

На правах рукописи

ЗРАЖЕВСКАЯ Анастасия Павловна

**ЦИФРОВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ
СТОМАТОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С
ДЕФЕКТАМИ СРЕДНЕЙ ЗОНЫ ЛИЦА**

3.1.7. Стоматология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Москва, 2025

Работа выполнена в Институте цифровой 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:

Апресян Самвел Владиславович, доктор медицинских наук, профессор

Официальные оппоненты:

Нуриева Наталья Сергеевна – Доктор медицинских наук, проректор по науке и стратегическому развитию, профессор кафедры ортопедической стоматологии и ортодонтии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Гажва Светлана Иосифовна – Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой стоматологии факультета дополнительного профессионального образования ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный медицинский университет" Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Защита диссертации состоится 26 ноября 2025 года в 9:00 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/dissertacionnyesovety/pds-0300028>

Автореферат разослан « » ____ 2025 г.

Ученый секретарь

ПДС 0300.028

кандидат медицинских наук, доцент

Макеева Мария Константиновна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень разработанности исследуемой темы

Потребность в протезировании дефектов лица остается крайне высокой и продолжает расти по мере увеличения числа случаев онкологических заболеваний, травматических повреждений и последствий военных конфликтов (Арутюнов С.Д., Лебеденко И.Ю. 2010). По данным ВОЗ, ежегодно регистрируется свыше 650 000 новых случаев злокачественных новообразований головы и шеи, значительная часть которых требует хирургического вмешательства с последующим протезированием (WHO, 2023). Кроме того, травмы лица, возникающие в результате дорожно-транспортных происшествий, производственных аварий и боевых действий в локальных конфликтах, также формируют устойчивый запрос на восстановление внешнего облика пациентов (Харазян А.Э.2013, Чкадуа Т.З. 2017). В посттравматическом периоде такие пациенты испытывают не только функциональные, но и выраженные психоэмоциональные нарушения, связанные с изменением внешности и социальной стигматизацией (Petruzzi et al., 2020; Oliveira et al., 2019).

Этиология лицевых дефектов включает в себя обширный перечень причин: хирургическое удаление опухолей, ожоги, врожденные пороки развития, механические травмы и последствия инфекционных заболеваний. Наибольшую группу составляют пациенты после резекций, обусловленных злокачественными опухолями, особенно в области носа, глазницы, уха и верхней челюсти (Katre et al., 2021; Решетов И.В., 2022). В подобных случаях восстановление мягкотканых и твердых структур невозможно только с помощью хирургической реконструкции, и единственным способом реабилитации становится использование лицевых протезов.

Современная анапластология — область, занимающаяся изготовлением лицевых протезов, — сталкивается с рядом сложностей. Получение точного оттиска с анатомически нарушенного участка лица требует от специалиста высокой квалификации и применения дорогостоящих силиконовых материалов (Арутюнов С.Д. и соавт., 2020). Оттиски с лицевых дефектов сопряжены с риском смещения, деформации и дополнительной травматизации. Аналоговые методы моделирования и изготовления протезов требуют множества этапов: создание гипсовой модели, воскование, изготовление формы и заливка протеза, что занимает значительное время и ресурсы, при этом результат может быть ограниченно воспроизводимым (Сюсса et al., 2018; Асташина Н.Б., 2021).

С другой стороны, цифровые технологии в стоматологии и медицине уже продемонстрировали значительное преимущество в скорости, точности и воспроизводимости (Апресян С.В. 2020). Использование интраоральных и внешних 3D-сканеров, а также томографических данных, позволяет создавать цифровые модели лица и областей дефекта с

минимальной инвазией (Revilla-León & Özcan, 2017; Абакаров С.И., 2023). Развитие CAD/CAM-технологий и программного обеспечения для цифрового моделирования значительно упростило процесс проектирования как зубных, так и лицевых протезов (Степанов А.Г., 2022).

Особенно актуальными стали методы объемной (аддитивной) печати, которые позволяют изготавливать протезы из биосовместимых материалов с высокой точностью и индивидуализацией (Patel et al., 2022; Нуриева Н.С., 2022). Применение 3D-печати в изготовлении лицевых протезов открывает возможность тиражирования, легкой коррекции и улучшения эстетических параметров (Апресян С.В., 2023; Гажва С.И., 2021).

Однако, несмотря на очевидные преимущества, существует нехватка специализированного программного обеспечения, адаптированного именно под нужды анапластологов. Существующие CAD-системы разрабатывались преимущественно для стоматологии или инженерии и не всегда учитывают анатомические, биомеханические и эстетические особенности лицевого протезирования (Суонио В.К., 2023). В этой связи особенно важной представляется разработка специализированной компьютерной программы, которая бы включала алгоритмы автоматического построения протеза на основе сканов, базы анатомических форм, симметричного моделирования и интеграции с 3D-принтерами (Bilgin et al., 2020; Balaji, 2021).

Таким образом, разработка такой программы отвечает сразу нескольким актуальным задачам — облегчает работу клиницистов, сокращает время изготовления протеза, снижает стоимость лечения и, главное, улучшает качество жизни пациентов с тяжелыми лицевыми дефектами. Она является логическим продолжением цифровизации медицинской реабилитации и крайне востребована в современной практике.

Цель исследования

Повышение эффективности протезирования пациентов с дефектами средней зоны лица, путем разработки и клинического обоснования применения программы для 3D-моделирования и способа изготовления эпитезов лица.

Задачи исследования:

1. Проведение сравнительного анализа 3D-сканеров, используемых для получения объемных изображений лица.
2. Разработать технологию сопоставления биометрических данных пациентов с дефектами средней зоны лица для последующего моделирования лицевого протеза.
3. Разработать программу компьютерного 3D-моделирования лицевых эпитезов для ортопедической реабилитации пациентов с дефектами средней зоны лица с применением современных цифровых стоматологических технологий.

4. Разработать способ ортопедической реабилитации пациентов с дефектами средней зоны лица, с применением современных цифровых стоматологических технологий.

5. Провести клиническую апробацию разработанного способа ортопедической реабилитации пациентов с дефектами средней зоны лица, с применением современных цифровых стоматологических технологий.

Научная новизна исследования

1. Впервые на основе сравнительного анализа различных моделей лицевых сканеров установлено преимущество сканера ObiScanner в точности воспроизведения трёхмерной геометрии мягких тканей лица. Согласно результатам оценки, данное устройство обеспечивало минимальные отклонения от эталонной модели VT MINI V2 в 80 % случаев, при этом максимальное зарегистрированное отклонение не превышало 1,5 %. В противоположность этому, наибольшие погрешности визуализации были выявлены при использовании сканера Einstar, что подтверждает его ограниченную применимость в задачах, требующих высокой точности отображения анатомических структур лица.

2. Разработана технология интеграции биометрических данных у пациентов с дефектами средней зоны лица, основанная на совмещении трёхмерных лицевых сканов с данными компьютерной томографии по анатомическим реперным точкам. Предложенный метод обеспечил высокую точность пространственной регистрации, при которой отклонения от стандартной референтной модели не достигали статистически значимого уровня ($p > 0,05$).

3. Разработано программное обеспечение для трёхмерного компьютерного моделирования лицевых эпитезов, предназначенное для интеграции современных цифровых технологий в клинический процесс ортопедической реабилитации пациентов с дефектами средней зоны лица. Программа обеспечивает высокую точность и индивидуализацию проектирования протезных конструкций, способствуя повышению эффективности реабилитационных мероприятий (свидетельство о регистрации № 2023684031 от 13.11.2023, заявка № 3023682242 от 26.10.2023).

4. Разработан высокотехнологичный метод ортопедической реабилитации пациентов с дефектами средней зоны лица, основанный на цифровом моделировании лицевых эпитезов из материала с твёрдостью по Шору А 40, что обеспечивает высокую эстетичность, тактильную приближённость к коже и улучшение качества жизни (патент РФ № 2790556 от 22.02.2023).

5. Впервые проведена клиническая апробация предложенного метода ортопедической реабилитации с использованием цифровых стоматологических технологий продемонстрировавшая статистически подтверждённую воспроизводимость и высокую точность прилегания эпитезов, характеризующуюся стабильным формированием контактной

зоны с кожными покровами в среднем на 45,16 % площади поверхности при минимальном (0,24–0,38 %) или нулевом объёме корригирующей массы ($p>0,05$), вне зависимости от геометрии конструкции.

Теоретическая и практическая значимость

В ходе выполненного исследования получены новые теоретически обоснованные и клинически подтверждённые данные, расширяющие представления о возможностях применения трёхмерных лицевых сканеров в технологии цифрового моделирования и производства эпитезов средней зоны лица методом объемной печати.

Обоснована и реализована технология интеграции биометрических данных пациентов с использованием совмещения трёхмерных лицевых сканов и данных компьютерной томографии по анатомическим реперным ориентирам, что обеспечивает высокую точность пространственной регистрации и адаптацию протезных конструкций к индивидуальной морфологии.

Сформулированы практические рекомендации по использованию внешних маркеров (реперов) для повышения точности совмещения изображений, что может быть применено в повседневной клинической практике и научных исследованиях.

Разработано и внедрено программное обеспечение, предназначенное для объективной количественной оценки точности прилегания эпитезов к тканям протезного ложа; его использование позволяет стандартизировать анализ и повысить достоверность результатов при клинической верификации качества посадки протезов.

Создана цифровая платформа для трёхмерного моделирования лицевых эпитезов, позволяющая интегрировать современные технологии в ортопедическую практику, обеспечить индивидуализированный подход и повысить эффективность реабилитации пациентов с дефектами средней зоны лица.

Разработан высокотехнологичный метод изготовления эпитезов с применением конструкционного материала, имитирующего тактильные свойства кожи (твёрдость по Шору А 40), что обеспечивает высокую степень эстетической достоверности, комфортность ношения и значительное улучшение качества жизни пациентов.

Практическая значимость разработанного метода ортопедической реабилитации с применением цифровых стоматологических технологий заключается в его клинически подтверждённой воспроизводимости и высокой точности посадки лицевых эпитезов, что обеспечивает стабильное прилегание к кожным покровам на 45,16 % площади поверхности при минимальном или нулевом объёме корригирующей массы, независимо от анатомической формы протеза, тем самым повышая надёжность и эффективность протезирования пациентов с дефектами средней зоны лица в реальной клинической практике.

Методология и методы исследования

Методологическая основа исследования включает комплексный подход, сочетающий аналитическую, статистическую и клиническую составляющие. Для обоснования выбора 3D-сканеров, применяемых в технологии объемного моделирования лица, был проведён систематизированный обзор 253 научных источников, опубликованных за последние пять лет и представленных в авторитетных базах данных eLIBRARY, PubMed и Elsevier.

Сравнительная оценка точности сканирования выполнялась на основании анализа отклонений в пяти анатомически значимых контрольных точках (внешние углы глаз, углы рта, подбородок), полученных с использованием различных сканирующих систем (EinStar, ObiScanner, Planmeca ProMax 3D ProFace, 3dMDFace System) по отношению к эталонной модели. Для статистической обработки данных применялся однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA), а при достижении уровня значимости $p < 0,05$ проводилось множественное сравнение с использованием пост-хок теста с поправкой Бонферрони. Пороговое значение уровня значимости было установлено на уровне $\alpha = 0,05$. В качестве нулевой гипотезы принималось отсутствие статистически значимых различий между средними значениями отклонений различных сканеров по сравнению с эталонной моделью.

Дополнительно была проведена оценка различий в измерениях расстояний между костными и мягкоткаными точками, полученных с различных устройств, также с применением однофакторного дисперсионного анализа. Анализ позволил проверить воспроизводимость и точность получаемых данных при варьировании оборудования.

Для клинического этапа были отобраны 30 пациентов с дефектами наружных структур средней зоны лица, сформировавшимися в результате хирургического лечения по поводу онкологических заболеваний. Из первоначально обследованных 45 человек включение в исследование осуществлялось в соответствии с чётко сформулированными критериями отбора. На завершающем этапе каждому из 10 пациентов, прошедших клинический отбор, были изготовлены три индивидуальных элпестеза в разных производственных партиях. Это обеспечило возможность оценки воспроизводимости технологического процесса, точности прилегания конструкций и клинической эффективности применённого материала, что в совокупности подтвердило достоверность и практическую значимость полученных результатов.

Внедрение результатов исследования

Итоги проведённого исследования были включены в образовательный процесс кафедры цифровой стоматологии Медицинского института РУДН для программ специалитета и ординатуры и нашли практическое применение в деятельности клинико-диагностических подразделений и стоматологических клиник, входящих в структуру Института цифровой стоматологии РУДН, а также в Центре цифровых стоматологических технологий «МАРТИ».

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Разработанная компьютерная программа обеспечивает возможность высокоточного изготовления эпитезов методом аддитивного производства на основе сопоставленных цифровых биометрических данных пациентов с дефектами средней зоны лица, исключая необходимость традиционного этапа получения физических оттисков.
2. Разработанный высокотехнологичный метод ортопедической реабилитации пациентов с дефектами средней зоны лица, основанный на цифровом моделировании эпитезов из материала с твёрдостью по Шору А 40, обеспечивает высокий уровень эстетической воспроизводимости, тактильную идентичность кожным покровам и способствует повышению качества жизни пациентов.

Степень достоверности результатов и апробация работы

Основные положения диссертационного исследования были представлены для научного обсуждения на межвузовском форуме «Актуальные проблемы стоматологии», организованном Московским международным университетом РУДН 9 ноября 2023 года. Кроме того, материалы работы нашли отражение в докладе на Всероссийской научно-практической конференции «Современные вопросы стоматологии», посвящённой памяти профессора И.М. Оксмана, состоявшейся 13 марта 2024 года в Казани. На V международной научно - практической конференции Молодых ученых стоматологов «ученики – учителям». МОНИКИ. Москва, 23.04.2024. Ключевые результаты исследования были также рассмотрены на совместном заседании кафедры ортопедической стоматологии и Института цифровой стоматологии Медицинского института РУДН. Проведённая апробация состоявшаяся 03.06.2025, протокол № 0300-65-БУП-3 подтвердила научную и практическую значимость работы, которая получила положительное заключение и была рекомендована к защите.

Публикации

По материалам исследования опубликовано 7 печатных работ, из них 1 включена в международные базы цитирования WoS и Scopus, 2 в журналах, рекомендованных перечнями РУДН/ВАК, 3 работы – в иных изданиях, а также получен 1 патент на изобретение.

Личное участие в проведенном исследовании

Автором проведён всесторонний теоретико-аналитический этап исследования, в рамках которого было самостоятельно изучено 253 научных источника. В качестве базовых информационных ресурсов использовались ведущие международные и отечественные электронные базы данных — PubMed, Scopus, eLibrary, а также материалы, представленные на официальном сайте Роспатента. На основании проведённого анализа были систематизированы ключевые характеристики и свойства лицевых сканеров, что позволило обосновать и сформулировать функциональные требования к программной платформе для цифрового

моделирования лицевых эпитезов. Указанные требования включали необходимость учёта анатомического разнообразия пациентов, точное воспроизведение утраченных анатомических структур (включая глаз, ухо, нос, орбиту, скуловую кость), эргономичность пользовательского интерфейса и совместимость с технологиями аддитивного производства.

Автором самостоятельно спланирован и реализован сравнительный анализ 3D-сканеров, применяемых для получения объёмных изображений лица, с целью определения их точностных характеристик и клинической применимости. Разработана технология сопоставления цифровых биометрических данных у пациентов с дефектами средней зоны лица, основанная на совмещении трёхмерных лицевых сканов и компьютерной томографии по анатомическим ориентирам, что стало основой для последующего моделирования и производства индивидуализированных протезных конструкций.

В соавторстве с инженерной группой разработано программное обеспечение для трёхмерного моделирования лицевых эпитезов и экспериментально подтверждена его клиническая эффективность в рамках предложенного метода ортопедической реабилитации с применением цифровых стоматологических технологий.

Клиническая часть исследования была выполнена автором в полном объёме. Из 45 обследованных пациентов с постоперационными дефектами наружных структур средней зоны лица, обусловленных онкологическим лечением, в основную группу были включены 30 человек, которым были изготовлены индивидуальные лицевые эпитезы.

Автор лично осуществил все этапы научной работы, включая сбор и систематизацию данных, их статистическую обработку, интерпретацию полученных результатов, а также подготовку публикаций и оформление диссертационного исследования.

Структура и объем диссертации

Структура диссертационного исследования включает следующие разделы: «Введение», «Аналитический обзор источников», «Материалы и методология», «Результаты и их обсуждение», «Заключение», «Основные выводы», «Рекомендации для практического применения», а также «Библиографический список». В аналитическом обзоре представлена информация из 282 литературных источников, из которых 145 работ принадлежит отечественным авторам, а 137 — зарубежным. Объём диссертации составляет 187 страниц машинописного текста. Материал проиллюстрирован 15 таблицами, а также 72 рисунками.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материалы и методы исследования

В рамках настоящего диссертационного исследования основная цель заключалась в повышении эффективности ортопедического протезирования пациентов с дефектами средней зоны лица путём разработки и клинического обоснования применения специализированной

программы для трёхмерного моделирования, а также способа изготовления лицевых эпитезов с использованием современных цифровых технологий.

Для достижения поставленной цели были спланированы и последовательно реализованы комплексные теоретические и экспериментальные исследования, направленные на решение следующих задач:

- проведён сравнительный анализ различных моделей 3D-сканеров, применяемых для получения трёхмерных изображений лица, с целью выявления наиболее оптимальных устройств по критериям точности, воспроизводимости и клинической применимости;
- разработана технология сопоставления биометрических данных пациентов с посттравматическими или послеоперационными дефектами средней зоны лица, обеспечивающая формирование анатомически корректной базы для дальнейшего протезного моделирования;
- создана оригинальная программа компьютерного трёхмерного моделирования лицевых эпитезов и предложен способ ортопедической реабилитации с её применением, интегрированный в цифровой протокол стоматологического лечения;
- разработан способ количественной оценки точности краевого прилегания эпитеза к тканям протезного ложа, что позволило объективизировать качество посадки конструкции;
- проведена клиническая апробация предложенного способа ортопедической реабилитации пациентов с дефектами средней зоны лица, включающая использование авторской программы моделирования, что подтвердило её клиническую состоятельность и применимость в практике челюстно-лицевой ортопедии.

В ходе теоретического этапа диссертационного исследования был проведён сравнительный анализ современных 3D-сканеров, используемых для получения объемных изображений лица, с целью выбора оптимальных устройств для последующего клинического применения. Анализ включал обзор 253 научных источников за последние пять лет из баз данных eLIBRARY, PubMed и Elsevier. В отборе использовались ключевые слова, касающиеся цифрового лицевого протезирования и 3D-сканирования. В результате изучения были отобраны четыре сканирующих устройства, различающиеся по технологической архитектуре и распространённые в клинической практике: 3dMDFace System (3dMD, США/Великобритания), ObiScanner (Fifth Ingenium, Италия), Einstar (Shining 3D, Китай) и Planmeca ProMax 3D ProFace (Planmeca, Финляндия).

Для объективной оценки точности сканирования были выбраны репрезентативные анатомические ориентиры: внешние уголки глаз, углы рта и подбородок. Эталонной моделью служил скан, полученный с помощью стационарного устройства VT MINI V2 (структурированный свет, камеры технического зрения). STL-файлы, сгенерированные 3D-

сканерами, сравнивались с эталоном методом наложения в программной среде Exocad, с измерением отклонений в заданных точках. Каждое устройство тестировалось по пяти независимым измерениям, что обеспечивало воспроизводимость результатов.

Параллельно была разработана методика совмещения данных КТ и 3D-сканирования для моделирования протезов средней зоны лица. Для пространственной привязки использовались рентгеноконтрастные маркеры из полиметилметакрилата, фиксируемые в стандартных анатомических точках (нос, подбородок, щеки). Сканирование осуществлялось с использованием 3dMDFace System, ObiScanner и Einstar, а компьютерная томография — на Planmeca ProMax 3D ProFace, позволявшем получить КТ и 3D-модель одновременно. Совмещение данных выполнялось в Exocad, верификация — в InVesalius 3.

Следующим этапом стало создание технологии цифрового моделирования эпитезов лица для аддитивного производства. На основании анализа 129 публикаций были определены функциональные требования к программному обеспечению: воспроизведение анатомических структур (нос, глаз, ухо), индивидуализация, совместимость с аддитивными технологиями. Программа разрабатывалась на C++, C#, Python и OpenGL, обеспечивая высокую производительность, модульность и визуализацию в реальном времени.

Для оценки точности прилегания эпитезов была проведена клиническая апробация. Из 45 предварительно обследованных пациентов были отобраны 30 человек с дефектами средней зоны лица после онкологических операций. В выборку вошли 16 мужчин (42–68 лет) и 14 женщин (44–71 год). Все участники имели опыт ношения ортопедических конструкций и прошли психологическую подготовку. После подписания информированного согласия и инструктажа, каждому из 10 пациентов, отобранных для апробации, были изготовлены три эпитеза. Сравнительная оценка точности посадки и качества прилегания проводилась клинически и инструментально, что позволило подтвердить воспроизводимость разработанной методики и применимость программного обеспечения в условиях практического здравоохранения.

Результаты собственных исследований

Для выявления различий между средними значениями отклонений, полученных от сканеров Einstar, ObiScanner, Planmeca ProMax 3D ProFace, 3dMDFace System и эталонной модели, в каждой из пяти контрольных точек (внешние углы глаз, углы рта, подбородок) применялся однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). При достижении уровня значимости $p < 0,05$ дополнительно использовался пост-хок тест с поправкой Бонферрони для множественного сравнения. Пороговое значение α принималось равным 0,05. Нулевая гипотеза предполагала отсутствие статистически значимых различий между средними значениями отклонений разных сканеров относительно эталонной модели.

По результатам однофакторного дисперсионного анализа было установлено, что во всех контрольных точках (внешние углы глаз, углы рта, подбородок) наблюдались статистически значимые различия между средними значениями отклонений сканеров по сравнению с эталоном VT MINI V2 ($p < 0,05$). Наибольшую точность продемонстрировал сканер ObiScanner, обеспечивший минимальные отклонения в 80 % случаев. В частности, при сканировании правого внешнего угла глаза среднее отклонение составило 0,07 мм, в то время как у сканера Einstar оно достигало 0,16 мм. Аналогичная картина наблюдалась и при анализе левого внешнего угла глаза: минимальное отклонение 0,07 мм обеспечивал 3dMDFace System, а максимальное — Einstar (0,57 мм). Для правого угла рта наименьшее отклонение (0,01 мм) было зафиксировано у Planmeca ProMax 3D ProFace, а наибольшее — у Einstar (0,36 мм). При анализе левого угла рта минимальные отклонения зафиксированы у ObiScanner и Einstar (0,01–0,02 мм), тогда как 3dMDFace System и Planmeca показали более высокие значения (до 0,06 мм). В точке подбородка сканер Einstar снова показал наибольшее отклонение (0,59 мм), в то время как наименьшие значения наблюдались у ObiScanner (0,04 мм) и Planmeca (0,05 мм). Таким образом, наибольшие расхождения с эталоном наблюдались у сканера Einstar, особенно в четырёх из пяти точек анализа (0,16–0,59 мм), за исключением зоны левого угла рта. Эти данные проиллюстрированы на рисунке 1.



Рисунок 1 – Диаграммы распределения значений отклонений от модели VT MINI V2, определенных в различных точках контроля: (а) – Точка 1, правый внешний угол глаза; (б) –

Точка 2, левый внешний угол глаза; (в) – Точка 3, правый угол рта; (г) – Точка 4, левый угол рта; (д) – Точка 5, подбородок.

Сравнение стоимости оборудования показало, что наиболее дорогим является Planmeca ProMax 3D ProFace (8 871 000 руб.), за ним следуют 3dMDFace System (4 000 000 руб.), ObiScanner (180 000 руб.) и Einstar (90 000 руб.). Учитывая соотношение точности и стоимости, сканер ObiScanner был признан оптимальным для клинического применения.

По результатам разработки технологии сопоставления биометрических данных пациентов с дефектами средней зоны лица для последующего моделирования лицевого протеза был проведен однофакторный дисперсионный анализ. По результатам однофакторного дисперсионного анализа не выявлено статистически значимых различий ($p > 0,05$) между средними значениями для всех сканеров по всем исследуемым участкам. Дисперсионный анализ выявил статистически значимые отличия между сканерами по точности. Наименьшее отклонение наблюдалось у ObiScanner (до 0,11 мм), наибольшее — у Einstar (до 0,41 мм). 3dMDFace System показал умеренные показатели точности. Результаты указывали на существенное влияние модели сканера на точность цифрового моделирования. Данные проиллюстрированы на рисунке 2.

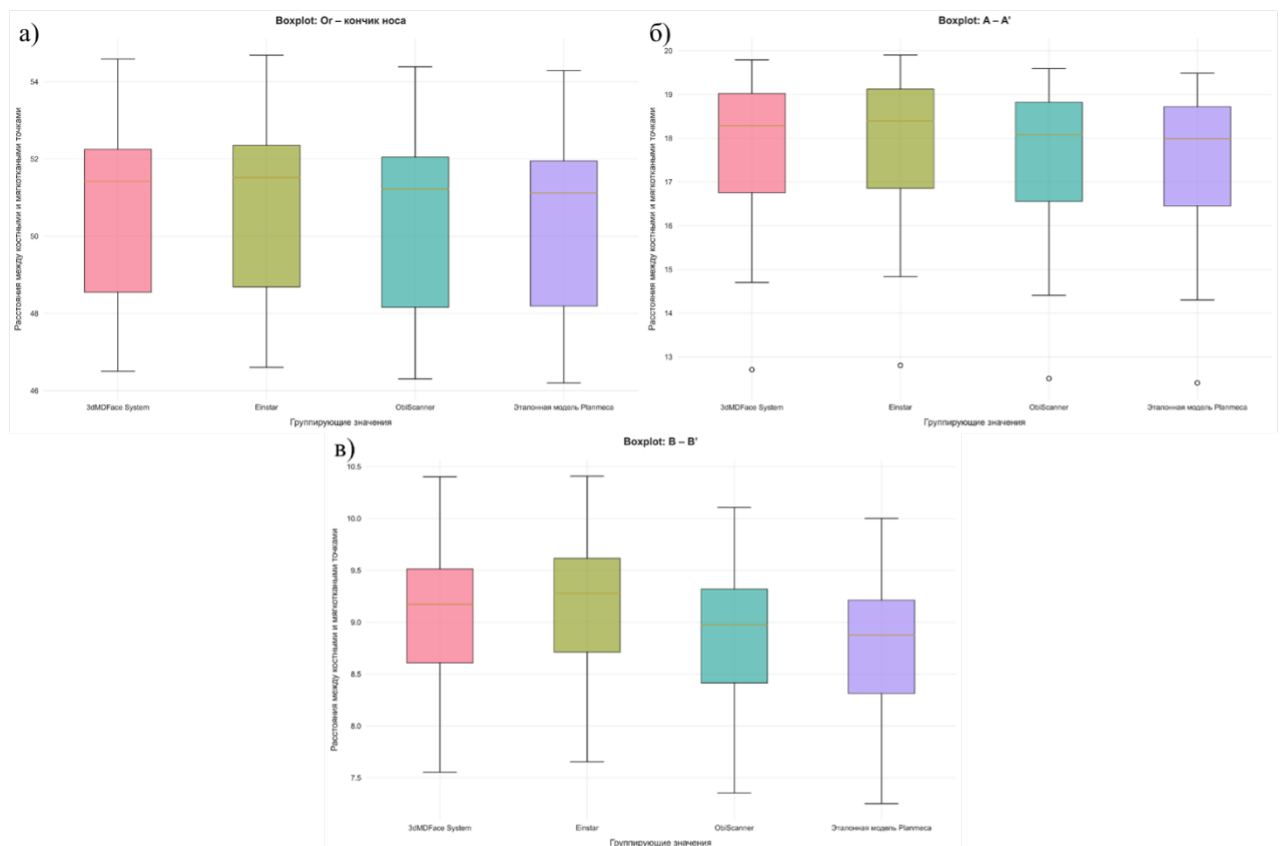


Рисунок 2 – Диаграммы распределения значений расстояний между костными и мягкоткаными точками рассчитанных с помощью различных измерительных устройств: (а) –

расстояние от середины нижнеглазничного края (точки Or) до кончика носа; (б) – расстояние от наиболее углубленной точки на переднем контуре апикального базиса верхней челюсти (точка А) до наиболее углубленной точки на контуре губного желобка (точка А'); (в) – расстояние от наиболее углубленной точки на переднем контуре апикального базиса нижней челюсти (точка В) до наиболее углубленной точки на контуре подбородка (точка В').

Обобщая результаты, можно заключить, что наименьшее отклонение от эталонной модели обеспечивает сканер ObiScanner, отклонение которого в пределах всех трёх участков не превышало 1,5 %. Это указывает на его высокую точность и делает его предпочтительным для использования в ортопедической стоматологии. 3dMDFace System показал варьирующиеся отклонения от 0,62 до 3,5 %, что может считаться допустимым, однако в отдельных случаях может быть критичным. Сканер Einstar продемонстрировал наибольшие погрешности.

Применённая методика совмещения 3D-сканов лица с данными компьютерной томографии по анатомическим реперным точкам показала высокую точность и надёжность. Установлено, что при использовании точных трёхмерных сканов, совмещение с томографическими данными обеспечивает достоверное воспроизведение анатомических структур. Наиболее стабильные результаты были получены при использовании сканера ObiScanner, что позволяет рекомендовать его для рутинного клинического применения. Разработанный подход отличается простотой, быстротой исполнения и высокой воспроизводимостью, что делает его эффективным инструментом в клинической практике.

При разработке программы для моделирования лицевых эпитезов, была сформирована цифровая библиотека 3D-моделей лицевых структур (уши, носы, глаза, орбиты), классифицированных по размерам и формам для автоматической адаптации эпитезов. Библиотека базировалась на анализе 287 КТ-сканов, из которых 50, содержащих целостные анатомические структуры, были отобраны для генерации типовых моделей. Программное обеспечение поддерживало как автоматическую адаптацию моделей к раневой поверхности, так и возможность ручной коррекции с применением методов компьютерного зрения и машинного обучения.

Разработанная технология позволила исключить этап снятия силиконовых оттисков за счёт автоматической конвертации данных КТ (формата DICOM) в STL, что оптимизировало процесс виртуального моделирования и ускорило изготовление лицевых эпитезов.

В итоге по результатам проведенных исследований была разработана специализированная программа для трёхмерного моделирования лицевых протезов у пациентов с дефектами средней зоны лица, обусловленными тяжёлыми травмами, онкологическими заболеваниями, врождёнными аномалиями или последствиями пренатальной медикаментозной терапии.

Программное обеспечение базировалось на интеграции данных лицевого 3D-сканирования и компьютерной томографии, что позволило заменить традиционные методы снятия оттисков (гипс, силикон) цифровыми моделями (STL-файлы). Такой подход существенно упростил процесс изготовления эпитезов и повысил комфорт пациентов. Разработка была официально зарегистрирована (свидетельство № 2023663490 от 04.07.2023).

Оценка краевого прилегания лицевых эпитезов проводилась визуально с учётом трёх параметров: отсутствие зазоров между краем протеза и кожей, равномерность силиконового слоя по периметру эпитеза и отсутствие пузырей или неровностей между силиконовым клеем и поверхностью изделия. Для повышения объективности был разработан автоматизированный алгоритм анализа изображений на базе языка Python 3.0, основанный на методах сегментации. Программа реализовывала три подхода: цветовую сегментацию в HSV-пространстве, кластеризацию методом K-means и контурную сегментацию с использованием детектора границ Canny. Алгоритм включал этапы обработки изображения, создания маски протеза, сегментации адгезивного слоя, анализа его распределения и генерации отчёта в формате PDF и CSV. В исследование были включены три группы пациентов (по 10 человек) с эпитезами уха, глаза и носа. Каждому пациенту изготавливали по три индивидуальных эпитеза в независимых производственных партиях при неизменной геометрии изделия. Для оценки точности и воспроизводимости использовался дисперсионный анализ повторных измерений, сравнивались средние значения площади поверхности эпитеза с минимальным количеством корректирующей массы, рассчитанные с помощью автоматизированного алгоритма. Статистический анализ учитывал стандартные допущения: зависимость выборок, сферичность данных, нормальность распределения и отсутствие значительных выбросов. Дополнительно применялся однофакторный дисперсионный анализ для сравнения эпитезов различной анатомической локализации. Уровень статистической значимости во всех моделях составлял 0,05. Были зафиксированы минимальные различия между сериями, за исключением одного выброса, выявленного в серии носовых эпитезов, что было учтено при анализе.

Оценка точности краевого прилегания эпитезов лица проводилась с использованием разработанного программного модуля, в основе которого лежал алгоритм сегментации изображений. Наиболее стабильные результаты с минимальной необходимостью ручной корректировки обеспечивала цветовая сегментация в HSV-пространстве, благодаря чему можно было точно выделить зоны корректирующей массы по заданному цветовому диапазону. Оптимальные параметры обработки включали диапазон синего цвета (от 92 до 130), насыщенность около 120 и адаптацию яркости, что обеспечивало устойчивость анализа к колебаниям освещения. Анализ охватывал изображения ушных, глазных и носовых эпитезов. Вычислялись такие параметры, как общая площадь эпитеза, площадь зон с корректирующей

массой, средние цветовые характеристики, число участков нанесения и равномерность распределения. Для всех ушных эпитезов трёх производственных серий различия в площади участков с минимальным количеством корректирующей массы не превышали 0,38 %, что свидетельствовало о высокой воспроизводимости технологии. В объединённой выборке средняя площадь плотного прилегания эпитезов уха составила $44,95 \pm 0,75$ % (рисунок 3). Сопоставимые результаты получены для эпитезов глаза ($45,54 \pm 0,85$ %) и носа ($44,99 \pm 0,53$ %) (рисунок 4), при этом максимальные различия между производственными сериями не превышали 0,32 %. По результатам однофакторного дисперсионного анализа не выявлено статистически значимых различий между группами. В среднем контактные зоны с кожными покровами пациента занимали 45,16 % от общей площади поверхности эпитеза, при этом корректирующий материал преимущественно локализовался в анатомических углублениях, не задействованных в фиксации.

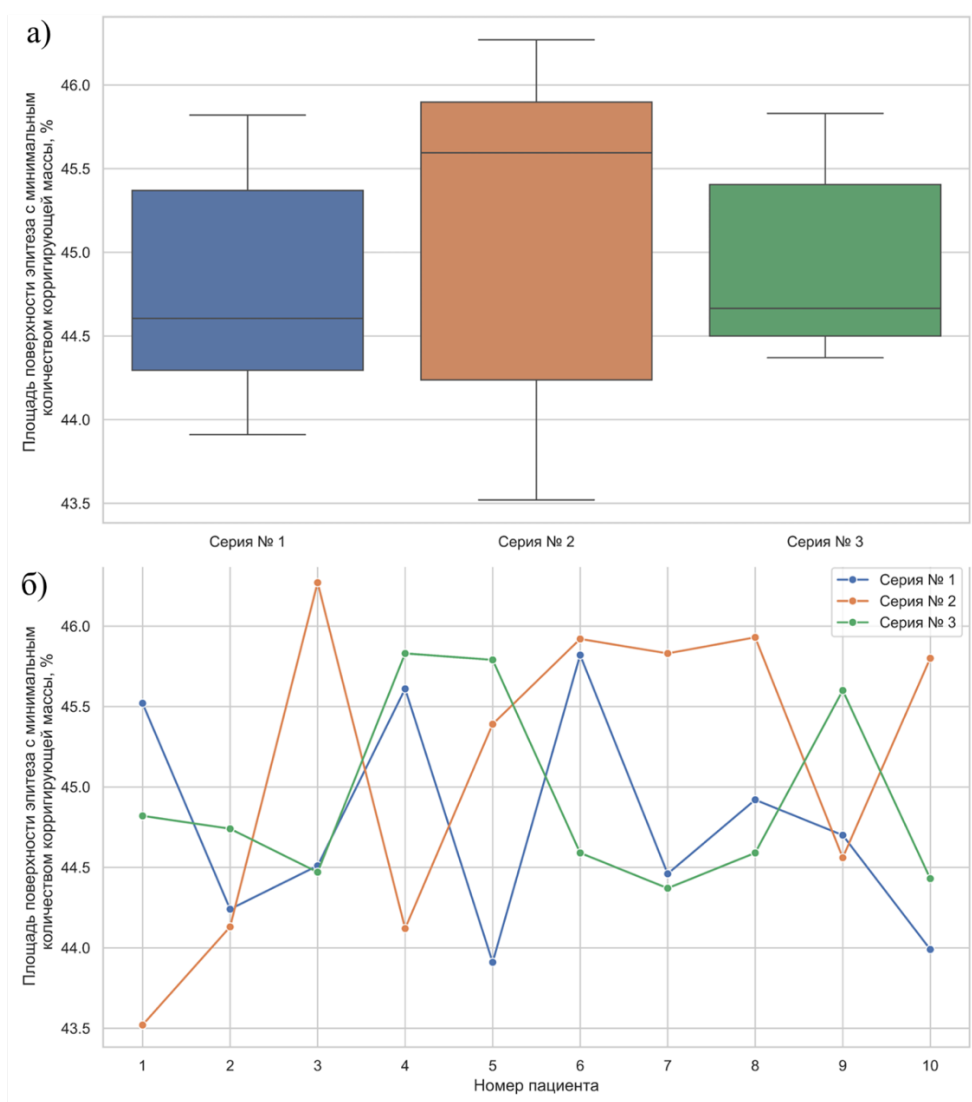


Рисунок 3 – Распределения рассчитанных значений площади ушного эпитеза с минимальным содержанием корректирующей массы или ее полного отсутствия на поверхности: (а) – для каждой отдельно взятой серии; (б) – для каждой отдельно взятой серии и пациента.

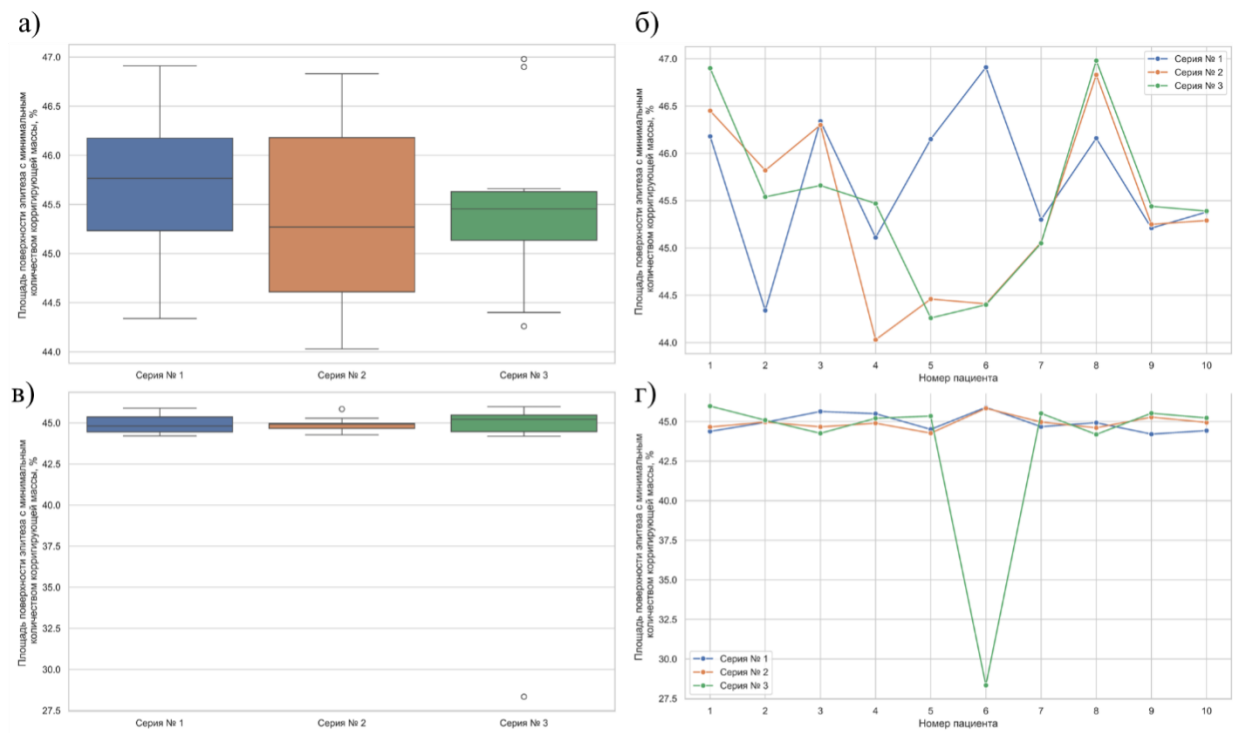


Рисунок 4 – Распределения рассчитанных значений площади эпитеза с минимальным содержанием корректирующей массы или ее полного отсутствия на поверхности: (а) – для каждой отдельно взятой серии (глазной эпитез); (б) – для каждой отдельно взятой серии и пациента (глазной эпитез); (в) – для каждой отдельно взятой серии (эпитез носа); (г) – для каждой отдельно взятой серии и пациента (эпитез носа).

Исключение составил один случай в серии носовых эпитезов, где площадь плотного прилегания составила лишь 28,3 %, что может быть связано с технологической ошибкой или недостаточным прижатием при фиксации. Проведённая визуальная и программная оценка показала, что краевые зоны в этом случае содержали избыточное количество корректирующего материала. Анализ равномерности распределения выявил умеренную вариабельность с коэффициентом близким к 0,5, что отражает неоднородность нанесения массы по поверхности эпитеза.

Таким образом, показано минимальное содержание материала в краевых зонах, что свидетельствовало о высокой степени прилегания протеза к кожным покровам пациента и равномерном выдавливании корректирующей массы в момент клинической фиксации.

Статистически достоверно подтверждена воспроизводимость технологии получения лицевых эпитезов, позволяющей формировать изделия сопоставимой степени прилегания за

счет незначительных ($p > 0,05$) изменений площади эпитеза с минимальным содержанием корригирующей массы или ее полного отсутствия в диапазоне от 0,24 до 0,38 %.

Клиническая фиксация приводит к образованию контактных областей эпитеза с кожными покровами пациента, занимающих в среднем 45,16 % от общей площади поверхности вне зависимости от его геометрической формы.

На основе ранее проведенных исследований был предложен новый метод изготовления лицевого эпитеза. Нами был разработан способ ортопедической реабилитации пациентов с дефектами средней зоны лица с применением современных цифровых стоматологических технологий и получен Патент РФ № 2790556 от 22.02.2023.

Техническим результатом данного изобретения является создание протеза, который обладает высокими эстетическими характеристиками и твердостью по шкале Шора А 40. Эта твердость позволяет протезу имитировать тактильные ощущения, характерные для человеческих кожных покровов. Таким образом, пациенты смогут не только наслаждаться визуальной привлекательностью протеза, но и испытывать комфортные ощущения при его использовании, что существенно улучшает качество их жизни.

Способ изготовления лицевого эпитеза, предложенный нами включает несколько ключевых этапов:

1. Сначала производят получение оптических слепков лица с использованием метода оптического сканирования;
2. Затем проводится компьютерная томография головы пациента с дефектом лица;
3. Далее полученные цифровые данные соединяются в специализированной компьютерной программе «Феникс 3D» для 3D моделирования, формируя единую объемную модель головы;
4. На основе этой модели осуществляется моделирование объемных протезов, которые соответствуют недостающим частям лица;
5. Затем виртуальные модели лицевых протезов адаптируют к границам протезного ложа пациента. При этом границы протеза моделируются так, чтобы наружный край перекрывал кожные покровы на границе дефекта на 5 мм, а толщина протеза варьировала от 3 до 1 мм к периферии. Такое перекрытие краев дефекта необходимо из-за подвижности кожных покровов; при меньшей ширине перекрытия протез может западать в полость послеоперационного дефекта;
6. В завершение объемное изображение смоделированного лицевого протеза выгружается в программу для аддитивного производства, что позволяет изготовить эпитез методом объемной печати;

7. Изготавливают эпитез лица методом объемной печати, на стереолитографическом принтере из конструкционного материала содержащего уретан диметакрилат, полиэтиленгликольдиметакрилат, 2-гидроксиэтил метакрилат и дифенил (2,4,6-триметилбензоил) фосфиноксид, диоксид титана, железooksидный пигмент коричневый, железooksидный пигмент красный, железooksидный пигмент желтый, при следующем соотношении компонентов в масс. %: уретан диметакрилат - 43,9-53, полиэтиленгликольдиметакрилат - 38,9-48, 2-гидроксиэтил метакрилат - 1-5, дифенил (2,4,6-триметилбензоил) фосфиноксид - 1-3, диоксид титана - 0,2 мас. %, железooksидный пигмент коричневый - 0,2 мас. %, железooksидный пигмент красный - 0,01 мас. % и железooksидный пигмент желтый - 0,1 мас. %;

8. Эпитез лица, напечатанный на 3D-принтере, обрабатывают в изопропиловом спирте в течение 15 минут, а затем промывают проточной водой;

9. После этого проводят дополнительную засветку в ультрафиолетовой световой печи в течение 30 минут при температуре 38 градусов Цельсия;

10. Осуществляют фиксацию протеза на специальный адгезив, например Техновент.

Моделирование протезов с использованием программы для 3D моделирования позволяет создать форму недостающей части лица, которая соответствует эстетическим пропорциям человека, при этом исключая длительный процесс ручного моделирования. Предложенная композиция конструкционного материала для изготовления лицевых эпитезов, а также режим производства по данному способу обеспечивают быстрое изготовление протеза с высокими эстетическими характеристиками и твердостью по шкале Шора А 40, что при осязании ощущается как натуральные кожные покровы. Края протеза, изготовленного по предложенному способу, перекрывают границы наружного дефекта на 5 мм и имеют толщину от 3 до 1 мм к периферии. Это обеспечивает плотное прилегание эпитеза к коже, предотвращает попадание инородных агентов в полость дефекта и способствует лучшей фиксации протеза на полимерный адгезив. Перекрытие краев дефекта необходимо из-за подвижности кожных покровов; при меньшей ширине перекрытия протез может западать в полость послеоперационного дефекта. Плавный переход толщины края протеза от 3 мм до 1 мм к периферии обеспечивает гармоничное соединение границы протеза с мягкими тканями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перспективы дальнейшей разработки темы

Дальнейшие научные исследования, связанные с разработанной нами программой компьютерного 3D-моделирования лицевых эпитезов и способом ортопедической реабилитации пациентов с дефектами средней зоны лица с применением современных цифровых стоматологических технологий, направлены на повышение точности и

индивидуализации протезирования. Планируется интеграция методов искусственного интеллекта для автоматизации процесса моделирования, улучшение материалов для повышения биосовместимости и долговечности эпитезов, а также разработка новых подходов к фиксации, обеспечивающих максимальный комфорт и эстетический результат. Кроме того, важным направлением станет клиническая апробация и оценка эффективности предложенных решений в реальных условиях, что позволит оптимизировать протоколы лечения и расширить возможности цифровой ортопедии.

Выводы

1. На основании сравнительного анализа установлено, что сканер ObiScanner демонстрирует наивысшую точность воспроизведения трёхмерных данных мягких тканей лица с минимальными отклонениями от эталонной модели VT MINI V2 в 80 % случаев и предельным отклонением не более 1,5 %, в то время как наибольшие погрешности визуализации зафиксированы при использовании устройства Einstar.

2. Разработана технология сопоставления биометрических данных пациентов с дефектами средней зоны лица, основанная на совмещении трёхмерных сканов лица с данными компьютерной томографии по реперным точкам, обеспечивающая высокую точность регистрации с минимальными отклонениями от стандартной модели ($p > 0,05$).

3. Разработана программа для компьютерного трёхмерного моделирования лицевых эпитезов, позволяет интегрировать современные цифровые стоматологические технологии в клинический процесс ортопедической реабилитации пациентов с дефектами средней зоны лица, обеспечив индивидуализированный подход и высокую точность проектирования протезов (Свидетельство № 2023684031 от 13.11.2023 г., заявка № 3023682242 от 26.10.2023).

4. Разработан инновационный метод ортопедической реабилитации пациентов с дефектами средней зоны лица, предусматривающий изготовление лицевого эпитеза с использованием цифровых стоматологических технологий, обеспечивающий высокие эстетические характеристики и оптимальную твердость по Шору А 40, имитирующую тактильные свойства кожи и значительно повышающую уровень комфорта и качество жизни пациента (Патент РФ № 2790556 от 22.02.2023).

5. В результате клинической апробации разработанного способа ортопедической реабилитации пациентов с дефектами средней зоны лица с применением современных цифровых стоматологических технологий была статистически достоверно подтверждена воспроизводимость предложенной методики, обеспечивающей стабильную степень прилегания эпитезов при минимальном (0,24–0,38 %) или полном отсутствии корригирующей массы ($p > 0,05$); установлено, что в процессе клинической фиксации формируется контакт эпитеза с кожными покровами пациента в среднем на 45,16 % от его общей поверхности, независимо от

геометрии конструкции, что свидетельствует о высокой точности посадки и эффективности предложенного подхода.

Практические рекомендации

1. Для работы в предложенной компьютерной программе для моделирования эпитезов лица, необходимо загружать компьютерную томографию головы 23х24 см, или оптическое изображение лица.

2. Для моделирования комбинированных челюстно-лицевых протезов, в разработанную компьютерную программу необходима интеграция сопоставленных цифровых данных компьютерной томографии головы и оптического слепка лица пациента с дефектом средней зоны лица.

3. Для обеспечения высокой точности совмещения данных конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ) и трёхмерного лицевого сканирования при моделировании лицевых эпитезов рекомендуется использовать полиметилметакрилатовые (РММА) маркеры сферической формы диаметром 5 мм в качестве реперных объектов. Благодаря биосовместимости, инертности и отсутствию раздражающих эффектов, РММА является безопасным для пациентов, включая лиц с повышенной чувствительностью кожи. Фиксацию маркеров следует осуществлять с помощью медицинского пластыря или самоклеящейся ленты, что обеспечивает надёжную и нетравматичную установку. Оптимальной является схема размещения маркеров в четырёх анатомических точках: на спинке носа, подбородке и на обеих щеках, что способствует точной пространственной регистрации изображений и позволяет достоверно оценить симметрию и контуры лица при последующем цифровом моделировании протеза.

4. Для аддитивного изготовления лицевых эпитезов по разработанному способу методом LCD-печати целесообразно использовать следующие параметры процесса: толщина одного слоя — 0,050 мм; количество базовых слоёв — 4; экспозиция основного слоя — 15 секунд; экспозиция нижнего слоя — 75 секунд; задержка отключения экспозиции — 5 секунд для всех слоёв; высота подъёма платформы — 6 мм; скорость подъёма — 50 мм/мин; скорость отвода нижней платформы — 150 мм/мин; скорость ретракта — 150 мм/мин.

5. Удаление неотверждённых остатков полимера с поверхности готового изделия рекомендуется проводить сразу после печати с использованием 96 % этилового спирта в течение 3 минут в ультразвуковой или ручной промывочной ванне, с последующим ополаскиванием под тёплой проточной водой в течение 2 минут.

6. Заключительная полимеризация эпитезов должна осуществляться в условиях комбинированной термо- и фотообработки: изделие подвергается термостатированию при температуре 70 °С в течение 10 минут в сухожаровом шкафу, после чего помещается в камеру УФ-отверждения с длиной волны 405 нм и мощностью 48 Вт. Перед началом фотополимеризации рекомендуется нанести на поверхность изделия равномерный слой глицеринового геля.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, включенных в международные базы цитирования WoS и Scopus

1. Разработка метода сопоставления трехмерных изображений лица с данными компьютерной томографии / С.В. Апресян, А.Г. Степанов, **А.П. Зражевская** [и др.] // Клиническая стоматология. – 2023. – Т. 26, № 2. – С. 150-157. – DOI 10.37988/1811-153X_2023_2_150. – EDN EHRDEW.
2. Сравнительная характеристика лицевых сканеров в эксперименте / С. В. Апресян, А. Г. Степанов, **А. П. Зражевская** [и др.] // Клиническая стоматология. – 2025. – Т. 28, № 1. – С. 110-114. – DOI 10.37988/1811-153X_2025_1_110. – EDN MKRYKF.

Публикации в изданиях, рекомендованных Перечнями РУДН/ВАК

3. Разработка технологии компьютерного производства эпитезов лица / С. В. Апресян, А. Г. Степанов, **А. П. Зражевская**, В. К. Суонио // Российский стоматологический журнал. – 2024. – Т. 28, № 3. – С. 317-324. – DOI 10.17816/dent630292. – EDN GSJUTB.
4. Игумнов А.И., Апресян С.В., Степанов А.Г., Харазян А.Э., Григорьянц Л.С., Суонио В.К., **Зражевская А.П.** Оценка клинической эффективности гигиенических средств по уходу за лицевыми протезами // Российский стоматологический журнал. - 2023. - Т. 27. - №6. - С. 551-560. doi: 10.17816/dent622776

Публикации в иных изданиях:

5. **Зражевская А.П.**, Суонио В.К., Апресян С.В., Степанов А.Г. Цифровое планирование ортопедической реабилитации средней зоны лица. Актуальные вопросы стоматологии. Сборник тезисов межвузовской конференции РУДН. Москва 2023. С 128- 131
6. **Зражевская А.П.**, Суонио В.К., Апресян С.В., Степанов А.Г. Цифровое планирование ортопедической реабилитации пациентов с дефектами средней зоны лица. Актуальные вопросы стоматологии. Сборник научных трудов, посвященный основателю

кафедры ортопедической стоматологии КГМУ, профессору Исаак Михайловичу Оксману. – Казань. – 2024. С 434 – 439.

7. **Зражевская А.П.,** Суонио В.К., Апресян С.В., Степанов А.Г. Цифровое планирование ортопедической реабилитации средней зоны лица. V международная научно - практическая конференция Молодых ученых стоматологов «ученики – учителям». Сборник тезисов. МОНИКИ. Москва, 23.04.2024.

Патент:

8. Патент № 2790556 С1 Российская Федерация, МПК А61F 2/10. Способ изготовления эпитеза лица : № 2023102039 : заявл. 31.01.2023 : опубл. 22.02.2023 / С. В. Апресян, А. Г. Степанов, **А. П. Зражевская** [и др.]; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский университет дружбы народов". – EDN WHQBAА.

Зражевская А.П.

«Цифровое планирование ортопедической стоматологической реабилитации пациентов с дефектами средней зоны лица»

В рамках исследования была разработана и клинически апробирована программа компьютерного 3D-моделирования лицевых эпитезов и способ ортопедической реабилитации пациентов с дефектами средней зоны лица с применением современных цифровых стоматологических технологий. Проведен сравнительный анализ современных 3D-сканеров, выявивший оптимальное оборудование для клинического применения — сканер ObiScanner, отличающийся высокой точностью и доступной стоимостью. Разработана методика совмещения данных 3D-сканирования и компьютерной томографии с использованием биосовместимых реперов, что обеспечивает высокоточную виртуальную реконструкцию анатомических дефектов. Создано специализированное программное обеспечение для трехмерного моделирования лицевых протезов, интегрированное в цифровой протокол ортопедической реабилитации, позволяющее заменить традиционные методы снятия оттисков цифровыми моделями и ускорить процесс изготовления эпитезов. Клиническое исследование с участием 30 пациентов подтвердило высокую точность и воспроизводимость технологии, а также эффективность нового отечественного материала для аддитивного производства протезов. Разработан автоматизированный алгоритм оценки точности прилегания эпитезов к коже на основе анализа изображений, который показал стабильные результаты и высокую степень прилегания изделий. На основе проведенных исследований предложен новый способ изготовления лицевых эпитезов, обеспечивающий высокие эстетические качества и комфорт при использовании, что подтверждено патентом РФ. Технология включает этапы оптического сканирования, компьютерной томографии, 3D-моделирования с адаптацией к границам дефекта, а также аддитивного производства с последующей обработкой и фиксацией протеза. Такой подход позволяет создавать индивидуализированные протезы с оптимальной толщиной краев и плотным прилеганием к коже, что улучшает качество жизни пациентов и повышает эффективность ортопедической реабилитации.

Zrazhevskaya A.P.

«Digital planning of orthopedic dental rehabilitation for patients with midface defects»

The study developed and clinically validated a computer program for 3D modeling of facial prostheses and a method for orthopedic rehabilitation of patients with midface defects using modern digital dental technologies. A comparative analysis of contemporary 3D scanners was conducted, identifying the optimal equipment for clinical use—the ObiScanner, which is distinguished by its high accuracy and affordable cost. A methodology for combining 3D scanning data and computed tomography using biocompatible markers was developed, ensuring high-precision virtual reconstruction of anatomical defects. Specialized software for three-dimensional modeling of facial prostheses was created, integrated into a digital protocol for orthopedic rehabilitation, allowing traditional impression methods to be replaced with digital models and accelerating the prosthesis manufacturing process. A clinical study involving 30 patients confirmed the high accuracy and reproducibility of the technology, as well as the effectiveness of a new domestic material for additive manufacturing of prostheses. An automated algorithm for assessing the accuracy of prosthesis adherence to the skin was developed based on image analysis, which demonstrated stable results and a high degree of fit for the products. Based on the conducted research, a new method for manufacturing facial prostheses was proposed, ensuring high aesthetic qualities and comfort in use, which is confirmed by a patent from the Russian Federation. The technology includes stages of optical scanning, computed tomography, 3D modeling with adaptation to the defect boundaries, as well as additive manufacturing with subsequent processing and fixation of the prosthesis. This approach allows for the creation of individualized prostheses with optimal edge thickness and a tight fit to the skin, improving the quality of life for patients and enhancing the effectiveness of orthopedic rehabilitation.