытие на поверхности имплантатов толщиной 9 нм, при этом на поверхности имплантата не определяются ионы железа.

2. Активность остеогенеза на поверхности дентальных имплантатов из Grade 4 с модифицированной поверхностью ПЭО Са выше, по сравнению с поверхностью модифицированной двойным кислотным травлением (DAE), что выражается в более высоких показателях костно-имплантатного контакта через 2 месяца после имплантации на нижней челюсти овец: ПЭО Са - 49,8%; ПЭО Ti - 42,4%; DAE – 39,8 %.

3. Функциональная нагрузка на дентальные имплантаты из титана Grade 4 с модифицированной поверхностью ПЭО Са возможна через 2 месяца после установки на нижней челюсти и через 4 месяца на верхней челюсти при установке имплантатов с 35-50 Н/см².

Степень достоверности и апробация результатов

Количество экспериментального материала позволило полноценно и всесторонне изучить новые виды модификации поверхности титановых имплантатов, полученные при различных режимах плазменного электролитического оксидирования, и выбрать из них оптимальные для дальнейшего клинического исследования.

Достоверность полученных клинических результатов определяется достаточном количеством и репрезентативностью клинического материала. Автором проделана большая работа по хирургическому лечению пациентов с частичной потерей зубов. Полученные результаты являются обоснованным решением поставленных задач.

Сформулированные в диссертационной работе положения и выводы достоверны, подтверждены полученными данными и результатами статистического анализа проведенных исследований.

Материалы диссертационной работы доложены на:

1) Симпозиуме «Инновации в стоматологии» в рамках XLV Всероссийской научно-практической Конференции СТАР «Стоматология XXI века» 29 сентября 2021г., г. Москва. Доклад: «Плазменное оксидирование - инновационный метод обработки поверхности Российской системы дентальных имплантатов «ИРИС»;

2) Международный молодёжный форум «НЕДЕЛЯ НАУКИ – 2021» Ставрополь 22-26 ноября 2021 года. Доклад: «Модификация поверхности дентальных имплантатов методом электро-плазменного оксидирования»;

3) V-ом Национальном конгрессе по Регенеративной медицине (<http://congress.regenerative-med.ru/>) 23-25 ноября 2022 года, в Московском государственном университете им. Ломоносова. Секция 25 ноября 2022 года «Клеточные и тканевые ответы на имплантационные материалы и покрытия». Доклад: «Модификация поверхности дентальных имплантатов методом плазменного электролитического оксидирования: возможности и преимущества метода».

Апробация проведена 19 сентября 2024 г. на заседании кафедры челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии медицинского института федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (протокол № 0300-34-БУП-3).

Внедрение результатов исследования

Результаты исследований используются в работе кафедры челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии медицинского института РУДН; в Центре оказания медицинской помощи при стоматологических заболеваниях поликлиники ФГБУ "ЦКБ с поликлиникой" Управления Делами Президента Российской Федерации, стоматологической клинике им. Доктора Горинова (ООО «Авангард»).

Личный вклад автора

Автор провел анализ зарубежных и отечественных литературных источников по теме диссертационного исследования. Автором разработан дизайн проводимого исследования. Проводилась систематизация и анализа данных лабораторных и экспериментальных *in vitro* и *in vivo* исследований. Автор устанавливал имплантаты экспериментальным животным. Автор проводил обследование и лечение пациентов, находившихся в рамках данного исследования. Научные результаты, обобщенные в диссертационной работе, получены автором самостоятельно. Автором проведен анализ, в том числе и статистический, результатов

клинических исследований, на основании которого сделаны обоснованные и достоверные выводы. Автором были разработаны практические рекомендации.

Публикации

По теме диссертации опубликованы 5 научных работ, в том числе 2 в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки Российской Федерации, 1 индексируемые в международной базе данных SCOPUS, 1 – в журнале, входящем в базу данных RSCI.

Объем и структура работы

Диссертация изложена на 120 страницах текста компьютерного набора, состоит из введения, обзора литературы, главы материалы и методы исследования, глав с результатами исследований, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка литературы. Приведено описание 1 клинического примера. Содержит 16 таблиц, иллюстрирована 60 рисунками. Библиографический список состоит из 178 научных публикаций, в том числе 39 отечественных, 139 зарубежных источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В настоящей работе проведён комплекс экспериментальных исследований титановых дисков и имплантатов из сплава Grade 4, модифицированных двумя режимами плазменного электролитического оксидирования (ПЭО): «ПЭО Ti» - плазменное электролитическое оксидирование в растворе гидроксида натрия (концентрация 2 г/литр); «ПЭО Ca» – плазменное электролитическое оксидирование в растворе дигидрофосфата кальция (концентрация 1 г/литр). Исследования включали лабораторные аппаратные методы изучения поверхности, *in vitro* и *in vivo* исследования, клинические исследования дентальных имплантатов.

Материалы и методы экспериментального исследования

Для лабораторных исследований различных вариантов поверхности ПЭО покрывали диски, изготовленные фрезерованием из титанового прутка Grade 4 диаметром 5 мм и толщиной 1 мм (Табл. 1).

Таблица 1 - Различные варианты поверхности ПЭО

№	Название поверхности	Режим обработки
Поверхность 1 типа	ПЭО Ti	Однократно в растворе гидроксида натрия (2 г/л)
Поверхность 2 типа	ПЭО Ca	Однократно в растворе дигидрофосфата кальция (1 г/л)
Поверхность 3 типа	Контроль (Grade 4)	Гладкая поверхность без обработки

Диски изучали методом сканирующей электронной микроскопии (SEM, от *англ.* Scanning electron microscopy) с энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией (EDX, от *англ.* Energy-dispersive X-ray spectroscopy) и методом атомно-силовой микроскопии. Также исследовали прочности поверхности дисков по Виккерсу. После этого были проведены *in vitro* исследования на предмет цитотоксичности и пролиферативной активности фибробластов, чтобы выявить возможные отличия между собой.

***In vitro* исследование пролиферации фибробластов на поверхности, подвергнутой различным режимам ПЭО**

Задачей данного этапа работы являлось получение данных о влиянии поверхностей «ПЭО Ti» и «ПЭО Ca» на рост клеток. Мы оценивали цитотоксическое влияние поверхности на фибробласты. Для этого сравнивали количество живых клеток в пробах, инкубированных в присутствии дисков с модифицированной поверхностью (ПЭО Ti и ПЭО Ca) с количеством живых интактных клеток в пластиковых лунках (т.е. клеток, инкубированных в отсутствие каких-либо посторонних материалов (контроль)). Подобное сравнение показало наличие или отсутствие цитотоксического влияния материалов на клетки.

Была использована клеточная линия DF-2, это фибробластоподобные клетки, имеющие экспрессию поверхностных антигенов, характерных для мезенхимных стволовых клеток человека: CD44, CD73, CD90, CD105 и HLA-ABC. Оценивалась пролиферативная активность клеток и цитотоксичное влияние присутствия титановых дисков. Для этого сравнивали количество живых клеток в пробах, инкубированных в присутствии дисков, с количеством живых интактных клеток в пластиковых лунках (т.е. клеток, инкубированных в отсутствие каких-либо посторонних материалов). Подобное сравнение используется для демонстрации наличия или отсутствия цитотоксического влияния материалов на клетки различного типа.

На основе диаметра предоставленных для анализа дисков (5 мм) была рассчитана площадь диска - 0.2 см². Данная площадь примерно соответствует 10,5% площади лунки 24-луночной платы, использованной для анализа (1.9 см²), что согласуется с требованиями ГОСТ 10993-5-2011 (1/10 площади лунки).

***In vivo* исследование**

Полученные результаты лабораторных и *in vitro* исследований позволили изготовить набор экспериментальных имплантатов с поверхностью ПЭО. Соответственно виду поверхности исследуемые имплантаты были названы ПЭО Ti и ПЭО Ca. Для *in vivo* исследований были изготовлены дентальные имплантаты диаметром 4 мм, высотой 10 мм. В качестве группы сравнения были взяты имплантаты ИРИС ЛМ (НПК «Ликостом», Россия), аналогичной геометрии с коммерческой поверхностью DAE (двойное кислотное травление). Все имплантаты

были установлены экспериментальным животным по 3 имплантата каждого типа одному животному: ПЭО Ti, ПЭО Ca, ИРИС ЛМ (поверхность DAE, группа сравнения).

Непосредственно исследование проводили на базе станции Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. В данном исследовании были использованы 15 половозрелых овец, породы Северо-Кавказской мясошерстной в возрасте от 1.5 до 2 лет. Вес овец был равен 35-40 кг. Всего было установлены 45 имплантатов экспериментальным животным по 3 имплантата каждому животному: ИРИС ПЭО Ti, ИРИС Ca, ИРИС гладкие (группа сравнения).

При проведении эксперимента с участием животных соблюдались требования нормативно-технических документов, регламентирующих проведение исследований с участием животных: «Правила проведения работ с использованием экспериментальных животных», «Приказ МЗ СССР № 755 от 12 августа 1977 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных». Животные случайным образом были разделены на 3 группы, по 5 животных в каждой группе. Таким образом в каждой группе изучали по 10 имплантатов каждого варианта. Через 15 дней, 30 дней, 2 месяца из эксперимента последовательно выводили животных каждой группы и выполняли забор материала для микрокомпьютерной томографию.

Имплантаты устанавливали в области тела нижней челюсти наружным доступом. Каждому животному устанавливали по 3 имплантата справа и слева. Дистальный имплантат (ближе у углу челюсти) был с поверхностью ПЭО Ti, средний имплантат с поверхностью ПЭО Ca, самый мезиальный имплантат (ближе к подбородку) имел поверхность, модифицированную DAE. Животным через сутки вводили в рацион мягкий корм. Каждый день производился визуальный осмотр.

Для изучения структуры костей использовали рентгеновский компьютерный микротомограф Skyscan 1176 (Bruker microCT, Бельгия). Параметры сканирования в программе Skyscan 1176. Визуализация, анализ данных и получение 3D моделей проводились в программах CT-analyser (1.18.4.0, Bruker-microCT, Бельгия), Ctvox (3.3.0r1403, Bruker-microCT, Бельгия) и Ctvol (2.3.2.0, Bruker-microCT, Бельгия).

При исследовании оценивали состояние окружающей имплантаты костной ткани, площадь её контакта с поверхностью имплантата. Проводили измерение минеральной плотности костной ткани вокруг имплантатов, что позволило оценить динамику и качество их остеоинтеграции имплантатов.

Материалы и методы клинического исследования

В клиническом исследовании участвовало 50 человек. Срок наблюдения составил 1 год после протезирования. Планирование хирургического и ортопедического этапов комплексного

лечения пациентов с частичной потерей зубов с использованием имплантатов системы ИРИС с поверхностью ПЭО Са включало в себя клинические и дополнительные рентгенологические и лабораторные исследования. Группой сравнения служили пациенты, которым в сходных клинических условиях устанавливали имплантаты ИРИС с поверхностью ДАЕ.

Основной задачей предоперационного обследования было выявление абсолютных и относительных, общих и местных противопоказаний к использованию имплантатов и исключению части пациентов из исследования. Уровень здоровья пациентов оценивался по данным расширенного медицинского анамнеза и заключениям врачей по имеющимся общесоматическим заболеваниям, общим и частным анализам крови с определением уровня глюкозы, гемосиндрома, маркеров гепатита В, С, сифилиса, ВИЧ. В исследование включали пациентов, не имеющих сахарного диабета, остеопороза, нарушений свёртываемости крови, заболеваний щитовидной железы, онкологических заболеваний и указанных инфекций.

Исследуя стоматологический статус пациента, особое внимание обращали на гигиену полости рта, оценивали состояние тканей пародонта. Отмечали вид окклюзии, наличие пломб и протезов, состояние слизистой оболочки полости рта. Полученные данные вносились в амбулаторную карту пациента.

В настоящем диссертационном исследовании принимали участие здоровые пациенты, не имеющие хронических заболеваний. Все пациенты на момент проведения хирургических операций имели санированную полость рта.

В работе применяли конусно-лучевую компьютерную томографию, внутриротовую рентгенографию и ортопантомографию (ОПТГ). КЛКТ использовалось для отбора пациентов для исследования по критерию объёма доступной для имплантации костной ткани, как было сказано выбирали пациентов со следующими параметрами альвеолярной кости: ширина более 7 мм, высота более 10. ОПТГ применяли для общей оценки состояния челюстей, зубов и установленных имплантатов через год после протезирования. Внутриротовые рентгеновские снимки имплантатов использовали для оценки пришеечной резорбции через год после протезирования.

Стоматологический диагноз по МКБ 10 соответствовал K08.1 «потеря зубов вследствие несчастного случая, удаления или локальной периодонтальной болезни».

Пациентов разделяли методом фиксированной рандомизация, т.е. пациент попадал в группу вмешательства или контроля строго на основании заранее принятого принципа. Мужчин и женщин равномерно распределяли через одного в исследуемую и контрольную группы. Распределение пациентов по группам и полу представлено в таблице 4.

1 группа – 25 пациентов (12 женщин, 13 мужчин) с включёнными и концевыми дефектами зубного верхней и нижней челюсти, достаточным объемом костной ткани для установки дентальных имплантатов (ширина более 7 мм, высота более 10). Пациентам устанавливали имплантаты ИРИС ЛМ с поверхностью ПЭО Са (далее «имплантаты ПЭО Са»)

2 группа (группа сравнения) - 25 пациентов (14 женщин, 11 мужчин) с включёнными и концевыми дефектами зубного верхней и нижней челюсти, достаточным объемом костной ткани для установки дентальных имплантатов (ширина более 7 мм, высота более 10). Пациентам устанавливали имплантаты ИРИС ЛМ с поверхностью ПЭО Са (далее «имплантаты ПЭО Са»). Данная группа была организована для сравнения, в ней использовались имплантаты ИРИС с коммерческой поверхностью DAE, сформированной кислотным травлением (Табл. 2). В обеих подгруппах применяли имплантаты длиной 10 мм и диаметром 4.0 или 4.5 мм.

Таблица 2 – Распределение исследуемых пациентов по полу и возрасту, количество установленных имплантатов

Группа	1 группа		2 группа (сравнение)	
Характеристика поверхности имплантата	ИРИС ПЭО Са		ИРИС DAE	
Пол	Мужчины	Женщины	Мужчины	Женщины
Распределение по полу	13 человек	12 человек	11 человек	14 человек
Распределение по возрасту:				
Молодой возраст (18-44 года)	2	3	4	3
Средний возраст (45-59 лет)	8	7	6	6
Пожилой возраст (60-74 года)	3	2	4	2
Всего пациентов	25 человек		25 человек	
	50 человек			

Все операции проводили амбулаторно, под местной инфильтрационной анестезией Sol. Articaini D-S cum Sol. Adrenalin 0,01% 1:200 000. Перед операцией однократно назначали антибиотик Амоксиклав 875 мг per os за 40 мин до операции. Проводили двухэтапную методику имплантации. Все имплантаты устанавливали на 1 мм ниже края альвеолярного гребня с усилием от 35 до 50 Н/см², имплантат закрывали формирователем десны. Временного протезирования и непосредственной нагрузки на установленных имплантатах не проводилось.

Если усилие при установке имплантата было ниже 35 Н/см² имплантаты ушивали с винтом заглушкой или невысоким формирователем десны 3 мм. В таком случае в обеих группах протезирование всегда проводили отсрочено.

Протезирование пациентов в 1 группе начинали через 2 месяца после имплантации на НЧ и через 4 месяца на ВЧ. Протезирование пациентов во 2 группе начинали через 3 месяца после имплантации на НЧ и через 6 месяцев на ВЧ. (общепринятый протокол).

Для объективной оценки стабильности дентальных имплантатов применяли аппарат Penguin RFA. Прибор Penguin измеряет магнитно-резонансную частоту колебаний (RFA - Resonance Frequency Analysis) при помощи бесконтактной техники. Показатели FRA имеют целочисленные значения от 1 до 100 в единицах ISQ (от англ. Implant Stability Quotient – Коэффициент Стабильности Имплаттата): высокая стабильность означает > 70 ISQ, между 60-69 является средней стабильностью, < 60 ISQ считается низкой стабильностью.

Методы статистической обработки данных

Статистические расчёты проводили на языке Python с использованием библиотек pandas, numpy, matplotlib, scipy. Оценивался показатель стабильности имплантатов (ISQ), измеряемый у имплантатов сразу после установки у пациентов обеих групп, при закручивании с торком 35-50 Н/см². Полученные данные обрабатывали методами описательной статистики: проверяли нормальность распределения данных тестом Шапиро-Уилка, среднее значение, стандартное отклонение, 95% доверительный интервал, медиану, нижний и верхний квартили, минимальное и максимальное значения. Такие расчёты были запланированы для сравнения сроков остеоинтеграции имплантатов с поверхностью ПЭО Са и ИРИС DAE (поверхность сформирована кислотным травлением).

При нормальном распределении данных сравнение планировали t-критерия Стьюдента и достоверности p (достоверными принимали данные при $p < 0,05$) Визуализация, выполненная при помощи boxplot. Дополнительно использовали непараметрический теста Манна-Уитни для малых групп для их попарного сравнения.

Результаты исследования поверхности титановых дисков

На рисунках 1 (Рис.1А, Рис.1Б) и 2 (Рис.2А, Рис.2Б) представлены изображения СЭМ и АСМ поверхности титановых дисков и имплантатов ИРИС ПЭО Ti и ИРИС ПЭО Са. Изображения АСМ в основном имеют визуальные топографические характеристики. Наиболее характерный размер пор около 2 мкм. На СЭМ – изображения показывают примерно ту же картину. Но по этим изображениям уже можно количественно определить число и размеры пор, частоту, с которой они встречаются и распределение по размерам.

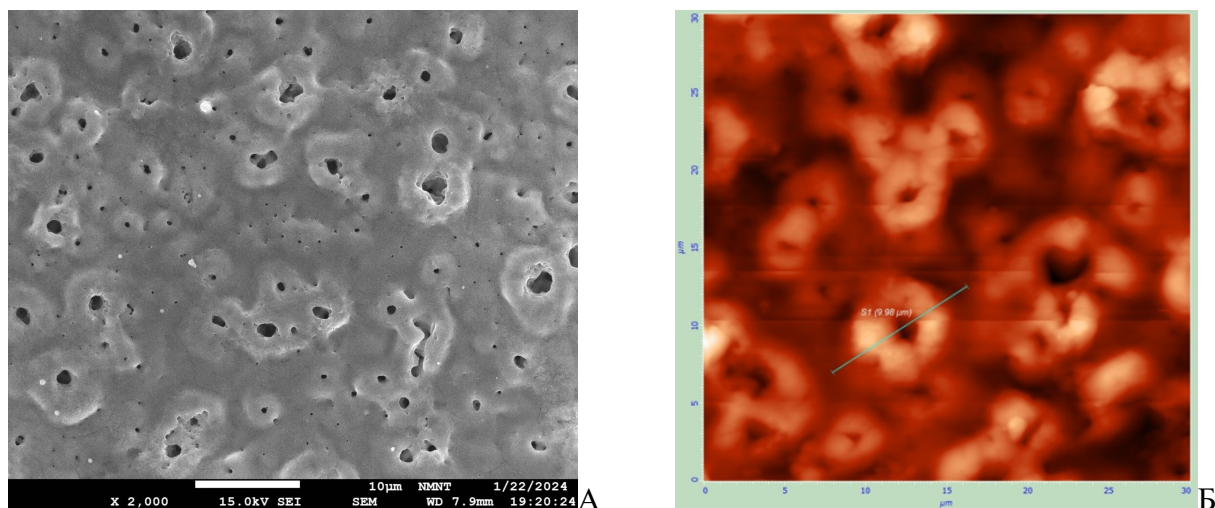


Рисунок 1 – Изображение СЭМ (А) и АСМ (Б) поверхности имплантата с поверхностью ПЭО Ti при сходном увеличении.

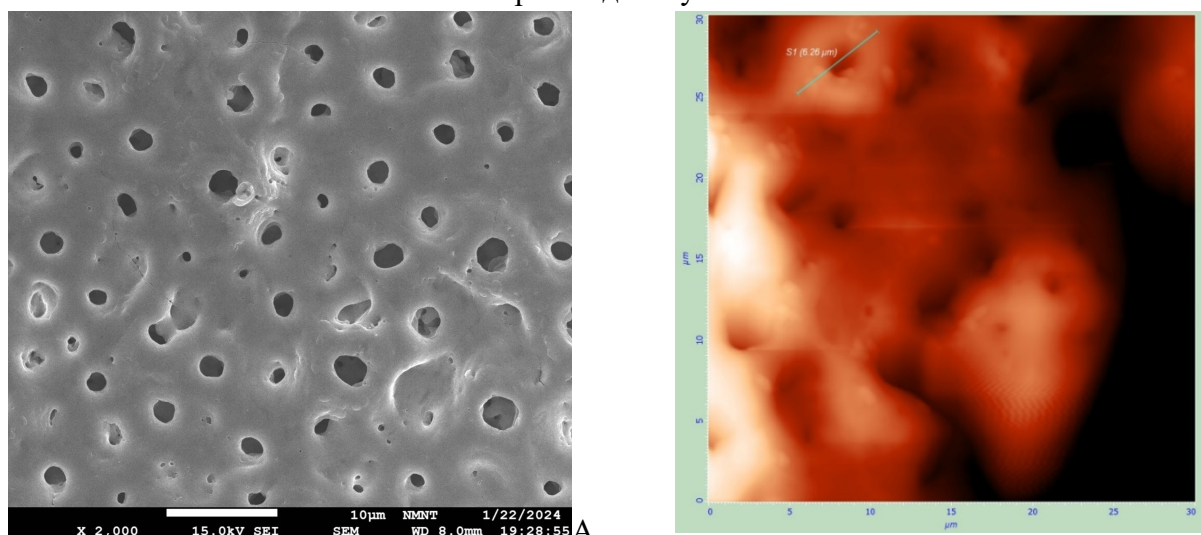


Рисунок 2 – Изображение СЭМ и АСМ поверхности имплантата с поверхностью ПЭО Са

По данным СЭМ (при увеличении 2000 и видимым полем в 82 мкм), распределение пор по размерам у образцов, с поверхностью ПЭО Ti в отличие от ПЭО Са, обладает мономодальным распределением размеров пор с максимумом вблизи 0,23 мкм. При этом диаметр пор варьируется в широких пределах: от 0,1 до 3 мкм. По данным АСМ на поверхности ПЭО Ti диаметр пор варьирует в от 2-4 мкм, глубина 1.5 мкм, средняя шероховатость 0.43 мкм.

Толщина полученного покрытия ПЭО на поверхности титановых дисков имела различную толщину, в зависимости от режима. Так, на образцах ПЭО Ti, толщина покрытия составила 2-3 мкм, на образцах ПЭО Са – 8-9 мкм. (рис. 3)

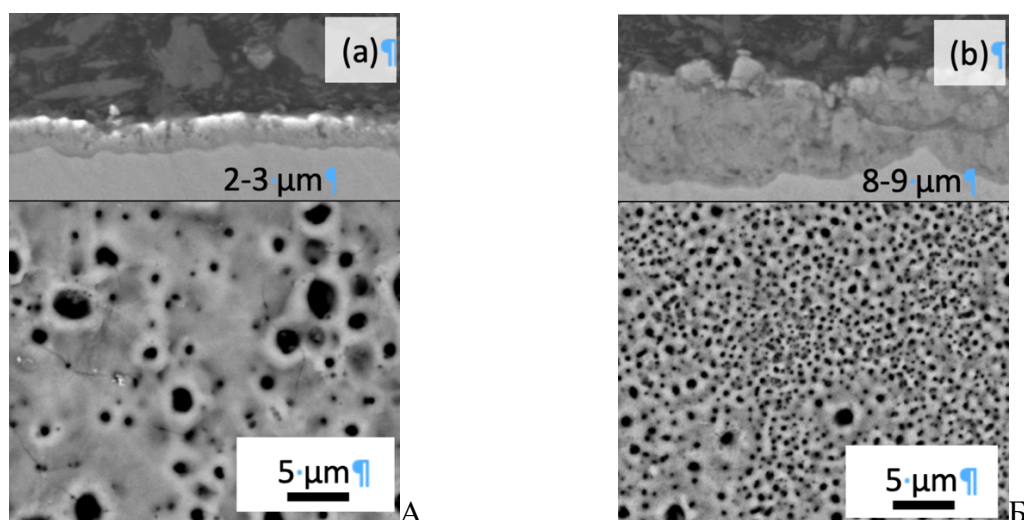


Рисунок 3 – СЭМ бокового шлифа титановых дисков с покрытием: А - ПЭО Ti, Б – ПЭО Ca.

Усреднённые данные элементного состава поверхностей изучаемых дисков и имплантатов, полученные методом ЭДС-спектроскопии на увеличении в 2000 раз, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Элементный состав дисков из Grade 4 с разными видами поверхностей при увеличении 1 000 раз;

Элемент	Вид поверхности/Вес. %			Вид поверхности/Атом. %		
	Без обр. Grade 4	ПЭО Ti	ПЭО Ca	Без обр. Grade 4	ПЭО Ti	ПЭО Ca
C	1.78	0.94	1.86	5.92	2.03	3.84
O	7.30	40.77	42.24	18.24	66.19	65.45
Ti	90.74	57.96	46.97	75.71	31.71	24.31
Fe	0.18	0.15	-	0.13	0.07	-
P	-	-	3.47	-	-	2.78
Ca	-	-	4.93	-	-	3.05
Na	-	-	0.53	-	-	0.57
Сумма	100.0	100.0	100.0	100.00	100.0	100.0

Результаты измерения микротвердости по Виккерсу

Микротвёрдость гладкой поверхности титана Grade 4 составила 280 HV, поверхности, модифицированной методом ПЭО Ti – 400-800 HV, ПЭО Ca – 360-480 HV.

Результаты *in vitro* исследования пролиферативной активности фибробластов

Проведена оценка цитотоксического эффекта образцов титановых дисков на мезенхимальных фибробластах человека линии DF-2. На основе диаметра предоставленных для анализа дисков (5 мм) была рассчитана площадь диска – 0,2 см². Данная площадь примерно

соответствует 10,5% площади лунки 24-луночной платы, использованной для анализа (1,9 см²), что согласуется с требованиями ГОСТ 10993-5-2011 (1/10 площади лунки).

Было выявлено, что при культивировании клеток в присутствии дисков типа «Grade 4 ПЭО Ti» и «Grade 4 ПЭО Ca» показало, что количество живых клеток для всех типов дисков было меньше, чем для контроля: у «Grade 4 ПЭО Ti» – на 30,7%, у дисков «Grade 4 ПЭО Ca» – на 41,3 %. При этом морфологически клетки не отличались от контрольных (Рис. 4)



Рисунок 4 – Клетки, культивированные в присутствии дисков типа «Grade 4». А – диски «Grade 4 ПЭО Ti», Б – диски «Grade 4 ПЭО Ca», В – контроль, пустая лунка. Микроскоп Nikon Eclipse Ts2, увеличение x40

При исследовании влияния на живые клетки материалов, использованных для изготовления титановых дисков было показано, на дисках с поверхностью «Grade 4 ПЭО Ca» имела меньшая пролиферативная активность, при этом морфология клеток не менялась, что свидетельствует об отсутствии цитотоксичности. Общие результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты оценки пролиферативной активности на поверхности исследуемых дисков.

№ п\п	Вид матрицы	Площадь диска, доли	Количество живых клеток, среднее (%) ± SD
1	Диск «Grade 4 ПЭО Ti»	1/10	69,3%
2	Диск «Grade 4 ПЭО Ca»	1/10	58,7%
3	Диск «Grade 4 контроль»	1/10	77,2%

Результаты *in vivo* имплантации и микрофотографического исследования остеоинтеграции

После операции проведения дентальной имплантации раны у всех животных заживали первичным натяжением, швы не снимали, так как они резорбировались самостоятельно в течение месяца. К моменту получения биоптатов изменений со стороны мягких тканей в области проведённых вмешательств воспалительных явлений выявлено не было.

Отторжения и потери имплантатов также не наблюдалось в течение всего периода наблюдения. При заборе костной ткани с имплантатами на микроКТ-исследование отмечено, что все установленные имплантаты были погружены в костную ткань, оголенных частей не обнаружено.

После выведения животных из эксперимента, выделяли нижнюю челюсть и резецировали фрагмент с имплантатами, очищали его от мягких тканей и помещали в изопропиловый спирт. Образцы хранили в бытовом холодильнике. Для сканирования в микротомографе образец вынимали из раствора, высушивали бумажными салфетками и размещали в камере томографа.

Результаты микроКТ-исследования продемонстрировали различные показатели вновь образованного объема костной ткани, окружающей имплантат (BV/TV, %) и костно-имплантатного контакта (BIC, %).

Так, к 15-м суткам BV/TV вокруг имплантата ПЭО Са составил 52,6% против 46,9% у имплантата ПЭО Ti. К 30-м суткам этот показатель уменьшался более чем в 2 раза в обоих случаях и возрастал к концу 2-го месяца (60 суток), составляя 32,6% (ПЭО Са) и 32,9% (ПЭО Ti) соответственно.

Сходная динамика наблюдалась у костно-имплантатного контакта (BIC, %). Показатель BIC (%) к 15-м суткам вокруг имплантата ПЭО Са составил 52,4% против 46,2% у имплантата ПЭО Ti. К 30-м суткам показатель также уменьшался в обоих случаях и повторно возрастал к концу 2-го месяца, достигая 49,8% (ПЭО Са) и 42,4% (ПЭО Ti) соответственно.

Следует отметить, что изменения BV/TV и BIC имели похожую динамику для имплантата ИРИС DAE, показатели были близки к таковым имплантата ПЭО Ti. Для имплантата ИРИС DAE через 15 дней BV/TV составил 45,4% и BIC – 42,7%, через месяц BV/TV – 18,5% и BIC – 28,1%, к концу 2-го месяца (60 суток) составили: BV/TV – 30,2% и BIC – 39,8% (Табл 5).

Таблица 5 – Показатели вновь образованного объема костной ткани, окружающей имплантат (BV/TV, %) и костно-имплантатного контакта (BIC, %) на 15, 30 и 60 сутки наблюдения.

	Занимаемый вновь образованной костной тканью объем окружающей имплантат области (≈ 900 мкм от пограничного слоя по всей области имплантата), BV/TV, %			Костно-имплантатный контакт (BIC) имплантата, %		
	15 сутки	30 сутки	60 сутки	15 сутки	30 сутки	60 сутки
Имплантаты ИРИС DAE	33,3	16,5	30,2	43,7	22,1	39,8
ПЭО Ti	46,9	20,0	32,9	46,2	30,9	42,4
ПЭО Са	52,6	18,3	32,6	52,4	40,8	49,8

Результаты собственных клинических исследований с использованием имплантатов ИРИС ПЭО Ti.

У всех пациентов независимо от группы исследования после проведённых операций заживление слизистой оболочки в области проведённой операции проходило без инфекционного воспаления. Швы снимали на 7 сутки после операции.

При адаптации лоскутов и их ушивании вокруг формирователей, через неделю сохранялось незначительная гиперемия, местами отмечался фибринозный налёт, через 14 дней края лоскутов вокруг формирователей десны полностью эпителизировались, экссудации, гиперемии, отёка не наблюдалось. К 10-14 суткам слизистая оболочка приобретала бледно-розовый цвет. В таблице 6 приведены сводные данные по распределению пациентов по группам и количеству установленных имплантатов.

Таблица 6 – Распределение исследуемых пациентов по группам, количество установленных имплантатов и их распределение по челюстям

Разделение на группы	1 группа Имплантаты ПЭО Са		2 группа Имплантаты ИРИС DAE	
	Имплантация на НЧ	Имплантация на ВЧ	Имплантация на НЧ	Имплантация на ВЧ
Количество пациентов	15	10	15	10
Количество имплантатов	31 имплантат	19 имплантатов	35 имплантатов	16 имплантатов
Усилие при установке	31 имплантат – 35-50 Н/см ²	15 имплантатов – 35-50 Н/см ² 4 имплантата – 15-30 Н/см ²	35 имплантатов 35-50 Н/см ²	13 имплантатов 35-50 Н/см ² 3 имплантата 15-30 Н/см ²

Через год после окончания лечения все ортопедические конструкции отвечали функциональным и эстетическим требованиям. Показатели стабильности имплантатов составили 72-81 ISQ, что относится к высоким показателям стабильности имплантатов.

Резорбция костной ткани в пришеечной области имплантатов через 1 год после окончания лечения не отмечалась.

Результаты статистической обработки данных

В результате клинических исследований для статистической обработки были получены

данные ISQ имплантатов на верхней и нижней челюсти. Измерения проводили у всех имплантатов сразу после установки, при достижении торка 35-50 Н/см², через 2 месяца на нижней (Имплантаты ИРИС ПЭО, группа 1), через 3 месяца на нижней (Имплантаты ИРИС DAE, группа 2); через 4 месяца (ИРИС ПЭО в группе 1 на ВЧ) и через 6 месяцев (ИРИС DAE в группе 2 на ВЧ). На рисунке 5 представлены средние значения и значения медианы ISQ исследуемых имплантатов на всех сроках наблюдения.

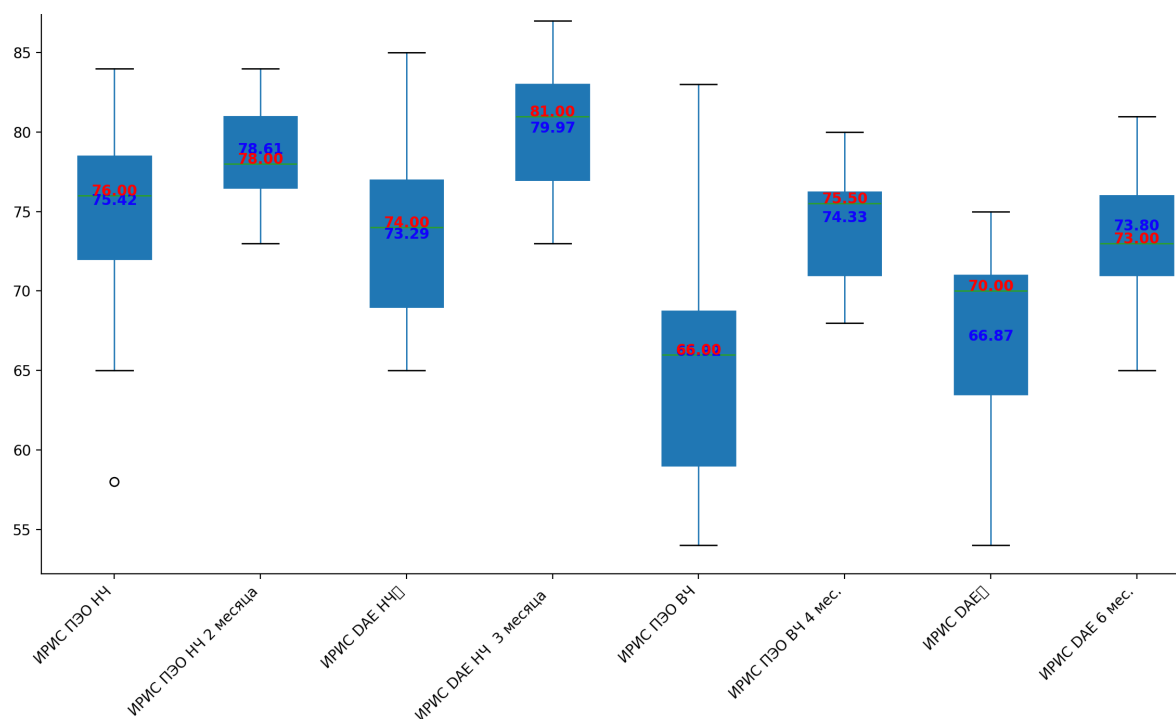


Рисунок 5 – Боксовая диаграмма со средними значениями и значениями медианы ISQ исследуемых имплантатов на различных сроках наблюдения. Обозначения ИРИС ПЭО НЧ, ИРИС DAE НЧ, ИРИС ПЭО ВЧ, ИРИС DAE ВЧ соответствуют измерениям непосредственно сразу после установки имплантатов. Красным – медиана, синим – среднее значение.

Согласно тесту Шапиро-Уилка полученные значения ISQ в 1 и 2 группах на обоих сроках наблюдения имели нормальное распределение (p больше, чем значение $\alpha = 0,05$). На основании полученных средних значений, медианы, стандартных отклонений, t -критериев и p -значений можно сделать заключение, что увеличение стабильности имплантатов ПЭО Са через 2 месяца и ИРИС DAE через 3 месяца статистически достоверно. При этом значения стабильности имплантатов ПЭО Са на нижней челюсти через 2 месяца стали сравнимы с таковыми значениями для имплантатов ИРИС DAE через 3 месяца. Значения стабильности имплантатов ПЭО Са на верхней челюсти через 4 месяца стали сравнимы с таковыми значениями для имплантатов ИРИС DAE через 6 месяцев. С клинической точки зрения это имеет большое значение, так как при использовании имплантатов с поверхностью ПЭО Са, позволяет провести протезирование на 1 месяца раньше на нижней челюсти и на 2 месяца на верхней челюсти.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, дентальные имплантаты с поверхностью, модифицированной методом ПЭО, в частности «ПЭО Са», обладают высоким остеointегративным потенциалом и позволяют ускорить реабилитацию пациентов с частичной потерей зубов. При этом можно выделить следующие перспективы разработки рассматриваемой научной темы. Так как имплантация в настоящем исследовании проводилась у здоровых пациентов с достаточным объёмом костной ткани, то дальнейшие исследования могут быть сфокусированы на пациентах с нарушением обмена веществ, метаболическим синдромом, остеопорозом, сахарным диабетом или дефицитом костной ткани. Можно предположить, что результаты использования имплантатов с поверхностью «ПЭО Са» будут более предсказуемыми у пациентов с указанными факторами риска. Кроме того, само ПЭО относится к перспективным методам модификации поверхности дентальных имплантатов, и возможно исследование новых вариантов ПЭО с другим химическим составом и морфологией, зависящим от раствора, в котором проводится ПЭО и режимов обработки.

Выводы

1. С использованием методов электронной и атомно-силовой микроскопии охарактеризованы поверхности дентальных имплантатов из сплава Grade 4, модифицированных различными методами плазменного электролитического оксидирования в 2-х видах раствора: «ПЭО Ti» - в растворе гидроксида натрия с концентрацией 2 г/литр и «ПЭО Са» – в растворе дигидрофосфата кальция с концентрацией 1 г/литр. Микрошероховатость поверхности «ПЭО Ti» имеет распределение микропор от 0,1 до 3 мкм, «ПЭО Са» - 0,2 до 7 мкм. Толщина поверхности «ПЭО Ti» – 2-3 мкм, ПЭО Са 8-9 мкм. На поверхности имплантатов «ПЭО Са» не определялись ионы железа.

2. В эксперименте *in vitro* продемонстрировано, что поверхность титановых дисков из сплава Grade 4: «ПЭО Са» и «ПЭО Ti» не обладают цитотоксичным действием, все культивированные клетки имели нормальную морфологию, погибших клеток не выявлено. При этом активность роста клеток на дисках с покрытием «ПЭО Ti» составляет 69,3%, а для дисков с покрытием «ПЭО Са» – 58,7%.

3. При изучении остеointеграции имплантатов из сплава Grade 4 с двумя типами модификации ПЭО их поверхности у экспериментальных животных было выявлено, что оба рассмотренных вида обработки ПЭО продемонстрировали сходный остеointегративный потенциал, тем не менее поверхность «ПЭО Са», очевидно, благодаря наличию кальция в составе поверхности, показала больший контакт с поверхностью имплантата 49,8%, чем ПЭО Ti – 42,4%.

4. Клинические исследования имплантатов из сплава Grade 4 с поверхностью «ПЭО Са», сформированной методом плазменного электролитического оксидирования в дигидрофосфате

кальция, при лечении пациентов с частичной потерей зубов продемонстрировали, что при установке данных имплантатов с усилием 35-50 Н/см² доказана возможность их открытого ведения с формирователем десны и протезирование через 2 месяца на нижней челюсти и 4 месяца на верхней челюсти. Пришеечной резорбции через год после протезирования не наблюдалось.

Практические рекомендации

1. Рекомендуется использовать раствор дигидрофосфата кальция в концентрации 2 г/литр для проведения плазменного электролитического оксидирования при обработке поверхности дентальных имплантатов.

2. Дентальные имплантаты с поверхностью, модифицированной плазменном электролитическим оксидированием в электролите дигидрофосфата кальция, являются более предпочтительными для клинического использования по сравнению с имплантатами других видов обработки.

3. Рекомендуется соблюдать торк (усилие) в 35-50Н/см² при установке имплантатов с поверхностью «ПЭО Са». Такой подход позволит устанавливать имплантаты одновременно с формирователями десны, что исключает необходимость проведения дополнительной операции по раскрытию имплантата, после его интеграции.

4. При установке имплантатов с поверхностью «ПЭО Са» с усилием 35-50Н/см² рекомендовано протезирование на установленных имплантатах на нижней челюсти через 2 месяца после операции, на верхней челюсти через 4 месяца.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных Перечнями РУДН/ВАК

1. **Мурзабеков А.И.**, Мураев А.А., Мухаметшин Р.Ф., Ким Э.В., и др. Результаты применения дентальных имплантатов ИРИС с поверхностью, модифицированной методом плазменного электролитического оксидирования. Медицинский алфавит. 2024;(1):77-82.

2. **Мурзабеков А.И.**, Салех К. М., Серебряный С. В., Добрынин И. А. и др.. Сравнительное исследование влияния микрорельефа поверхности дентальных имплантатов на их первичную стабильность в костной ткани // Проблемы стоматологии. 2024. №. 2. С. 127-134.

Публикации в изданиях, включенных в международные базы цитирования Scopus

3. Мураев А.А., **Мурзабеков А.И.**, Иванов С.Ю., Тарасов Ю.В., Орлов Е.А., Долгалев А.А. Модификация поверхности дентальных имплантатов с помощью плазменного электролитического оксидирования. СТМ. - 2023. - Т. 15. - № 3.- С. 18-25.

Публикации в изданиях, базы RSCI

3. Мураев А.А., **Мурзабеков А.И.**, Орлов Е.А., Тарасов Ю.В. Плазменное электролитическое оксидирование для формирования поверхности дентальных имплантатов. Гены и Клетки. 2022. Т. 17. № 3. С. 156-157.

Публикации в других изданиях

5. The influence of plasma electrolytic oxidation modes during surface treatment of titanium disks on the proliferative activity of fibroblasts, **Murzabekov A.I.**, Dulbin G.D., тезисы конференции: International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”, 11 сентября 2024 года. Пекин, КНР. DOI 10.34660/INF.2024.16.24.020

Аннотация

Сравнительные исследования титановых имплантатов с различными видами модификации и обработки поверхности и их остеointегративных свойств продолжают сохранять научный и практический интерес, так же, как и разработка новых методов модификации их поверхности. Диссертация Мурзабекова Ахмеда Исропиловича на тему «Клинико-экспериментальное обоснование применения дентальных имплантатов с поверхностью, модифицированной плазменным электролитическим оксидированием» посвящена актуальному вопросу стоматологии, а именно повышению эффективности проведения дентальной имплантации у пациентов с потерей зубов.

В работе показаны преимущества имплантатов, модифицированных методом ПЭО в растворе дигидрофосфата кальция с концентрацией 1 г/литр. Это позволило сформировать поверхность без примесей инородных металлов (железа), с равномерной микрошероховатостью 0.2-7 мкм. При проведении клинических исследований дентальных имплантатов с поверхностью, модифицированной методом ПЭО Са, показано сокращение сроков остеointеграции и достижение имплантатами достаточной стабильности для функциональной нагрузки: на нижней челюсти с 3 до 2 месяцев, на верхней челюсти с 6 до 4 месяцев

Abstract

Comparative studies of titanium implants with various types of surface modifications and treatments, along with their osteointegrative properties, continue to maintain scientific and practical interest, as does the development of new methods for modifying their surfaces. The dissertation by Murzabekov Akhmed Isropilovich entitled “Clinical and Experimental Justification for the Use of Dental Implants with a Plasma Electrolytic Oxidation Modified Surface” addresses a pertinent issue in dentistry, namely, the enhancement of the efficiency of dental implantation in patients with tooth loss.

The work demonstrates the advantages of implants modified by the method of plasma electrolytic oxidation (PEO) in a calcium dihydrogen phosphate solution with a concentration of 1 g/litre. This modification resulted in the formation of a surface devoid of impurities from foreign metals (such as iron) and exhibited a uniform micro-roughness of 0.2-7 micrometres. Clinical studies of dental implants with a surface modified by the PEO method using calcium have shown a reduction in the duration of osteointegration, as well as the attainment of sufficient implant stability for functional load: decreasing from 3 months to 2 months for the mandible and from 6 months to 4 months for the maxilla.