

*На правах рукописи*

**МОСКОВЕЦ Оксана Олеговна**

**КОМПЛЕКСНОЕ ЦИФРОВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ОРТОДОНТИЧЕСКОГО  
ЛЕЧЕНИЯ**

3.1.7. Стоматология

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора медицинских наук

Москва, 2026

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 консультант:**

**Апресян Самвел Владиславович**, доктор медицинских наук, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Гажва Светлана Иосифовна** – Заслуженный работник Высшей школы РФ, доктор медицинских наук, профессор заведующая кафедрой стоматологии ФПДО в ФГАОУ ВО "Приволжский исследовательский медицинский университет" Министерства здравоохранения Российской Федерации.

**Маркин Владимир Александрович** – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры основ зубопротезного производства ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

**Фадеев Роман Александрович** – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой ортопедической стоматологии, ортодонтии и гнатологии ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Министерства здравоохранения Российской Федерации.

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

Защита диссертации состоится «23» сентября 2026 г. в 9:00 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 «22» июля 2026 г.*

Ученый секретарь

диссертационного совета ПДС 0300.028

кандидат медицинских наук

Салех Карина Мустафаевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность и степень разработанности исследуемой темы диссертации**

В последние десятилетия наблюдается устойчивый рост распространенности зубочелюстных аномалий среди пациентов различных возрастных групп, что делает проблему диагностики и планирования ортодонтического лечения одной из наиболее значимых в современной стоматологии. По данным отечественных и зарубежных авторов, распространенность аномалий зубочелюстной системы среди детей и подростков достигает 60–70%, а среди взрослого населения сохраняется на стабильно высоком уровне, занимая одно из ведущих мест в структуре стоматологической патологии после кариеса и заболеваний пародонта (Персин, 2020; Цветкова, 2023; Lagan et al., 2017; Balić et al., 2022).

Современное ортодонтическое лечение уже не ограничивается исключительно устранением морфологических нарушений зубных рядов. На первый план выходит достижение гармоничного функционального и эстетического результата, обеспечивающего не только нормализацию окклюзии, но и улучшение качества жизни пациента, его социальной адаптации и психоэмоционального состояния (Налбандян и др., 2018; Токарев и др., 2023; Lepilin et al., 2019; Okićić et al., 2023). В этой связи существенно возрастает значение точной диагностики и индивидуализированного планирования лечения, основанного на комплексной оценке морфологических, функциональных и эстетических параметров зубочелюстно-лицевой системы.

Традиционные методы диагностики в ортодонтии, включающие анализ гипсовых моделей, ручную цефалометрию, фотометрические исследования и антропометрические измерения, несмотря на широкое распространение, обладают рядом ограничений. Среди них — высокая трудоемкость, вероятность субъективных ошибок, зависимость результатов от квалификации оператора, а также ограниченные возможности интеграции диагностических данных в единый цифровой протокол лечения (Доменюк и др., 2015; Попова, 2020; Westerlund et al., 2015; Felter et al., 2018). Кроме того, использование аналоговых методик затрудняет воспроизводимость результатов и усложняет процесс междисциплинарного взаимодействия специалистов.

Развитие цифровых технологий в стоматологии привело к появлению принципиально новых подходов к диагностике и планированию ортодонтического лечения. Внедрение внутриротового сканирования, цифровой фотометрии, трехмерной цефалометрии, конусно-лучевой компьютерной томографии, CAD/CAM-систем и технологий аддитивного производства позволило существенно повысить точность диагностики, сократить временные затраты и улучшить прогнозируемость результатов лечения (Апресян и др., 2020; Жмырко, 2021; Mangano et al., 2017; Lee et al., 2022). Использование цифровых методов обеспечивает возможность

комплексной визуализации клинической ситуации, проведения виртуального моделирования перемещения зубов и оценки предполагаемого результата еще до начала активного лечения.

Особую актуальность цифровые методы приобретают при лечении взрослых пациентов, у которых ортодонтическая патология часто сочетается с вторичной адентией, заболеваниями пародонта, нарушениями функции височно-нижнечелюстного сустава и ранее выполненными ортопедическими реставрациями (Арсенина и др., 2023; Попова, 2022; Wada et al., 2015; Alsulaimani et al., 2023). В подобных клинических ситуациях требуется максимально точное планирование каждого этапа лечения с учетом анатомических и функциональных особенностей пациента. Цифровые технологии позволяют получать объективные диагностические данные, минимизировать риск ошибок и повысить безопасность ортодонтического вмешательства.

Несмотря на активное развитие цифровой ортодонтии, в настоящее время отсутствует единая интегрированная система комплексного цифрового планирования, объединяющая данные фотометрии, внутриротового сканирования, цефалометрии, компьютерной томографии и функциональной диагностики в единую диагностическую платформу. Имеющиеся программные решения в большинстве случаев ориентированы на выполнение отдельных задач и не обеспечивают полноценной автоматизации аналитических процессов и формирования единого цифрового протокола ведения пациента (Чхиквадзе и др., 2020; Габдрафиков, 2021; Panayi et al., 2023; Londono et al., 2023).

Дополнительный научный интерес представляет внедрение технологий искусственного интеллекта и автоматизированной обработки диагностических данных. Современные исследования демонстрируют высокую эффективность алгоритмов машинного обучения при автоматическом определении цефалометрических ориентиров, анализе цифровых моделей зубных рядов и прогнозировании результатов ортодонтического лечения (Kim et al., 2020; Vaid, 2021; Subramanian et al., 2022; Surendran et al., 2024). Однако данные направления пока остаются недостаточно изученными и требуют дальнейшей научной разработки и клинической апробации.

Таким образом, разработка и научное обоснование системы комплексного цифрового планирования ортодонтического лечения, основанной на интеграции современных методов цифровой диагностики, является актуальной научной и практической задачей современной ортодонтии. Реализация подобного подхода позволит повысить точность диагностики, воспроизводимость результатов, эффективность лечебного процесса и качество оказания ортодонтической помощи пациентам.

Основанием для выполнения настоящего исследования послужили современные тенденции цифровизации стоматологии, необходимость совершенствования методов диагностики зубочелюстных аномалий и потребность в создании интегрированной цифровой системы планирования ортодонтического лечения.

### **Цель исследования**

Повышение эффективности планирования ортодонтического лечения пациентов с применением современных цифровых технологий.

### **Задачи исследования:**

1. Провести анализ отечественных и зарубежных научных источников с целью выявления наиболее информативных и клинически значимых методов диагностики аномалий зубочелюстной системы и обоснования направлений их цифровой трансформации при планировании ортодонтического лечения.
2. Разработать метод цифрового анализа портретных фотографий пациента и провести оценку его диагностической эффективности в сравнении с традиционными антропометрическими методами.
3. Разработать метод цифрового анализа внутриротовых оптических слепков зубных рядов пациента и провести сравнительную оценку его точности с результатами мануальных измерений гипсовых диагностических моделей.
4. Разработать метод цифровой цефалометрической обработки телерентгенограмм в прямой и боковой проекциях и провести сравнительную оценку его точности и воспроизводимости с классическими методами ручного трассирования.
5. Оценить диагностические возможности цифрового анализа данных компьютерной томографии в ортодонтическом планировании и определить его вклад в повышение точности диагностики зубочелюстных аномалий.
6. Разработать способ ортодонтического лечения дистальной окклюзии с применением позиционирующих окклюзионных накладок, изготовленных с использованием цифровых технологий, а также разработать конструкционный материал для их аддитивного производства.
7. Оценить клиническую эффективность предложенного способа лечения дистальной окклюзии на основании функциональных и морфологических показателей.
8. Разработать метод цифрового моделирования позиционирующих окклюзионных накладок в терапевтическом положении нижней челюсти и провести оценку его точности и воспроизводимости.
9. Разработать интегрированную компьютерную программу для комплексной цифровой диагностики стоматологического пациента и планирования ортодонтического лечения с возможностью автоматического формирования медицинской документации.
10. Провести оценку диагностической точности, воспроизводимости и временной эффективности разработанной цифровой системы планирования ортодонтического лечения.

### Научная новизна исследования

1. Впервые на основании анализа отечественных и зарубежных источников научно обоснована структура комплексного цифрового протокола ортодонтической диагностики, включающего фотометрический анализ лица, биометрию цифровых моделей зубных рядов, цифровую цефалометрию, анализ данных КЛКТ и оценку функционально значимых параметров зубочелюстной системы.

2. Разработан цифровой способ фотометрического анализа портретных фотографий пациента, позволяющий проводить объективную оценку линейных и угловых параметров лица с высокой воспроизводимостью результатов. Средняя абсолютная ошибка линейных измерений составила  $0,74 \pm 0,31$  мм, а угловых измерений  $0,82 \pm 0,37^\circ$ , при значениях ICC  $0,91-0,98$  и сокращении времени анализа с  $64,7 \pm 8,9$  до  $15,2 \pm 2,4$  мин ( $p < 0,001$ ).

3. Разработан цифровой способ биометрического анализа внутриротовых оптических слепков зубных рядов, обеспечивающий точное измерение параметров зубов и зубных дуг без изготовления гипсовых диагностических моделей. Средняя абсолютная ошибка линейных измерений составила  $0,18 \pm 0,07$  мм, ICC —  $0,94-0,99$ , а время исследования сократилось с  $66,3 \pm 9,4$  до  $15,6 \pm 2,7$  мин ( $p < 0,001$ ).

4. Разработан цифровой способ цефалометрической обработки телерентгенограмм в прямой и боковой проекциях, позволяющий повысить воспроизводимость ручного трассирования и снизить влияние оператора на результат. Средняя абсолютная ошибка линейных измерений составила  $0,42 \pm 0,16$  мм, а угловых измерений  $0,58 \pm 0,21^\circ$ , ICC —  $0,93-0,99$ , при сокращении времени анализа с  $41,6 \pm 6,7$  до  $10,4 \pm 1,8$  мин ( $p < 0,001$ ).

5. Уточнена диагностическая роль цифрового анализа КЛКТ в ортодонтическом планировании. Показано, что обязательной частью обследования является оценка положения головок нижней челюсти в ВНЧС и толщины кортикальной кости альвеолярного отростка верхней челюсти и альвеолярной части нижней челюсти. Средняя абсолютная ошибка измерений составила  $0,21 \pm 0,08$  мм, ICC —  $0,93-0,99$ , время анализа сократилось с  $36,9 \pm 6,1$  до  $17,8 \pm 2,9$  мин ( $p < 0,001$ ).

6. Разработан способ ортодонтического лечения дистальной окклюзии с применением индивидуальных позиционирующих окклюзионных накладок, изготовленных с использованием цифровых технологий, при котором перемещение зубов проводится в заранее определённом терапевтическом положении нижней челюсти. Новизна способа подтверждена патентом РФ № 2825047 «Способ устранения дистальной окклюзии зубных рядов». Также разработан конструкционный материал для аддитивного производства разобщающих прикусных накладок, что подтверждено патентом РФ № 2853878 «Светоотверждаемая композиция для 3D-печати разобщающих прикусных накладок».

7. Впервые проведена клиническая оценка предложенного способа лечения дистальной окклюзии по совокупности функциональных и морфологических показателей. После лечения частота жалоб на дискомфорт в области ВНЧС снизилась с 80,0% до 13,3%, боль по ВАШ — с  $4,8 \pm 1,6$  до  $0,9 \pm 0,7$  балла, коэффициент асимметрии ЭМГ — с  $24,7 \pm 6,8\%$  до  $8,9 \pm 3,4\%$ , сагиттальная щель — с  $7,4 \pm 1,5$  до  $2,1 \pm 0,6$  мм, глубина резцового перекрытия — с  $5,8 \pm 1,4$  до  $2,4 \pm 0,7$  мм ( $p < 0,001$ ).

8. Разработан цифровой модуль моделирования позиционирующих окклюзионных накладок в терапевтическом положении нижней челюсти. Среднее RMS-отклонение составило  $0,12 \pm 0,04$  мм, совпадение окклюзионных контактов — 93,8%, ICC — 0,91–0,99, а время моделирования сократилось с  $58,4 \pm 9,1$  до  $14,8 \pm 2,3$  мин ( $p < 0,001$ ).

9. Впервые разработана интегрированная компьютерная программа «СМАРТ-ОРТО», объединяющая модули фотометрического, биометрического, цефалометрического и КЛКТ-анализа, а также модуль цифрового моделирования позиционирующих окклюзионных накладок с автоматическим формированием ортодонтической карты пациента и презентации плана лечения. Разработка подтверждена свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024681396.

10. Установлена высокая эффективность интегрированной цифровой системы «СМАРТ-ОРТО»: ошибка интеграции данных составила 0,03–0,06 мм, ICC — 0,92–0,99, время полного цифрового протокола сократилось с  $189,4 \pm 24,7$  до  $61,8 \pm 8,9$  мин, время формирования медицинской карты — с  $34,6 \pm 6,8$  до  $4,2 \pm 1,1$  мин, а презентации плана лечения — с  $28,4 \pm 6,2$  до  $3,8 \pm 1,0$  мин ( $p < 0,001$ ).

### **Теоретическая и практическая значимость**

Теоретическая значимость исследования заключается в развитии научных представлений о возможностях комплексной цифровой диагностики в ортодонтии и формировании единого подхода к цифровому планированию ортодонтического лечения. В работе систематизированы современные методы цифрового фотометрического, биометрического, цефалометрического и КЛКТ-анализа, определены их диагностические возможности, ограничения и клиническая значимость при обследовании пациентов с зубочелюстными аномалиями.

Впервые научно обоснована концепция интеграции различных цифровых диагностических модулей в единую цифровую систему планирования ортодонтического лечения с автоматическим объединением диагностических данных, формированием медицинской документации и визуализацией плана лечения пациента. Полученные результаты расширяют существующие представления о цифровой трансформации ортодонтической диагностики и создают теоретическую основу для дальнейшего развития интеллектуальных цифровых технологий в стоматологии.

Существенное теоретическое значение имеют данные о взаимосвязи морфологических и функциональных показателей при лечении пациентов с дистальной окклюзией. В ходе исследования было установлено, что при цифровом планировании ортодонтического лечения необходимо учитывать положение головок нижней челюсти в височно-нижнечелюстных суставах, состояние кортикальной пластинки челюстей и показатели электромиографии жевательных мышц. Учет этих данных позволяет более точно планировать перемещение зубов, уменьшить вероятность осложнений и повысить стабильность результатов лечения в отдалённые сроки.

Практическая значимость работы связана с разработкой и внедрением цифровых методов диагностики и планирования, которые повышают точность обследования, улучшают повторяемость результатов и сокращают время, необходимое для диагностики и подготовки к ортодонтическому лечению.

Разработанный метод цифрового фотометрического анализа позволяет объективно оценивать эстетические параметры лица и проводить исследование быстрее по сравнению с традиционной антропометрией. Предложенный способ цифрового анализа внутриротовых оптических оттисков дает возможность подробно изучать параметры зубных рядов без изготовления гипсовых моделей, что упрощает диагностику и делает её более удобной.

Метод цифровой цефалометрической обработки телерентгенограмм уменьшает влияние субъективной оценки и позволяет получать более стабильные результаты анализа.

Отдельное практическое значение имели результаты анализа КЛКТ, которые подтвердили необходимость оценки состояния височно-нижнечелюстных суставов и толщины кортикальной кости челюстей на этапе ортодонтического планирования. Эти данные позволяют определять допустимые границы перемещения зубов и снижать риск осложнений во время лечения.

В рамках исследования был разработан способ лечения дистальной окклюзии с применением индивидуальных позиционирующих окклюзионных накладок, изготовленных с использованием цифровых технологий, а также специальный материал для их аддитивного производства.

Разработанные решения защищены патентами РФ № 2825047 и № 2853878 и могут быть использованы в клинической ортодонтической практике.

Практическую ценность представляет разработанный цифровой модуль моделирования позиционирующих окклюзионных накладок, обеспечивающий высокую точность воспроизведения терапевтического положения нижней челюсти и сокращение времени цифрового моделирования ортодонтических конструкций.

Ключевым практическим результатом исследования стало создание интегрированной цифровой системы «СМАРТ-ОРТО», объединяющей модули комплексной диагностики,

цифрового планирования лечения, автоматического формирования ортодонтической карты пациента и презентации плана лечения. Использование программы позволяет существенно сократить время выполнения полного диагностического протокола, стандартизировать процесс ведения пациента, снизить вероятность ошибок ручного переноса данных и повысить качество взаимодействия врача и пациента. Разработка зарегистрирована как программа для ЭВМ (свидетельство № 2024681396).

### **Методология и методы исследования**

Методологической основой диссертационного исследования явился комплексный междисциплинарный подход, основанный на сочетании клинических, морфометрических, рентгенологических, функциональных, цифровых и статистических методов исследования. Работа выполнена в соответствии с принципами доказательной медицины и была направлена на разработку, научное обоснование и клиническую оценку цифровых технологий диагностики и планирования ортодонтического лечения.

Исследование проводилось последовательно в несколько этапов. На первом этапе выполнен систематизированный анализ отечественных и зарубежных научных источников, посвящённых современным методам диагностики зубочелюстных аномалий и цифровым технологиям в ортодонтии. На последующих этапах осуществлялись разработка цифровых диагностических модулей, создание способа лечения дистальной окклюзии с применением позиционирующих окклюзионных накладок, разработка конструкционного материала для их аддитивного производства, цифрового модуля моделирования накладок и интегрированной цифровой системы планирования ортодонтического лечения.

Клиническая часть исследования была основана на результатах обследования и лечения 186 пациентов с различными зубочелюстными аномалиями в возрасте от 18 до 45 лет, среди которых основную группу составили пациенты с дистальной окклюзией. В ходе работы было выполнено более 11 000 линейных, угловых, биометрических, цефалометрических и томографических измерений, проанализировано свыше 750 цифровых фотографий, 370 внутриротовых оптических слепков, 320 телерентгенограмм, 280 исследований КЛКТ и более 180 электромиографических исследований жевательных мышц. Для оценки воспроизводимости результатов каждое измерение проводилось многократно с последующим расчётом средних значений и статистической обработкой данных.

Всем пациентам проводили комплексное обследование, включавшее клинический осмотр, фотометрический анализ, внутриротовое сканирование, телерентгенографию головы, конусно-лучевую компьютерную томографию, исследование височно-нижнечелюстных суставов и электромиографию жевательных мышц. При необходимости выполнялось определение терапевтического положения нижней челюсти с последующим цифровым моделированием

позиционирующих окклюзионных накладок и ортодонтическим лечением с применением элайнеров.

Разработка цифровых методов диагностики основывалась на сравнительном анализе результатов, полученных традиционными аналоговыми и цифровыми способами исследования. Для оценки диагностической эффективности проводили анализ точности измерений, воспроизводимости результатов, временных затрат и степени совпадения диагностических заключений. В качестве критериев оценки использовали абсолютную ошибку измерений, коэффициент внутриклассовой корреляции (ICC), коэффициент вариации, показатели чувствительности и воспроизводимости метода.

Оценка эффективности предложенного способа лечения дистальной окклюзии проводилась на основании клинических, функциональных и морфологических показателей. Анализировали выраженность симптомов дисфункции височно-нижнечелюстного сустава, показатели визуально-аналоговой шкалы боли, параметры электромиографии, суставные взаимоотношения по данным КЛКТ, величину сагиттальной щели, глубину резцового перекрытия и стабильность положения нижней челюсти в процессе лечения и ретенции.

Достоверность результатов исследования обеспечена достаточным объёмом клинического материала, использованием современных объективных методов диагностики, стандартизацией условий проведения исследований, применением сопоставимых критериев оценки и многоэтапной проверкой воспроизводимости результатов. Все цифровые и аналоговые измерения выполнялись многократно с последующим расчётом средних значений и оценкой статистической стабильности данных.

Статистическая обработка результатов исследования проводилась с использованием методов вариационной статистики и современного программного обеспечения. Проверку распределения данных выполняли с использованием критерия Шапиро–Уилка. Для оценки различий между независимыми выборками применяли t-критерий Стьюдента и критерий Манна–Уитни, для связанных выборок — парный t-критерий Стьюдента и критерий Уилкоксона. Анализ воспроизводимости результатов осуществляли с расчётом коэффициента внутриклассовой корреляции ICC и коэффициента вариации. Статистически значимыми считали различия при уровне  $p < 0,05$ .

Высокая степень достоверности результатов подтверждается статистически значимыми различиями между цифровыми и традиционными методами по показателям временной эффективности, высокой воспроизводимостью разработанных цифровых методов (ICC 0,91–0,99), минимальными значениями абсолютной ошибки измерений и стабильностью полученных результатов при повторных исследованиях.

Научная обоснованность и практическая значимость разработанных решений подтверждены патентами РФ № 2825047 и № 2853878, а также свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024681396.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Комплексное применение цифровых методов фотометрического, биометрического, цефалометрического и КЛКТ-анализа позволяет повысить точность, воспроизводимость и временную эффективность диагностики зубочелюстных аномалий по сравнению с традиционными аналоговыми методами исследования.

2. Разработанный способ лечения дистальной окклюзии с использованием позиционирующих окклюзионных накладок, изготовленных с применением цифровых технологий, обеспечивает достижение стабильного функционального и морфологического результата, снижение клинических проявлений дисфункции височно-нижнечелюстного сустава и повышение эффективности ортодонтического лечения.

3. Разработанный метод цифрового моделирования позиционирующих окклюзионных накладок обеспечивает высокую точность воспроизведения терапевтического положения нижней челюсти, воспроизводимость результатов и возможность их аддитивного производства с использованием специализированного конструкционного материала.

4. Интегрированная цифровая система «СМАРТ-ОРТО», объединяющая модули комплексной диагностики, цифрового планирования лечения, автоматического формирования медицинской документации и презентации плана лечения, позволяет стандартизировать ортодонтический диагностический протокол, сократить временные затраты и повысить эффективность взаимодействия врача и пациента.

**Степень достоверности результатов и апробация работы**

Достоверность полученных результатов обеспечена использованием современных методов клинического обследования, цифровой диагностики, математического моделирования и статистической обработки данных. Исследование выполнено на достаточном по объёму клиническом материале с применением стандартизированных протоколов обследования пациентов, объективных методов регистрации диагностических параметров и воспроизводимых цифровых технологий. Для анализа результатов использовались общепринятые методы вариационной статистики, что позволило обеспечить объективность интерпретации полученных данных и подтвердить обоснованность сформулированных выводов.

Результаты исследования прошли всестороннюю клиническую проверку и нашли практическое применение в образовательной, научной и лечебной деятельности. Материалы диссертационной работы используются в учебном процессе Медицинского института Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы при подготовке студентов,

ординаторов и врачей-стоматологов по направлениям ортодонтии, цифровой стоматологии и современных методов диагностики зубочелюстных аномалий.

Разработанные в ходе исследования цифровые методы диагностики, алгоритмы виртуального планирования ортодонтического лечения, технологии проектирования позиционирующих окклюзионных накладок, а также интегрированная цифровая система «СМАРТ-ОРТО» внедрены в практическую деятельность клинко-диагностических подразделений Медицинского института РУДН имени Патриса Лумумбы, Центра цифровой стоматологии «МАРТИ» и стоматологической клиники «ОМ-Доктор». Полученные разработки применяются при обследовании пациентов, выборе тактики ортодонтического лечения и изготовлении индивидуализированных ортодонтических конструкций с использованием цифровых технологий.

Основные положения и результаты диссертации были представлены и обсуждены на российских и международных научных мероприятиях, посвящённых вопросам ортодонтии, цифровой стоматологии и инновационных методов диагностики. Материалы исследования докладывались на Международном конгрессе «Стоматология Большого Урала – 2021» и X Форуме стоматологов Уральского федерального округа (Екатеринбург, 2021), конференции «Инновационные технологии комплексной реабилитации стоматологических пациентов» (Сочи, 2022), конференции «Цифровые решения в современной стоматологии» (Самарканд, Республика Узбекистан, 2023), XLIX Всероссийской научно-практической конференции СТАР «Стоматология XXI века» (Москва, 2023), а также на специализированной выставке «Стоматология Республики Башкортостан» (Уфа, 2023).

Результаты, связанные с цифровым планированием ортодонтического лечения, разработкой диагностических алгоритмов и интеграцией цифровых технологий в клиническую практику, были представлены на научных форумах СТАР «Актуальные проблемы стоматологии» в 2024 и 2025 годах. Представленные доклады вызвали профессиональный интерес и получили положительную оценку специалистов.

Материалы диссертации неоднократно обсуждались на профильных научных конференциях, симпозиумах и заседаниях профессиональных сообществ, что нашло отражение в опубликованных научных работах автора.

Диссертационная работа апробирована на совместном заседании кафедры ортопедической стоматологии и Института цифровой стоматологии Медицинского института Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы, где получила положительное заключение и была рекомендована к защите (протокол №0300-65-БУП-15 от 10 июня 2026 года).

### **Внедрение результатов исследования**

Результаты диссертационного исследования внедрены в образовательный процесс Медицинского института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» и используются при подготовке студентов, ординаторов и врачей-стоматологов по разделам ортодонтии, цифровой стоматологии и современных методов диагностики зубочелюстных аномалий.

Разработанные цифровые методы диагностики, способы цифрового планирования ортодонтического лечения, алгоритмы моделирования позиционирующих окклюзионных накладок и интегрированная цифровая система «СМАРТ-ОРТО» внедрены в лечебно-диагностический процесс клинико-диагностических центров и стоматологических клиник Медицинского института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», Центра цифровой стоматологии «МАРТИ» и стоматологической клиники «ОМ-Доктор», где применяются при обследовании пациентов, планировании ортодонтического лечения и изготовлении индивидуальных ортодонтических конструкций с использованием цифровых технологий.

### **Публикации**

По материалам исследования опубликовано 16 печатных работ, из них 1 работа – в журнале, индексируемом в международной базе данных Scopus; 1 работа в RSCI, 6 работ – в журнале, рекомендованном Перечнем РУДН/ВАК, 1 монография, а также получено 7 патентов на изобретения.

### **Личное участие в проведенном исследовании**

Автором лично определены цель и задачи исследования, проведён анализ отечественной и зарубежной научной литературы по теме диссертации, разработана общая концепция исследования и сформированы основные направления цифровой трансформации ортодонтической диагностики и планирования лечения.

Автор непосредственно участвовал в обследовании и лечении 186 пациентов с зубочелюстными аномалиями, выполнял клиническое обследование, фотопротоколирование, внутриротовое сканирование, анализ телерентгенограмм, конусно-лучевой компьютерной томографии, электромиографических исследований и определение терапевтического положения нижней челюсти. Лично проведено более 11 000 линейных, угловых, биометрических, цефалометрических и томографических измерений, проанализировано свыше 750 цифровых фотографий, 370 внутриротовых оптических слепков, 320 телерентгенограмм, 280 исследований КЛКТ и более 180 электромиографических исследований жевательных мышц.

Автор принимал непосредственное участие в разработке цифровых методов фотометрического, биометрического, цефалометрического и КЛКТ-анализа, создании способа лечения дистальной окклюзии с применением позиционирующих окклюзионных накладок, разработке конструкционного материала для их аддитивного производства, цифрового модуля моделирования накладок и интегрированной цифровой системы «СМАРТ-ОРТО».

Автором лично выполнены клиническая апробация разработанных методов, сбор первичных данных, формирование базы исследования, статистическая обработка и анализ полученных результатов. Автор непосредственно участвовал в подготовке заявок на получение патентов РФ № 2825047 и № 2853878, а также свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024681396.

Автор самостоятельно сформулировал основные положения, выводы и практические рекомендации диссертационного исследования, подготовил научные публикации и материалы для внедрения результатов работы в образовательную и клиническую практику.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературы, главы «Материалы и методы исследования», двух глав собственных исследований, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений, списка литературы и приложений.

Работа изложена на 386 страницах машинописного текста, иллюстрирована 67 таблицами и 28 рисунками и фотографиями. Список литературы включает 606 источников, из них 349 отечественных и 257 зарубежных авторов.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Исследование носило последовательный многоэтапный характер и включало аналитическую, экспериментальную и клиническую части.

В исследование были включены 186 пациентов в возрасте от 18 до 45 лет с различными зубочелюстными аномалиями. В ходе работы выполнено более 11 000 линейных, угловых, биометрических, цефалометрических и томографических измерений, проанализировано свыше 750 цифровых фотографий, 370 внутриротовых сканов, 320 телерентгенограмм головы в боковой проекции, 280 исследований конусно-лучевой компьютерной томографии и более 180 электромиографических исследований жевательных мышц.

На первом этапе проведён анализ отечественных и зарубежных научных источников, посвящённых современным методам ортодонтической диагностики и цифровым технологиям в стоматологии. На основании полученных данных определены наиболее перспективные

направления цифровизации диагностического процесса и сформирована концепция исследования.

На втором этапе разработаны и апробированы цифровые диагностические модули, включающие фотометрический анализ лица, биометрическое исследование виртуальных моделей зубных рядов, цифровую цефалометрию и анализ данных конусно-лучевой компьютерной томографии. Для каждого модуля проведена оценка точности, воспроизводимости, диагностической информативности и временной эффективности путём сравнения с традиционными методами исследования, применяемыми в ортодонтической практике.

На третьем этапе разработаны способ цифрового планирования ортодонтического лечения пациентов с дистальной окклюзией, метод моделирования индивидуальных позиционирующих окклюзионных накладок в терапевтическом положении нижней челюсти, специализированный конструкционный материал для их аддитивного производства и цифровой модуль проектирования позиционирующих накладок.

Завершающим этапом стало создание интегрированной цифровой системы «СМАРТ-ОРТО», объединяющей разработанные диагностические модули и инструменты цифрового планирования лечения в единое программное пространство, а также проведение клинической оценки эффективности предложенного лечебно-диагностического комплекса.

### **Материалы и методы анализа научных информационных источников**

Первым этапом исследования проведён систематизированный анализ отечественных и зарубежных научных публикаций, посвящённых современным подходам к диагностике зубочелюстных аномалий, цифровым технологиям в ортодонтии и возможностям их применения при комплексном планировании ортодонтического лечения.

Поиск научных источников выполняли в международных и отечественных электронных базах данных PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar, eLIBRARY, CyberLeninka, а также в патентной базе Федерального института промышленной собственности. Анализ охватывал период с 2010 по 2025 гг.

Всего было выявлено 512 публикаций. После исключения дублирующихся и не соответствующих тематике работ полнотекстовый анализ проведён для 224 источников. В окончательный аналитический обзор вошли 126 научных публикаций, включая 84 зарубежные и 42 отечественные работы, а также 11 патентов.

Проведённый анализ показал, что наиболее перспективными направлениями цифровизации ортодонтической диагностики являются фотометрический анализ лица, биометрическое исследование виртуальных моделей зубных рядов, цифровая цефалометрия и анализ данных конусно-лучевой компьютерной томографии. Установлено, что применение цифровых

технологий позволяет повысить точность и воспроизводимость измерений, сократить время диагностики, уменьшить влияние субъективного фактора и обеспечить интеграцию результатов различных методов обследования в единое цифровое пространство.

Вместе с тем выявлено отсутствие комплексных программных решений, объединяющих клинические, фотометрические, биометрические, рентгенологические и функциональные данные пациента в рамках единого цифрового протокола. Полученные результаты послужили основанием для разработки собственных цифровых диагностических модулей и формирования концепции комплексного цифрового планирования ортодонтического лечения.

### **Организация экспертной оценки цифровых диагностических модулей**

Для оценки точности, воспроизводимости и диагностической эффективности разработанных цифровых методов была сформирована экспертная группа, включавшая трёх врачей-ортодонтосов со стажем клинической работы более 10 лет и опытом применения цифровых технологий в ортодонтии.

Все исследования выполнялись независимо каждым экспертом с трёхкратным повторением измерений. Для оценки внутриоператорской воспроизводимости часть исследований повторяли через 10–14 дней без доступа к ранее полученным результатам.

Разработанные цифровые способы сравнивали с традиционными методами диагностики, применяемыми в ортодонтической практике. Оценивали точность измерений, межоператорскую и внутриоператорскую воспроизводимость, временную эффективность, совпадение диагностических заключений и удобство практического применения.

### **Материал и метод разработки цифрового способа фотометрического анализа**

Разработка цифрового способа фотометрического анализа проводилась с целью создания программного инструмента для объективной оценки лицевых параметров пациента и повышения точности ортодонтической диагностики. В качестве исходного материала использовали стандартизированные портретные и внутриротовые фотографии пациентов, выполненные по единому ортодонтическому фотопротоколу.

Создание цифрового способа осуществлялось в два этапа. На первом этапе была разработана структура программного модуля, включающая систему загрузки изображений, нанесения антропометрических ориентиров, автоматического выполнения линейных и угловых измерений, визуализации результатов и формирования диагностического заключения. Программная реализация выполнена на платформе Unreal Engine 5.4 с использованием языка программирования C++.

В ходе фотометрического анализа определяли линейные и угловые параметры лица, характеризующие его симметрию, вертикальные и сагиттальные пропорции, положение губ относительно эстетических линий, величину носогубного и подбородочно-губного углов,

профиль лица, а также соотношение верхней, средней и нижней третей лица. Дополнительно выполняли анализ улыбки, определяли положение режущих краёв верхних резцов, степень экспозиции зубов в покое и при улыбке, а также параметры, характеризующие эстетическое состояние мягких тканей лица (рис.1).



**Рисунок 1** – Проведение измерений лицевых параметров пациента в модуле «Фотометрия»

На втором этапе проводили оценку диагностической эффективности разработанного способа. В исследование были включены 60 пациентов, проходивших ортодонтическое обследование и имеющих полный фотопротокол лица и полости рта.

Каждому пациенту выполняли анализ одних и тех же фотографий двумя способами: с использованием традиционного антропометрического метода и разработанного цифрового фотометрического модуля. Оценка эффективности выполняли с участием ранее сформированной экспертной группы.

Дополнительно анализировали абсолютную и относительную ошибки измерений, стабильность повторных измерений и степень согласованности результатов цифрового и традиционного анализа. Экспертную оценку удобства использования программного модуля проводили по пятибалльной шкале.

Диагностическую эффективность цифрового фотометрического анализа считали подтверждённой при отсутствии статистически значимых различий с результатами традиционных измерений, высокой воспроизводимости результатов, сокращении времени выполнения исследования и высоком уровне совпадения диагностических заключений.

### **Материал и метод разработки цифрового способа биометрического анализа зубных рядов**

Следующим этапом исследования стала разработка цифрового способа биометрического анализа зубных рядов на основании виртуальных моделей, полученных методом внутриротового

сканирования, и оценка его диагностической эффективности в сравнении с традиционными измерениями гипсовых диагностических моделей.

Разработка цифрового способа осуществлялась в несколько последовательных этапов. На первом этапе был определён перечень диагностических параметров, необходимых для полноценного ортодонтического анализа зубных рядов, а также сформирована структура цифрового алгоритма измерений. На втором этапе разработаны инструменты загрузки, визуализации и пространственного позиционирования трёхмерных моделей верхней и нижней челюстей. На третьем этапе создана система нанесения диагностических ориентиров на виртуальную модель, после чего были реализованы алгоритмы автоматического расчёта линейных параметров, ортодонтических индексов и формирования диагностического заключения.

Программная реализация выполнена на платформе Unreal Engine 5.4 с использованием языка программирования C++ и библиотеки Assimp, обеспечивающей импорт и обработку трёхмерных моделей в форматах STL и OBJ. Разработанный модуль позволял загружать цифровые модели зубных рядов, изменять их положение в трёхмерном пространстве, наносить диагностические ориентиры, выполнять линейные и угловые измерения, визуализировать полученные данные и автоматически формировать итоговый отчёт.

Материалом исследования служили цифровые модели зубных рядов и соответствующие им гипсовые диагностические модели 60 пациентов с различными зубочелюстными аномалиями.

В ходе биометрического анализа определяли мезиодистальные размеры зубов, ширину и длину зубных дуг, параметры апикального базиса, дефицит или избыток места в зубном ряду, глубину кривой Шпее, симметрию зубных дуг, а также рассчитывали основные диагностические показатели по методам Тона, Болтона, Пона, Корхауза, Снагиной, Герлаха и Нанса.

После завершения разработки проведена оценка диагностической эффективности предложенного способа. Каждому пациенту выполняли биометрический анализ двумя способами: традиционным методом на гипсовых моделях и с использованием разработанного цифрового модуля на виртуальных моделях зубных рядов. Оценку эффективности выполняли с участием ранее сформированной экспертной группы.

Дополнительно анализировали абсолютную и относительную ошибки измерений, стабильность повторных исследований и степень согласованности результатов цифрового и традиционного анализа.

### **Материал и метод разработки цифрового способа цефалометрического анализа**

Следующим этапом исследования стала разработка цифрового способа цефалометрического анализа телерентгенограмм головы и оценка его диагностической эффективности в сравнении с традиционным методом ручного трассирования рентгенограмм.

Разработка цифрового способа осуществлялась в два этапа. На первом этапе был сформирован перечень анатомических ориентиров, диагностических плоскостей, угловых и линейных параметров, наиболее часто используемых в современной ортодонтической практике. На основании проведённого анализа разработан алгоритм цифровой разметки телерентгенограмм, автоматизированного построения диагностических плоскостей и расчёта цефалометрических показателей.

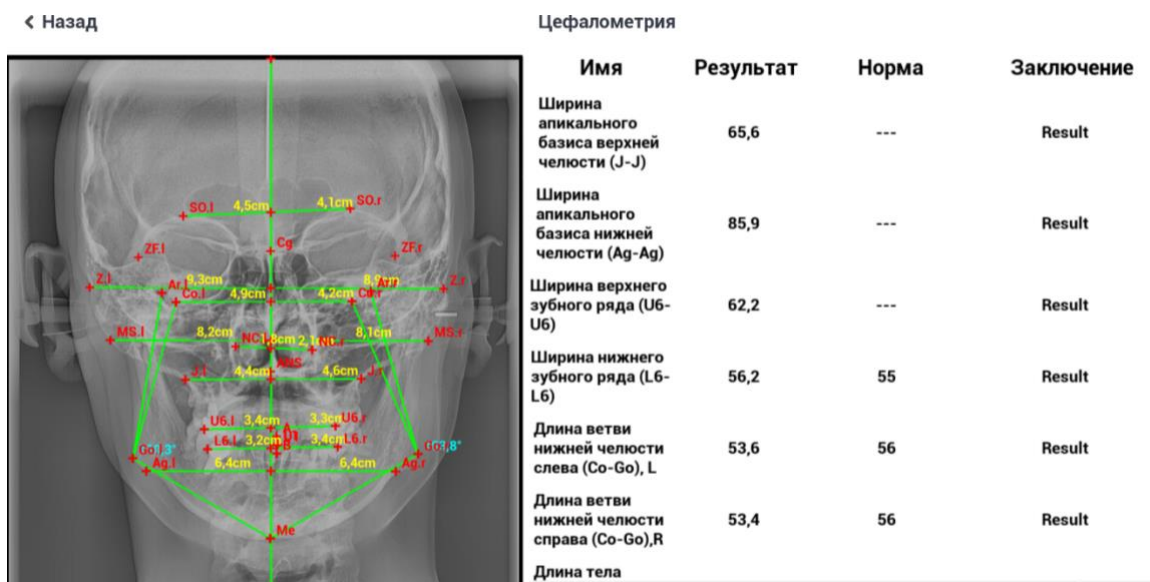
Для реализации разработанного способа создан специализированный программный модуль на платформе Unreal Engine 5.4 с использованием языка программирования C++. Программное обеспечение обеспечивало загрузку телерентгенограмм, нанесение анатомических ориентиров, построение диагностических плоскостей и линий, выполнение линейных и угловых измерений, автоматизированный расчёт диагностических параметров и формирование итогового диагностического заключения.

Материалом исследования служили цифровые телерентгенограммы головы 60 пациентов с различными зубочелюстными аномалиями, выполненные в боковой и прямой проекциях.

В ходе цефалометрического анализа определяли сагиттальные взаимоотношения челюстей, положение верхней и нижней челюстей относительно основания черепа, вертикальные параметры роста лицевого скелета, положение резцов, инклинацию зубов, размеры и пропорции лицевого отдела черепа, а также параметры мягкотканного профиля лица. Дополнительно выполняли оценку диагностических показателей по методикам Kim и Sassouni, что позволяло комплексно анализировать морфологические особенности зубочелюстной системы и прогнозировать направления ортодонтического лечения.

После завершения разработки проведена оценка диагностической эффективности предложенного способа. Каждому пациенту выполняли цефалометрический анализ двумя способами: методом традиционного ручного трассирования телерентгенограмм и с использованием разработанного цифрового модуля. Оценка эффективности выполняли с участием ранее сформированной экспертной группы.

Диагностическую эффективность цифрового способа цефалометрического анализа считали подтверждённой при отсутствии клинически значимых различий между цифровыми и традиционными измерениями, высокой воспроизводимости результатов, сокращении времени выполнения исследования и высоком уровне совпадения диагностических заключений. Пример автоматически сформированного диагностического отчёта — на рисунке 2.



**Рисунок 2** – Вывод результатов исследования в цифровом модуле программы  
«Цефалометрия»

### Материал и метод разработки цифрового способа анализа компьютерной томографии

Следующим этапом исследования стала разработка цифрового способа анализа данных конусно-лучевой компьютерной томографии и оценка его диагностической эффективности при ортодонтическом планировании. Необходимость создания данного модуля была обусловлена тем, что КЛКТ позволяет получать диагностическую информацию, недоступную при использовании традиционных двухмерных методов исследования, включая данные о пространственном положении зубов, состоянии альвеолярной кости, толщине кортикальных пластинок и особенностях строения височно-нижнечелюстного сустава.

Разработка цифрового способа осуществлялась в несколько последовательных этапов. На первом этапе был сформирован перечень диагностических параметров, имеющих наибольшее значение для ортодонтического планирования. На втором этапе разработаны инструменты загрузки и обработки данных КЛКТ в формате DICOM, алгоритмы мультиплоскостной реконструкции изображений и система трёхмерной визуализации анатомических структур. На третьем этапе созданы программные инструменты выполнения линейных и угловых измерений, анализа височно-нижнечелюстного сустава, оценки толщины кортикальной кости и автоматизированного формирования диагностического заключения.

Для реализации разработанного способа создан специализированный программный модуль на платформе Unreal Engine 5 с использованием языка программирования C++ и библиотеки VTK. Программное обеспечение обеспечивало загрузку исследований в формате DICOM, визуализацию данных в аксиальной, сагиттальной и коронарной плоскостях, выполнение трёхмерной реконструкции, проведение измерений и автоматизированное формирование диагностического отчёта.

Материалом исследования служили данные КЛКТ 60 пациентов, проходивших ортодонтическое обследование и планирование лечения.

В ходе анализа компьютерной томографии определяли пространственное положение зубов и их корней в пределах альвеолярной кости, толщину вестибулярной и язычной кортикальных пластинок, размеры альвеолярного отростка, наличие костных ограничений ортодонтического перемещения зубов, риск возникновения дегисценций и фенестраций, а также особенности строения височно-нижнечелюстного сустава. Дополнительно оценивали размеры суставных пространств, положение суставных головок, степень их симметрии и взаиморасположение элементов сустава.

Особое внимание при разработке цифрового модуля уделяли двум диагностическим направлениям: анализу положения головок нижней челюсти в височно-нижнечелюстных суставах и определению толщины кортикальной кости в области альвеолярных отростков челюстей.

После завершения разработки проведена оценка диагностической эффективности предложенного способа. Каждому пациенту выполняли два варианта диагностики: стандартное ортодонтическое обследование и комплексное обследование с дополнительным использованием разработанного цифрового КТ-модуля. Оценку эффективности выполняли с участием ранее сформированной экспертной группы.

Дополнительно определяли частоту выявления костных ограничений ортодонтического перемещения зубов, особенностей положения суставных головок и случаев, в которых результаты КЛКТ приводили к уточнению или изменению первоначального плана лечения.

### **Материал и метод разработки способа ортодонтического лечения дистальной окклюзии с применением позиционирующих окклюзионных накладок**

Одним из ключевых этапов исследования стала разработка способа ортодонтического лечения дистальной окклюзии зубных рядов с применением индивидуальных позиционирующих окклюзионных накладок, изготовленных с использованием цифровых технологий. Необходимость создания данного способа была обусловлена тем, что ортодонтическое лечение пациентов с дистальной окклюзией в большинстве случаев проводится в привычном для пациента положении нижней челюсти, которое не всегда соответствует её физиологическому положению и может сопровождаться нарушением функции височно-нижнечелюстного сустава и жевательной мускулатуры.

Проведённый анализ существующих методов лечения показал, что традиционные окклюзионные шины и каппы не обеспечивают стабильного удержания нижней челюсти в терапевтическом положении на этапах активного ортодонтического лечения, а их изготовление требует значительного объёма ручных лабораторных манипуляций, что снижает точность

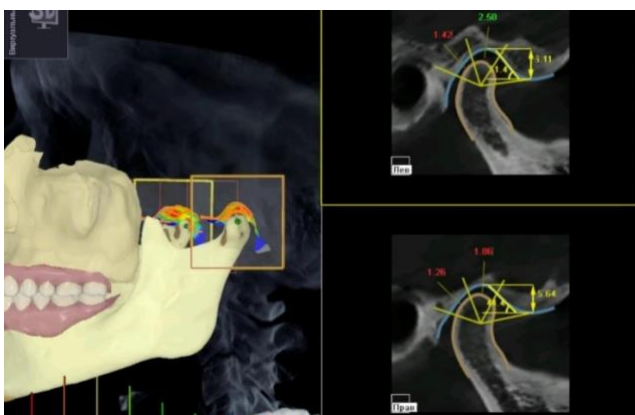
воспроизведения окклюзионных взаимоотношений. Кроме того, отсутствовали технологии последовательного цифрового воспроизведения окклюзионных конструкций по мере изменения положения зубов в процессе лечения.

В связи с этим была поставлена задача разработки способа лечения, позволяющего проводить ортодонтическое перемещение зубов в заранее определённом физиологическом положении нижней челюсти с возможностью цифрового моделирования и повторного воспроизведения позиционирующих окклюзионных накладок на различных этапах лечения.

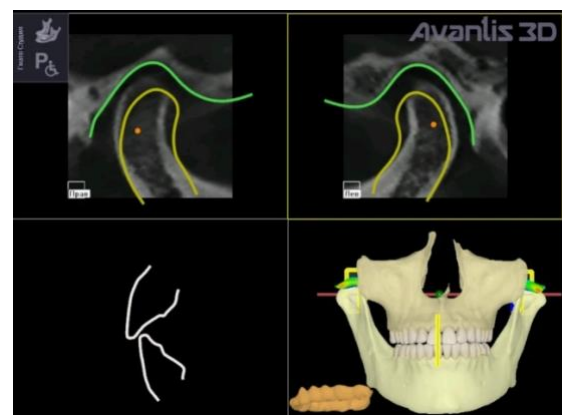
Разработка способа включала диагностический, виртуально-моделировочный, клинический и лабораторный этапы. На диагностическом этапе выполняли комплексное обследование пациентов, включавшее фотометрический анализ лица, цифровую биометрию зубных рядов, цефалометрический анализ, конусно-лучевую компьютерную томографию челюстно-лицевой области и височно-нижнечелюстных суставов, а также электромиографическое исследование жевательной мускулатуры.

Особое внимание уделяли анализу положения суставных головок в суставных ямках, размерам суставных пространств, положению подбородка, выраженности сагиттальной щели, высоте нижней трети лица и функциональному состоянию жевательных мышц. На основании совокупности клинических, лучевых и функциональных данных определяли терапевтическое положение нижней челюсти.

Для цифрового определения терапевтической позиции использовали программный комплекс «Авантис 3D», в котором выполняли совмещение данных КЛКТ и внутриротового сканирования. Анализировали положение суставных головок, размеры переднего, верхнего и заднего суставных пространств, симметрию правого и левого височно-нижнечелюстного сустава, а также моделировали предполагаемое терапевтическое положение нижней челюсти (рисунки 3, 4).



**Рисунок 3** – Анализ привычного положения нижней челюсти в программе Авантис 3Д



**Рисунок 4** – Совмещения данных привычного положения нижней челюсти с предполагаемой терапевтической позицией в программе Авантис 3Д

Для уточнения межчелюстных взаимоотношений дополнительно проводили функциональную депрограммацию жевательной мускулатуры с использованием листового калибратора Коиса, депрограмматора U-Dent Callibri и джига Люсия. Терапевтическое положение считали приемлемым при уменьшении дистального смещения суставных головок, снижении асимметрии суставных пространств, улучшении профиля лица, восстановлении высоты нижней трети лица и субъективном комфорте пациента.

После регистрации терапевтической позиции выполняли внутриротовое сканирование зубных рядов и цифровую регистрацию межчелюстных взаимоотношений. Полученные данные использовали для моделирования индивидуальных позиционирующих окклюзионных накладок. Конструкции проектировали на жевательной поверхности моляров верхней и нижней челюстей с формированием множественных стабильных фиссурно-бугорковых контактов, обеспечивающих сохранение терапевтического положения нижней челюсти и компенсацию возникающей дизокклюзии зубных рядов.

После изготовления накладок методом CAD/CAM и аддитивных технологий их фиксировали в полости рта пациента, после чего выполняли ортодонтическое лечение с применением элайнеров. Принципиальным отличием разработанного способа являлось проведение перемещения зубов не в привычной патологической окклюзии пациента, а в заранее определённом физиологическом положении нижней челюсти.

Одной из ключевых особенностей разработанного способа являлась возможность повторного цифрового воспроизведения позиционирующих окклюзионных накладок по мере изменения положения зубов. Для этого на этапах лечения выполняли повторное внутриротовое сканирование зубных рядов, совмещали цифровые модели и методом объёмного вычитания воспроизводили ранее изготовленные конструкции с учётом нового положения зубов, сохраняя достигнутое терапевтическое положение нижней челюсти.

Клиническая апробация разработанного способа выполнена у 30 пациентов в возрасте от 21 до 43 лет с дистальной окклюзией зубных рядов, сопровождавшейся нарушением сагиттальных взаимоотношений, дистальным положением нижней челюсти и признаками функциональной перегрузки височно-нижнечелюстного сустава.

Оценку результатов проводили на пяти этапах наблюдения: до начала лечения (T0), после фиксации позиционирующих накладок (T1), через 6 месяцев лечения на элайнерах (T2), после завершения активного лечения (T3) и через 6 месяцев ретенционного периода (T4).

Эффективность разработанного способа оценивали по изменениям клинических, функциональных и лучевых показателей. Анализировали величину сагиттальной щели, глубину резцового перекрытия, положение нижней челюсти, состояние височно-нижнечелюстных суставов по данным КЛКТ, размеры суставных пространств, положение суставных головок,

показатели биоэлектрической активности жевательных мышц по данным электромиографии, выраженность болевого синдрома, наличие суставных шумов, амплитуду открывания рта и стабильность окклюзионных контактов.

Дополнительно оценивали надёжность позиционирующих накладок, включая частоту возникновения трещин, переломов, дебондинга, необходимость внеплановой замены конструкций и сохранение их стабильной фиксации на протяжении лечения.

Клиническую эффективность способа считали подтверждённой при достижении стабильного терапевтического положения нижней челюсти, улучшении морфологических и функциональных показателей зубочелюстной системы, нормализации положения суставных головок, снижении мышечного напряжения и сохранении полученных результатов на этапах активного лечения и ретенции. На разработанный способ получен патент Российской Федерации № 2825047 «Способ устранения дистальной окклюзии зубных рядов».

### **Материал и метод разработки конструкционного материала для аддитивного производства позиционирующих окклюзионных накладок**

Анализ существующих фотополимерных композиций показал, что большинство материалов разрабатывались для реставрационной стоматологии или общих задач аддитивного производства и не учитывали особенностей длительного применения позиционирующих окклюзионных конструкций. В связи с этим была поставлена задача создания специализированного светоотверждаемого материала для аддитивного производства позиционирующих окклюзионных накладок, обладающего высокой прочностью, стабильностью геометрии, низкой токсичностью, отсутствием раздражающего действия на слизистую оболочку полости рта и возможностью получения прозрачных изделий с высокой точностью воспроизведения цифровой модели.

Разработка материала проводилась путём последовательного подбора компонентов фотополимерной композиции и оценки их влияния на механические свойства, реактивность системы, вязкость, качество печати и степень детализации готовых изделий. В качестве основы композиции использовали олигоуретанметакрилат и олигоуретандиакрилат, обеспечивающие прочность, устойчивость к изгибающим нагрузкам и стабильность геометрических характеристик изделия. Для регулирования вязкости и повышения реакционной способности композиции применяли активный разбавитель на основе 2-гидроксиэтилметакрилата. В состав материала также включали фотоинициирующую систему и светостабилизирующие компоненты, обеспечивающие эффективную полимеризацию и высокую точность формирования изделий в процессе трёхмерной печати.

Получение материала осуществляли методом интенсивного смешивания компонентов до формирования однородной фотополимерной композиции с последующим контролем технологических характеристик и пригодности к аддитивному производству.

После завершения разработки проводили лабораторную оценку физико-механических и технологических свойств материала. Определяли прочность на изгиб, модуль упругости, деформацию разрушения, твёрдость, стабильность геометрических параметров после полимеризации, качество воспроизведения цифровой модели и устойчивость изделий к функциональной нагрузке.

Установлено, что разработанный материал обеспечивает получение изделий с высокой точностью воспроизведения цифровой геометрии, стабильностью размеров и достаточной механической прочностью для длительного клинического применения. Прочность на изгиб составила 130 МПа, модуль упругости при изгибе — 2,95 ГПа, деформация разрушения — 6%, твёрдость материала — 99 Н/мм<sup>2</sup>.

Полученные результаты подтвердили возможность использования разработанного материала для изготовления позиционирующих окклюзионных накладок длительного ношения, применяемых в процессе ортодонтического лечения.

На разработанный материал получен патент Российской Федерации № 2853878 «Светоотверждаемая композиция для 3D-печати разобщающих прикусных накладок».

#### **Материал и метод разработки цифрового модуля моделирования позиционирующих окклюзионных накладок**

Следующим этапом исследования стала разработка цифрового модуля моделирования позиционирующих окклюзионных накладок в терапевтическом положении нижней челюсти и оценка его эффективности при цифровом планировании ортодонтического лечения пациентов с дистальной окклюзией.

Разработка цифрового модуля осуществлялась в несколько этапов. На первом этапе был сформирован алгоритм цифрового проектирования позиционирующих окклюзионных накладок на основании данных внутриротового сканирования и цифровой регистрации терапевтического положения нижней челюсти. На втором этапе разработаны инструменты импорта и обработки трёхмерных моделей зубных рядов, их пространственного совмещения и фиксации в терапевтическом положении. На третьем этапе созданы программные инструменты автоматизированного моделирования конструкции, формирования окклюзионной поверхности, настройки цементного зазора, анализа окклюзионных контактов и экспорта готовой модели для аддитивного производства.

Программная реализация выполнена на платформе Unreal Engine 5 с использованием языка программирования C++ и библиотеки Assimp. Разработанный модуль обеспечивал загрузку цифровых моделей зубных рядов в форматах STL и OBJ, визуализацию объектов в трёхмерном пространстве, совмещение челюстей по цифровому регистрату прикуса, определение пути введения конструкции, построение границ накладки, создание внутренней и наружной

поверхности изделия, анализ окклюзионных контактов и формирование готовой модели для последующей 3D-печати.

Материалом исследования служили цифровые модели верхней и нижней челюстей 30 пациентов с дистальной окклюзией зубных рядов, а также цифровые регистры прикуса, фиксирующие терапевтическое положение нижней челюсти.

В процессе моделирования выполняли автоматическое определение границ конструкции, формирование окклюзионной поверхности с учётом терапевтического положения нижней челюсти, создание множественных фиссурно-бугорковых контактов, настройку толщины конструкции и величины цементного зазора, а также контроль отсутствия преждевременных суперконтактов. Особое внимание уделяли обеспечению стабильного удержания нижней челюсти в заданном положении и равномерному распределению окклюзионной нагрузки.

После завершения разработки проведена оценка эффективности цифрового модуля. Для каждого клинического случая выполняли проектирование позиционирующих окклюзионных накладок двумя способами: с использованием разработанного специализированного программного модуля и с применением универсальной CAD-системы. Всего было изготовлено и проанализировано 60 позиционирующих окклюзионных накладок.

Оценку эффективности выполняли с участием ранее сформированной экспертной группы.

Дополнительно анализировали геометрическое соответствие цифровой модели фактически изготовленной конструкции путём повторного сканирования изделий и их сопоставления с исходным цифровым проектом. Оценивали отклонение размеров, стабильность основных геометрических параметров и точность воспроизведения окклюзионной поверхности.

#### **Материал и методы оценки клинической эффективности предложенного способа лечения дистальной окклюзии**

После разработки способа ортодонтического лечения дистальной окклюзии с применением позиционирующих окклюзионных накладок, создания специализированного конструкционного материала для их аддитивного производства и цифрового модуля моделирования была проведена клиническая апробация разработанного лечебно-диагностического комплекса.

Исследование выполнено в формате проспективного клинического наблюдения по схеме «до–после лечения». В исследование были включены 30 пациентов в возрасте от 21 до 43 лет. Средний возраст обследованных составил  $29,4 \pm 5,9$  года. У всех пациентов диагностировалась дистальная окклюзия зубных рядов различной степени выраженности, сопровождавшаяся нарушением сагиттальных взаимоотношений зубных рядов, дистальным положением нижней челюсти и признаками функциональной перегрузки височно-нижнечелюстного сустава.

Критериями включения являлись наличие постоянного прикуса, дистальная окклюзия зубных рядов, необходимость ортодонтического лечения с применением элайнеров, наличие

клинических или инструментальных признаков дистального положения нижней челюсти, возможность проведения конусно-лучевой компьютерной томографии, внутриротового сканирования и электромиографического исследования.

Особое внимание уделяли определению терапевтической позиции нижней челюсти. Для этого использовали данные КЛКТ, цифровые модели зубных рядов и программный комплекс «Авантис 3D», позволяющий выполнять совмещение лучевых и цифровых данных в едином виртуальном пространстве. Дополнительно применяли методы функциональной депрограммации жевательной мускулатуры, обеспечивающие получение более стабильного положения нижней челюсти перед регистрацией межчелюстных взаимоотношений.

После определения терапевтического положения нижней челюсти выполняли цифровое моделирование и изготовление индивидуальных позиционирующих окклюзионных накладок, их фиксацию в полости рта и последующее ортодонтическое лечение на элайнерах с сохранением достигнутых межчелюстных взаимоотношений.

Оценку результатов проводили на пяти контрольных этапах наблюдения: до начала лечения (T0), после фиксации позиционирующих накладок (T1), через 6 месяцев лечения (T2), после завершения активного ортодонтического лечения (T3) и через 6 месяцев ретенционного периода (T4).

Клиническую эффективность разработанного способа оценивали по динамике морфологических, функциональных и лучевых показателей. Анализировали величину сагиттальной щели, глубину резцового перекрытия, положение нижней челюсти, состояние височно-нижнечелюстных суставов по данным КЛКТ, размеры суставных пространств, положение суставных головок, симметрию суставов, показатели биоэлектрической активности собственно жевательных и височных мышц по данным электромиографии, выраженность болевого синдрома, наличие суставных шумов, амплитуду открывания рта и стабильность окклюзионных контактов.

При анализе электромиограмм определяли среднюю амплитуду биоэлектрической активности мышц, RMS-показатель, интегральную активность, симметрию работы правой и левой стороны, а также коэффициент асимметрии, позволяющий количественно оценить степень функционального дисбаланса жевательной мускулатуры.

Дополнительно оценивали надёжность позиционирующих окклюзионных накладок, учитывая наличие трещин, переломов, сколов, дебондинга, необходимость внеплановой замены конструкций и сохранение стабильной фиксации на протяжении всего периода лечения.

Клиническую эффективность предложенного способа считали подтверждённой при достижении стабильного терапевтического положения нижней челюсти, улучшении морфологических и функциональных показателей зубочелюстной системы, нормализации

положения суставных головок по данным КЛКТ, снижении мышечного напряжения по данным электромиографии, уменьшении клинических проявлений дисфункции височно-нижнечелюстного сустава и сохранении достигнутых результатов на этапах активного лечения и ретенции.

### **Статистическая обработка результатов исследования**

Статистическую обработку результатов исследования выполняли с использованием программ Microsoft Excel 2019 (Microsoft Corp., США) и Statistica 13.0 (TIBCO Software Inc., США).

Для количественных показателей рассчитывали среднее арифметическое значение (M), стандартное отклонение (SD), медиану (Me), минимальные и максимальные значения, а также 95% доверительный интервал. Характер распределения количественных данных оценивали с использованием критерия Шапиро–Уилка.

При сравнении количественных показателей в зависимых выборках использовали параметрический t-критерий Стьюдента для связанных выборок либо критерий Уилкоксона при распределении, отличном от нормального. Для сравнения независимых групп применяли t-критерий Стьюдента либо критерий Манна–Уитни. Для анализа качественных признаков использовали критерий  $\chi^2$  Пирсона и точный критерий Фишера.

Для оценки точности и воспроизводимости разработанных цифровых диагностических модулей определяли коэффициент внутриклассовой корреляции (ICC), коэффициент вариации, ошибку метода по Дальбергу и выполняли анализ согласованности результатов по методу Bland–Altman.

При оценке диагностической эффективности цифровых методов анализировали абсолютные и относительные ошибки измерений, степень совпадения диагностических заключений, межоператорскую и внутриоператорскую воспроизводимость результатов, а также временную эффективность выполнения исследований.

Статистически значимыми считали различия при уровне вероятности ошибки первого рода менее 5% ( $p < 0,05$ ).

### **РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

В ходе исследования разработаны цифровые методы фотометрического, биометрического, цефалометрического и томографического анализа, способ лечения дистальной окклюзии с применением позиционирующих окклюзионных накладок, цифровой модуль их моделирования и интегрированная система комплексного цифрового планирования ортодонтического лечения.

Выполнена оценка диагностической эффективности разработанных решений по показателям точности, воспроизводимости, временной эффективности и клинической результативности.

### **Результаты разработки цифрового способа фотометрического анализа и оценка его диагностической эффективности**

В ходе исследования разработан цифровой способ фотометрического анализа для автоматизированной оценки морфометрических и эстетических параметров лица при ортодонтическом обследовании. Программа выполняет линейные и угловые измерения, автоматически рассчитывает диагностические показатели и формирует заключение.

Эффективность метода оценивали у 60 пациентов. Всего выполнено 1080 измерительных циклов с участием трёх независимых экспертов. При сравнении с традиционным фотометрическим анализом статистически значимых различий не выявлено. Средняя абсолютная ошибка составила  $0,74 \pm 0,31$  мм для линейных и  $0,82 \pm 0,37^\circ$  для угловых измерений.

Разработанный способ продемонстрировал высокую воспроизводимость результатов: значения ICC составили 0,93–0,98 для линейных и 0,91–0,97 для угловых параметров. Ошибка по Дальбергу не превышала  $0,42 \pm 0,16$  мм и  $0,48 \pm 0,19^\circ$  соответственно. Коэффициент вариации находился в пределах 0,7–1,8%, а анализ согласованности не выявил систематического смещения между цифровым и традиционным методами.

Наиболее выраженные преимущества были получены при оценке временных затрат. Средняя продолжительность полного фотометрического исследования уменьшилась с  $64,7 \pm 8,9$  до  $15,2 \pm 2,4$  минуты, то есть более чем в 4 раза. Совпадение диагностических заключений двух методов составило 94,8%, а удобство использования программы эксперты оценили в  $4,8 \pm 0,2$  балла из 5. Обобщённые результаты оценки точности, воспроизводимости и диагностической эффективности разработанного цифрового способа фотометрического анализа представлены в табл. 1.

**Таблица 1** – Сводные результаты оценки диагностической эффективности цифрового фотометрического анализа

| Показатель                            | Цифровой метод        | Традиционный метод    |
|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Средняя абсолютная ошибка             | $0,74 \pm 0,31$ мм    | —                     |
| ICC линейных параметров               | 0,93–0,98             | 0,81–0,90             |
| ICC угловых параметров                | 0,91–0,97             | 0,78–0,88             |
| Ошибка метода (линейные параметры)    | $0,42 \pm 0,16$ мм    | $1,34 \pm 0,41$ мм    |
| Ошибка метода (угловые параметры)     | $0,48 \pm 0,19^\circ$ | $1,72 \pm 0,56^\circ$ |
| Коэффициент вариации                  | 0,7–1,8%              | 3,1–6,4%              |
| Среднее время анализа                 | $15,2 \pm 2,4$ мин    | $64,7 \pm 8,9$ мин    |
| Время автоматического расчёта         | $52 \pm 11$ сек       | отсутствует           |
| Совпадение диагностических заключений | 94,8%                 | —                     |

| Показатель                 | Цифровой метод      | Традиционный метод  |
|----------------------------|---------------------|---------------------|
| Экспертная оценка удобства | $4,8 \pm 0,2$ балла | $2,9 \pm 0,4$ балла |

### **Результаты разработки цифрового способа биометрического анализа зубных рядов и оценка его диагностической эффективности**

Разработанный цифровой способ биометрического анализа продемонстрировал высокую точность определения параметров зубных рядов и расчёта ортодонтических индексов. При сравнении с традиционным методом статистически значимых различий не выявлено. Средняя абсолютная ошибка линейных измерений составила  $0,18 \pm 0,07$  мм, относительная —  $0,94 \pm 0,32\%$ . Наиболее точные результаты получены при определении мезиодистальных размеров зубов и ширины зубных рядов, где расхождения не превышали 0,1 мм. Для более сложных параметров, включая глубину кривой Шпее и длину зубной дуги по Нансу, различия оставались в пределах 0,4 мм.

Точность расчёта диагностических индексов также была высокой: средняя ошибка составила 0,01 для индекса Тона, 0,34% для индекса Болтона по 6 зубам и 0,42% для общего индекса Болтона.

Оценка воспроизводимости показала преимущество цифрового метода над традиционным анализом гипсовых моделей. Значения ICC для большинства параметров превышали 0,95 и достигали 0,99 при измерении мезиодистальных размеров зубов. Ошибка по Дальбергу составила  $0,11 \pm 0,05$  мм против  $0,58 \pm 0,21$  мм при традиционном анализе. Коэффициент вариации находился в пределах 0,4–1,2%, тогда как при использовании гипсовых моделей достигал 2,6–5,3%.

Наиболее заметные различия отмечены по времени выполнения исследования. Средняя продолжительность полного биометрического анализа сократилась с  $66,3 \pm 9,4$  до  $15,6 \pm 2,7$  минуты. Автоматический расчёт показателей и формирование диагностического заключения занимали менее одной минуты — в среднем  $56 \pm 12$  секунд.

Совпадение диагностических заключений цифрового и традиционного методов составило 94,7%, при этом наибольшая согласованность отмечена при оценке дефицита места и симметрии зубных рядов. Удобство использования разработанного способа эксперты оценили в  $4,9 \pm 0,1$  балла из 5 возможных, особо отметив высокую скорость анализа, автоматизацию расчётов и наглядность представления результатов. Обобщённые результаты оценки диагностической эффективности разработанного цифрового способа биометрического анализа зубных рядов представлены в табл. 2.

**Таблица 2** – Сводные результаты оценки диагностической эффективности цифрового биометрического анализа зубных рядов

| Показатель                | Цифровой метод     | Традиционный метод |
|---------------------------|--------------------|--------------------|
| Средняя абсолютная ошибка | $0,18 \pm 0,07$ мм | —                  |

| Показатель                            | Цифровой метод      | Традиционный метод  |
|---------------------------------------|---------------------|---------------------|
| ИСС линейных параметров               | 0,96–0,99           | 0,84–0,91           |
| ИСС диагностических индексов          | 0,94–0,98           | 0,81–0,89           |
| Ошибка метода по Дальбергу            | $0,11 \pm 0,05$ мм  | $0,58 \pm 0,21$ мм  |
| Коэффициент вариации                  | 0,4–1,2%            | 2,6–5,3%            |
| Среднее время анализа                 | $15,6 \pm 2,7$ мин  | $66,3 \pm 9,4$ мин  |
| Время автоматического расчёта         | $56 \pm 12$ сек     | отсутствует         |
| Совпадение диагностических заключений | 94,7%               | —                   |
| Экспертная оценка удобства            | $4,9 \pm 0,1$ балла | $3,0 \pm 0,4$ балла |

### **Результаты разработки цифрового способа цефалометрического анализа и оценка его диагностической эффективности**

Разработанный цифровой способ цефалометрического анализа обеспечил точное определение линейных и угловых параметров телерентгенограмм головы, необходимых для диагностики и планирования ортодонтического лечения. При сравнении с традиционным методом статистически значимых различий по основным показателям не выявлено. Средняя абсолютная ошибка составила  $0,42 \pm 0,16$  мм для линейных и  $0,58 \pm 0,21^\circ$  для угловых измерений. Наиболее точные результаты получены при определении углов SNA и SNB, а также передней высоты лица, где ошибка не превышала 0,3 мм и  $0,3^\circ$ . Даже для наиболее сложных параметров, включая Beta Angle и положение губ относительно эстетической линии Риккетса, расхождения оставались в пределах 1 мм и  $1,1^\circ$ .

Цифровой способ продемонстрировал высокую воспроизводимость результатов. Значения ИСС для основных показателей достигали 0,98–0,99, превосходя аналогичные показатели традиционного анализа. Наиболее стабильными оказались измерения углов SNA, SNB и передней высоты лица.

Ошибка по Дальбергу составила  $0,28 \pm 0,09$  мм для линейных и  $0,36 \pm 0,14^\circ$  для угловых параметров, тогда как при традиционном анализе эти показатели достигали  $1,02 \pm 0,34$  мм и  $1,46 \pm 0,48^\circ$  соответственно. Коэффициент вариации находился в пределах 0,5–1,6%, что также свидетельствовало о высокой стабильности измерений. Анализ согласованности подтвердил отсутствие систематического смещения между цифровым и традиционным методами, а большинство результатов располагалось в пределах 95% доверительного интервала.

Наиболее существенное преимущество цифрового способа было связано с сокращением времени исследования. Средняя продолжительность полного цефалометрического анализа уменьшилась с  $41,6 \pm 6,7$  до  $10,4 \pm 1,8$  минуты. Автоматический расчёт параметров и формирование заключения занимали менее одной минуты — в среднем  $48 \pm 9$  секунд.

Совпадение диагностических заключений цифрового и традиционного методов составило 94,3%. Наибольшая согласованность отмечена при определении типа скелетного соотношения и

вертикального типа роста лицевого скелета. Удобство использования разработанного способа эксперты оценили в  $4,9 \pm 0,1$  балла из 5 возможных, особенно отметив высокую скорость анализа, автоматизацию расчётов и удобство визуализации результатов. Обобщённые результаты оценки диагностической эффективности разработанного цифрового способа цефалометрического анализа представлены в табл. 3.

**Таблица 3** – Сводные результаты оценки диагностической эффективности цифрового цефалометрического анализа

| Показатель                                      | Цифровой метод        | Традиционный метод    |
|-------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Средняя абсолютная ошибка линейных измерений    | $0,42 \pm 0,16$ мм    | —                     |
| Средняя абсолютная ошибка угловых измерений     | $0,58 \pm 0,21^\circ$ | —                     |
| ИСС линейных параметров                         | 0,95–0,99             | 0,82–0,91             |
| ИСС угловых параметров                          | 0,93–0,98             | 0,79–0,89             |
| Ошибка метода по Дальбергу (линейные параметры) | $0,28 \pm 0,09$ мм    | $1,02 \pm 0,34$ мм    |
| Ошибка метода по Дальбергу (угловые параметры)  | $0,36 \pm 0,14^\circ$ | $1,46 \pm 0,48^\circ$ |
| Коэффициент вариации                            | 0,5–1,6%              | 2,8–6,1%              |
| Среднее время анализа                           | $10,4 \pm 1,8$ мин    | $41,6 \pm 6,7$ мин    |
| Время автоматического расчёта                   | $48 \pm 9$ сек        | отсутствует           |
| Совпадение диагностических заключений           | 94,3%                 | —                     |
| Экспертная оценка удобства                      | $4,9 \pm 0,1$ балла   | $3,1 \pm 0,4$ балла   |

### **Результаты разработки цифрового способа анализа компьютерной томографии и оценка его диагностической эффективности**

Разработанный цифровой способ анализа компьютерной томографии обеспечил комплексную оценку состояния зубочелюстной системы, пространственного положения зубов, альвеолярной кости и височно-нижнечелюстных суставов, расширив диагностические возможности ортодонтического обследования.

Сравнение результатов цифрового анализа с традиционной интерпретацией КЛКТ не выявило статистически значимых различий по основным измеряемым параметрам. Средняя абсолютная ошибка не превышала 0,3 мм для линейных и  $0,4^\circ$  для угловых показателей, что подтверждало высокую точность метода. Воспроизводимость результатов также была высокой: значения ИСС для большинства параметров превышали 0,95, а ошибка по Дальбергу была статистически значимо ниже по сравнению с традиционным анализом томограмм.

Дополнительные диагностические данные, полученные при использовании разработанного способа, были выявлены у 38,9% пациентов. Чаще всего определялись ограничения объёма альвеолярной кости в области предполагаемого перемещения зубов, истончение кортикальных пластинок, риск формирования дегисценций и фенестраций, а также особенности положения суставных головок в височно-нижнечелюстных суставах.

Результаты КЛКТ-анализа повлияли на выбор тактики ортодонтического лечения у 43,3% пациентов. В этих случаях потребовалась коррекция первоначального плана лечения, изменение объёма перемещения зубов или дополнительный учёт анатомических ограничений.

Особое значение имела оценка височно-нижнечелюстных суставов. Метод позволил объективно анализировать положение суставных головок, размеры суставных пространств и степень их симметрии, что способствовало более точному определению терапевтического положения нижней челюсти и повышению качества планирования лечения пациентов с дистальной окклюзией.

Среднее время анализа компьютерной томографии сократилось более чем в 2 раза по сравнению с традиционной интерпретацией данных КЛКТ. При этом уменьшилось количество ручных измерений и повысилась стандартизация диагностического процесса.

Удобство использования разработанного способа эксперты оценили в  $4,9 \pm 0,1$  балла из 5 возможных. Наиболее высокую оценку получили возможности трёхмерной визуализации, автоматизированного анализа анатомических структур и формирования диагностического заключения. Обобщённые результаты оценки диагностической эффективности разработанного цифрового способа анализа компьютерной томографии представлены в табл. 4.

**Таблица 4** – Сводные результаты оценки диагностической эффективности цифрового анализа КЛКТ

| Показатель                              | Цифровой метод      | Традиционный метод  |
|-----------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Средняя абсолютная ошибка               | $0,21 \pm 0,08$ мм  | —                   |
| ИСС линейных параметров                 | 0,95–0,99           | 0,82–0,90           |
| ИСС суставных измерений                 | 0,93–0,97           | 0,79–0,87           |
| Ошибка метода по Дальбергу              | $0,14 \pm 0,05$ мм  | $0,61 \pm 0,22$ мм  |
| Коэффициент вариации                    | 0,5–1,4%            | 3,0–6,2%            |
| Среднее время анализа                   | $17,8 \pm 2,9$ мин  | $36,9 \pm 6,1$ мин  |
| Время автоматического расчёта           | $54 \pm 11$ сек     | отсутствует         |
| Дополнительные диагностические признаки | 38,9%               | —                   |
| Изменение плана лечения после КЛКТ      | 43,3%               | —                   |
| Совпадение диагностических заключений   | 94,3%               | —                   |
| Экспертная оценка удобства              | $4,8 \pm 0,1$ балла | $3,2 \pm 0,4$ балла |

#### **Результаты разработки способа ортодонтического лечения дистальной окклюзии с применением позиционирующих окклюзионных накладок**

Проведённое исследование подтвердило высокую клиническую эффективность разработанного способа лечения дистальной окклюзии с применением позиционирующих окклюзионных накладок и последующей терапии на элайнерах. Использование предложенного алгоритма способствовало улучшению морфологических и функциональных показателей,

нормализации положения нижней челюсти, восстановлению функции височно-нижнечелюстных суставов и координированной работы жевательной мускулатуры.

До начала лечения жалобы на дискомфорт или болезненность в области ВНЧС отмечались у 80,0% пациентов, утомляемость жевательных мышц — у 76,7%, суставные щелчки — у 63,3%, девиация нижней челюсти — у 63,3%. После лечения эти показатели снизились до 13,3%, 6,7%, 10,0% и 10,0% соответственно. Средний уровень боли по ВАШ уменьшился с  $4,8 \pm 1,6$  до  $0,9 \pm 0,7$  балла, а максимальное открывание рта увеличилось с  $36,2 \pm 4,8$  до  $44,7 \pm 3,2$  мм ( $p < 0,001$ ).

По данным КЛКТ выявлено улучшение положения суставных головок. Переднее суставное пространство уменьшилось с  $3,7 \pm 0,6$  до  $2,8 \pm 0,5$  мм, заднее увеличилось с  $1,8 \pm 0,5$  до  $3,0 \pm 0,4$  мм, а асимметрия суставных пространств снизилась с  $1,4 \pm 0,5$  до  $0,6 \pm 0,2$  мм. Доля пациентов с центральным положением суставных головок возросла с 16,7% до 86,7%, что свидетельствовало о восстановлении более физиологичных взаимоотношений в суставе.

Результаты электромиографии подтвердили нормализацию функции жевательной мускулатуры. Амплитуда биоэлектрической активности собственно жевательных мышц в покое снизилась с  $8,6 \pm 1,9$  до  $4,1 \pm 1,2$  мкВ, коэффициент асимметрии — с  $24,7 \pm 6,8\%$  до  $8,9 \pm 3,4\%$  ( $p < 0,001$ ). Частота выявления мышечного гипертонуса уменьшилась с 83,3% до 13,3%.

Анализ морфологических показателей показал выраженную коррекцию окклюзионных нарушений. Сагиттальная щель уменьшилась с  $7,4 \pm 1,5$  до  $2,1 \pm 0,6$  мм, глубина резцового перекрытия — с  $5,8 \pm 1,4$  до  $2,4 \pm 0,7$  мм ( $p < 0,001$ ). Соотношение моляров и клыков по I классу Энгля было достигнуто у 90,0% пациентов, тогда как до лечения оно отсутствовало. Частота девиации подбородка снизилась с 56,7% до 10,0%, а количество пациентов со стабильными множественными окклюзионными контактами увеличилось с 13,3% до 93,3%.

Оценка клинической надёжности позиционирующих окклюзионных накладок показала высокую стабильность конструкции. За период наблюдения было изготовлено и использовано 60 накладок. Переломов и случаев полной замены конструкций не зарегистрировано. Незначительные сколы отмечены в 3,3% случаев, дебондинг — в 5,0%. При этом ни у одного пациента не наблюдалось потери достигнутого терапевтического положения нижней челюсти вследствие нестабильности накладок.

### **Результаты разработки цифрового модуля моделирования позиционирующих окклюзионных накладок и оценка его точности и воспроизводимости**

Разработанный цифровой модуль моделирования позиционирующих окклюзионных накладок продемонстрировал высокую точность проектирования конструкций и надёжное воспроизведение терапевтического положения нижней челюсти.

При оценке геометрической точности среднее значение RMS между виртуальной моделью и изготовленной конструкцией составило  $0,12 \pm 0,04$  мм. Наиболее точные результаты получены

для внутренней поверхности накладки ( $0,09 \pm 0,03$  мм), тогда как в области окклюзионной поверхности RMS достигал  $0,17 \pm 0,05$  мм. Среднее абсолютное отклонение между цифровой моделью и готовой конструкцией составило  $0,08 \pm 0,03$  мм, а максимальное локальное отклонение не превышало  $0,21 \pm 0,06$  мм.

Высокая точность была получена и при воспроизведении цементного зазора. Средняя ошибка составила  $0,05 \pm 0,02$  мм, а в области окклюзионной поверхности и опорных бугров не превышала  $0,04 \pm 0,02$  мм. После клинической фиксации дополнительная коррекция внутренней поверхности потребовалась лишь в 6,7% случаев.

Анализ окклюзионных контактов показал высокое соответствие между виртуальным проектом и изготовленной конструкцией. Совпадение центральных контактов составило 96,1%, направляющих — 92,4%, балансирующих — 91,7%, а общий уровень совпадения достиг 93,8%. Необходимость дополнительной коррекции окклюзионной поверхности после изготовления конструкции отмечалась в 11,7% случаев против 38,3% при традиционном ручном моделировании.

Отдельно была изучена точность воспроизведения терапевтического положения нижней челюсти. Среднее сагиттальное отклонение составило  $0,32 \pm 0,11$  мм, вертикальное —  $0,28 \pm 0,09$  мм, трансверзальное —  $0,21 \pm 0,07$  мм, а угловое не превышало  $0,6 \pm 0,2^\circ$ . Полученные данные подтвердили высокую стабильность воспроизведения заданной позиции нижней челюсти.

Исследование воспроизводимости показало высокую надёжность цифрового моделирования. Значения ICC находились в пределах 0,91–0,99. Ошибка по Дальбергу составила 0,04–0,09 мм, тогда как при традиционном моделировании достигала 0,21–0,48 мм. Коэффициент вариации находился в диапазоне 0,6–1,9%, а при традиционном подходе — 4,2–7,8%.

Наиболее существенные различия между методами выявлены по временным затратам. Среднее время моделирования одной конструкции составило  $14,8 \pm 2,3$  минуты против  $58,4 \pm 9,1$  минуты при ручном моделировании. Автоматическое построение конструкции, анализ окклюзионных контактов и формирование STL-файла занимали менее одной минуты — в среднем  $52 \pm 11$  секунд. В результате применение разработанного цифрового модуля позволило сократить общее время моделирования на 74,7%.

Обобщённые результаты оценки точности, воспроизводимости и эффективности разработанного цифрового модуля моделирования позиционирующих окклюзионных накладок представлены в табл. 5.

**Таблица 5** – Сводные результаты оценки точности и воспроизводимости цифрового моделирования позиционирующих окклюзионных накладок

| Показатель     | Цифровой метод     | Традиционный метод |
|----------------|--------------------|--------------------|
| RMS-отклонение | $0,12 \pm 0,04$ мм | —                  |

| Показатель                          | Цифровой метод     | Традиционный метод |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|
| Ошибка цементного зазора            | $0,05 \pm 0,02$ мм | $0,18 \pm 0,07$ мм |
| Совпадение окклюзионных контактов   | 93,8%              | 78,4%              |
| ИСС                                 | 0,91–0,99          | 0,76–0,88          |
| Ошибка метода по Дальбергу          | 0,04–0,09 мм       | 0,21–0,48 мм       |
| Коэффициент вариации                | 0,6–1,9%           | 4,2–7,8%           |
| Среднее время моделирования         | $14,8 \pm 2,3$ мин | $58,4 \pm 9,1$ мин |
| Время автоматического построения    | $52 \pm 11$ сек    | отсутствует        |
| Необходимость клинической коррекции | 11,7%              | 38,3%              |

## РАЗРАБОТКА ИНТЕГРИРОВАННОЙ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ОРТОДОНТИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ

### Материал и методы разработки интегрированной цифровой системы планирования ортодонтического лечения

Заключительным этапом исследования стала разработка интегрированной цифровой системы планирования ортодонтического лечения «СМАРТ-ОРТО», предназначенной для объединения результатов диагностики, автоматизации планирования лечения, подготовки медицинской документации и презентационных материалов для пациента.

Основой для создания системы послужили разработанные ранее модули фотометрического анализа лица, биометрического анализа зубных рядов, цифровой цефалометрии, анализа данных КЛКТ и моделирования позиционирующих окклюзионных накладок. Их объединение позволило сформировать единое цифровое диагностическое пространство с автоматической интеграцией данных различных методов обследования.

Программное обеспечение разработано на языке C++ в среде Unreal Engine 5 с использованием библиотек OpenCV, VTK и Eigen. Архитектура программы построена по модульному принципу и включает взаимосвязанные блоки фотометрического, биометрического, цефалометрического и томографического анализа, а также модуль моделирования позиционирующих окклюзионных накладок.

Одной из ключевых задач стала реализация автоматического обмена данными между модулями без повторного ввода информации пользователем. Для этого была создана единая цифровая карта пациента, содержащая результаты обследования, диагностические параметры, заключения и данные динамического наблюдения.

В системе реализован автоматический модуль формирования медицинской документации. На основании результатов комплексного обследования программа создаёт структурированную ортодонтическую карту пациента, включающую данные фотометрического, биометрического, цефалометрического и томографического анализа, характеристику окклюзии, состояние

височно-нижнечелюстных суставов, предварительный диагноз и план лечения. Для подготовки текстовых заключений разработаны алгоритмы автоматической интерпретации диагностических показателей.

Дополнительно создан модуль автоматического формирования презентации плана лечения. После завершения диагностики программа экспортирует фотографии, результаты измерений, цифровые модели, данные цефалометрии, КЛКТ и визуализацию позиционирующих окклюзионных накладок в единую презентацию с поэтапным отображением лечения.

В процессе разработки проводилось тестирование как отдельных модулей, так и системы в целом. Оценивали корректность обмена данными, стабильность автоматических расчётов, полноту переноса диагностической информации и правильность формирования медицинской документации и презентационных материалов.

Результатом работы стала интегрированная цифровая система «СМАРТ-ОРТО», обеспечивающая полный цифровой цикл ортодонтической диагностики и планирования лечения в рамках единой программной платформы. Программа зарегистрирована в Федеральной службе по интеллектуальной собственности как программа для ЭВМ «Программа для планирования ортодонтического лечения SMART-ORTO» (свидетельство о государственной регистрации № 2024681396 от 09.09.2024).

**Материал и методы оценки диагностической точности, воспроизводимости и  
временной эффективности разработанной цифровой системы планирования  
ортодонтического лечения**

После разработки интегрированной цифровой системы «СМАРТ-ОРТО» была проведена её клиническая оценка в условиях ортодонтической практики. Исследовали точность интеграции диагностических данных, воспроизводимость результатов, качество автоматического формирования медицинской документации и презентации плана лечения, а также влияние программы на затраты рабочего времени врача.

В исследование вошли 30 пациентов с дистальной окклюзией, обследованных по разработанному цифровому протоколу. Диагностический цикл включал фотометрический анализ лица, биометрическое исследование цифровых моделей зубных рядов, цефалометрический анализ, оценку данных КЛКТ и моделирование позиционирующих окклюзионных накладок.

Для каждого пациента планирование выполняли двумя способами. При традиционном цифровом протоколе использовали отдельные программы, вручную переносили результаты в медицинскую карту и самостоятельно готовили презентацию. Во втором случае все этапы проводили в интегрированной системе «СМАРТ-ОРТО».

Точность оценивали путём сравнения исходных результатов диагностических модулей с данными, автоматически внесёнными в единую карту пациента. Учитывали параметры

фотометрического, биометрического, цефалометрического и томографического анализа, а также результаты моделирования накладок. Отдельно регистрировали потерю и дублирование данных, ошибки округления и необходимость ручной коррекции.

Воспроизводимость оценивали 3 независимых врача-ортодонта со стажем более 10 лет. Каждый специалист повторно анализировал клинические случаи, а часть исследований пересматривал через 10–14 дней без доступа к предыдущим результатам. Оценивали устойчивость расчётов, межмодульной передачи данных, заключений, медицинских карт и презентаций.

Качество автоматического оформления медицинской документации определяли по полноте заполнения карты, точности переноса показателей, соответствию заключений результатам обследования, частоте ошибок и необходимости ручного редактирования. Также сравнивали продолжительность оформления карты традиционным и автоматизированным способами.

Презентации, созданные системой, сопоставляли с материалами, подготовленными врачом вручную. Оценивали полноту диагностической информации, наличие результатов всех модулей, ошибки визуализации, потребность в доработке и время подготовки.

Клиническую применимость программы изучали с помощью анкетирования 15 врачей-ортодентов, знакомых с цифровыми методами диагностики. Они оценивали интерфейс, структуру программы, межмодульное взаимодействие, оформление документации, подготовку презентации и влияние системы на повседневную работу.

После демонстрации плана лечения проводили также анкетирование пациентов. Традиционную и автоматически сформированную презентации оценивали по понятности диагноза, наглядности информации, пониманию этапов и ожидаемого результата лечения, а также уровню доверия к предложенному плану. Дополнительно учитывали количество вопросов, необходимость повторных объяснений и продолжительность консультации.

Временную эффективность определяли по общей продолжительности полного цифрового протокола. Отдельно сравнивали время диагностики, оформления медицинской карты, подготовки презентации и число ручных операций.

Статистическую обработку проводили в Microsoft Excel и Statistica 13.0. Рассчитывали средние значения, стандартные отклонения, коэффициенты вариации и внутриклассовой корреляции (ICC). Для сравнения количественных показателей применяли t-критерий Стьюдента или критерий Вилкоксона с учётом характера распределения. Статистически значимыми считали различия при  $p < 0,05$ .

## Результаты оценки эффективности разработанной цифровой системы планирования ортодонтического лечения

Интеграция диагностических модулей в систему «СМАРТ-ОРТО» позволила создать единый цифровой протокол ортодонтического обследования, объединяющий диагностику, планирование лечения, оформление медицинской документации и подготовку презентации для пациента.

При автоматическом обмене данными между модулями клинически значимых ошибок не выявлено. Средняя абсолютная ошибка составила  $0,03 \pm 0,01$ – $0,06 \pm 0,03$  мм для линейных параметров и  $0,03 \pm 0,02$ – $0,04 \pm 0,02^\circ$  для угловых показателей. При обработке 3780 диагностических параметров потери данных не зарегистрировано. Дублирование отмечено в 0,3% случаев, ошибки округления — в 0,5%, необходимость ручной коррекции — в 0,2%. В 98,9% случаев диагностическое заключение оставалось без изменений.

Система показала высокую воспроизводимость: значения ICC находились в пределах 0,92–0,99, ошибка метода составила 0,04–0,13 мм для линейных и  $0,05$ – $0,18^\circ$  для угловых параметров, коэффициент вариации не превышал 2,3%.

Полнота автоматического заполнения ортодонтической карты достигла  $96,8 \pm 2,4\%$ , а корректность числовых данных —  $99,2 \pm 0,8\%$ . В 93,3% случаев существенная ручная коррекция не требовалась. Ошибок, способных изменить диагноз или план лечения, не выявлено. Время оформления карты сократилось с  $34,6 \pm 6,8$  до  $4,2 \pm 1,1$  минуты, а частота ошибок переноса данных — с 7,8% до 0,8%.

Полнота автоматически сформированной презентации составила  $96,1 \pm 2,9\%$ , при этом результаты всех диагностических модулей присутствовали в 100% презентаций. Необходимость ручного добавления изображений снизилась с 86,7% до 10,0%, а частота несоответствия изображений и подписей — с 8,9% до 0,7%.

Автоматическая презентация улучшила взаимодействие врача с пациентом. Средняя оценка материалов увеличилась с  $7,1 \pm 1,1$  до  $9,3 \pm 0,6$  балла, доля пациентов, полностью понимавших план лечения, — с 63,3% до 93,3%, а количество дополнительных вопросов уменьшилось с  $5,2 \pm 1,6$  до  $2,1 \pm 0,9$ .

По данным анкетирования врачей-ортодонтв общая оценка системы составила  $9,4 \pm 0,5$  балла. Наиболее высоко оценены автоматическое оформление медицинской документации —  $9,6 \pm 0,4$  балла, создание презентации —  $9,7 \pm 0,3$  балла и сокращение рутинной работы —  $9,5 \pm 0,5$  балла.

Средняя продолжительность полного цифрового протокола уменьшилась с  $189,4 \pm 24,7$  до  $61,8 \pm 8,9$  минуты, что соответствовало сокращению временных затрат на 67,4%. Время подготовки документации и презентации снизилось с  $63,0 \pm 10,5$  до  $8,0 \pm 1,7$  минуты, а количество ручных операций — с  $74,6 \pm 12,3$  до  $18,4 \pm 4,2$ .

Обобщённые результаты оценки точности, воспроизводимости и эффективности цифровой системы планирования ортодонтического лечения представлены в табл. 6.

**Таблица 6** — Сводные результаты статистической обработки результатов оценки эффективности программного комплекса «СМАРТ-ОРТО»

| Показатель                       | Традиционный протокол | «СМАРТ-ОРТО»         | p      |
|----------------------------------|-----------------------|----------------------|--------|
| Средняя ошибка интеграции данных | —                     | 0,03–0,06) мм        | >0,05  |
| СС по разделам диагностики       | 0,78–0,91             | 0,92–0,99            | <0,001 |
| Коэффициент вариации             | 3,4–7,9%              | 0,6–2,3%             | <0,001 |
| Ошибки переноса данных           | 7,8%                  | 0,8%                 | <0,001 |
| Полнота медицинской карты        | 84,5 $\pm$ 7,2)%      | 96,8 $\pm$ 2,4)%     | <0,001 |
| Время заполнения карты           | 34,6 $\pm$ 6,8) мин   | 4,2 $\pm$ 1,1) мин   | <0,001 |
| Время подготовки презентации     | 28,4 $\pm$ 6,2) мин   | 3,8 $\pm$ 1,0) мин   | <0,001 |
| Оценка врачей                    | 6,1 $\pm$ 1,1) балла  | 9,4 $\pm$ 0,5) балла | <0,001 |
| Оценка пациентов                 | 7,1 $\pm$ 1,1) балла  | 9,3 $\pm$ 0,6) балла | <0,001 |
| Полное время цифрового протокола | 189,4 $\pm$ 24,7) мин | 61,8 $\pm$ 8,9) мин  | <0,001 |

Полученные результаты подтвердили, что разработанная система «СМАРТ-ОРТО» обеспечивает высокую точность интеграции диагностических данных, высокую воспроизводимость результатов, статистически значимое сокращение временных затрат, повышение качества медицинской документации и улучшение взаимодействия врача с пациентом. Интеграция всех этапов диагностики и планирования лечения в рамках единой цифровой платформы позволила сформировать завершённую систему комплексного цифрового ортодонтического планирования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Перспективы дальнейшей разработки темы

Полученные результаты открывают возможности для дальнейшего совершенствования цифровых технологий в ортодонтии и развития интеллектуальных систем поддержки принятия клинических решений. Перспективным направлением является внедрение алгоритмов искусственного интеллекта для автоматического выявления зубочелюстных аномалий, прогнозирования результатов лечения и формирования персонализированных ортодонтических протоколов.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на создание цифровых двойников пациента, позволяющих моделировать изменения зубочелюстной системы на различных этапах лечения и прогнозировать функциональные и эстетические результаты ещё до начала клинических вмешательств. Представляет интерес совершенствование технологий цифрового моделирования и аддитивного производства ортодонтических конструкций, а также разработка новых материалов для их изготовления с заданными физико-механическими и биологическими свойствами. Важным этапом дальнейшего развития темы является проведение многоцентровых

клинических исследований для оценки эффективности разработанных цифровых технологий в различных клинических условиях и анализа стабильности результатов в отдалённые сроки наблюдения. Полученные данные могут быть использованы при создании единых цифровых стандартов диагностики и планирования ортодонтического лечения, а также при дальнейшей цифровой трансформации стоматологической практики и медицинского образования.

### Выводы

1. Проведённый анализ отечественных и зарубежных научных источников показал, что наиболее информативными и клинически значимыми методами диагностики зубочелюстных аномалий являются фотометрический анализ, биометрия зубных рядов, цифровая цефалометрия и анализ данных КЛКТ, а их интеграция в единый цифровой протокол позволяет повысить объективность диагностики, воспроизводимость результатов и эффективность планирования ортодонтического лечения.

2. Разработанный метод цифрового анализа портретных фотографий пациента продемонстрировал высокую диагностическую точность и воспроизводимость результатов при минимальной средней абсолютной ошибке линейных измерений  $0,74 \pm 0,31$  мм и угловых измерений  $0,82 \pm 0,37^\circ$ , высоких значениях коэффициента внутриклассовой корреляции (ICC 0,91–0,98), а также статистически значимом сокращении времени исследования по сравнению с традиционным антропометрическим методом — с  $64,7 \pm 8,9$  до  $15,2 \pm 2,4$  мин ( $p < 0,001$ )

3. Разработанный метод цифрового анализа внутриротовых оптических слепков зубных рядов продемонстрировал высокую точность и воспроизводимость результатов при минимальной средней абсолютной ошибке линейных измерений  $0,18 \pm 0,07$  мм, высоких значениях коэффициента внутриклассовой корреляции (ICC 0,94–0,99) и отсутствии статистически значимых различий по сравнению с мануальными измерениями гипсовых диагностических моделей ( $p > 0,05$ ), а также обеспечил статистически значимое сокращение времени исследования с  $66,3 \pm 9,4$  до  $15,6 \pm 2,7$  мин ( $p < 0,001$ ).

4. Разработанный метод цифровой цефалометрической обработки телерентгенограмм в прямой и боковой проекциях продемонстрировал высокую точность и хорошую воспроизводимость результатов. Средняя абсолютная ошибка линейных измерений составила  $0,42 \pm 0,16$  мм, угловых —  $0,58 \pm 0,21^\circ$ . Коэффициент внутриклассовой корреляции (ICC) находился в пределах 0,93–0,99. Статистически значимых различий по основным диагностическим параметрам между цифровым методом и классическим ручным трассированием выявлено не было ( $p > 0,05$ ). При этом использование цифрового анализа позволило статистически значимо сократить время исследования — с  $41,6 \pm 6,7$  до  $10,4 \pm 1,8$  минуты ( $p < 0,001$ ).

5. Разработанный метод цифрового анализа данных компьютерной томографии также показал высокую точность и воспроизводимость результатов. Средняя абсолютная ошибка измерений составила  $0,21 \pm 0,08$  мм, а коэффициент внутриклассовой корреляции (ИСС) находился в диапазоне 0,93–0,99. Применение цифрового метода сопровождалось статистически значимым сокращением времени анализа КЛКТ по сравнению с традиционной оценкой — с  $36,9 \pm 6,1$  до  $17,8 \pm 2,9$  минуты ( $p < 0,001$ ). Проведенное исследование показало, что обязательной частью современного ортодонтического планирования должна быть оценка положения головок нижней челюсти в ВНЧС и толщины кортикальной кости челюстей, поскольку именно эти параметры позволяют определить безопасные границы перемещения зубов и повысить точность диагностики зубочелюстных аномалий.

6. Разработан способ ортодонтического лечения дистальной окклюзии, основанный на цифровом определении терапевтического положения нижней челюсти, изготовлении индивидуальных позиционирующих окклюзионных накладок и последующем лечении на элайнерах, а также разработан конструкционный материал для их аддитивного производства, что позволило создать управляемый цифровой протокол функционально ориентированной коррекции дистальной окклюзии; новизна предложенного способа подтверждена патентом РФ № 2825047 «Способ устранения дистальной окклюзии зубных рядов», а разработка материала — патентом РФ № 2853878 «Светоотверждаемая композиция для 3D-печати разобщающих прикусных накладок».

7. Клиническая апробация предложенного способа лечения дистальной окклюзии подтвердила его эффективность по функциональным и морфологическим показателям: после лечения частота жалоб на дискомфорт в области ВНЧС снизилась с 80,0% до 13,3%, боль по ВАШ — с  $4,8 \pm 1,6$  до  $0,9 \pm 0,7$  балла, амплитуда открывания рта увеличилась с  $36,2 \pm 4,8$  до  $44,7 \pm 3,2$  мм, коэффициент асимметрии ЭМГ уменьшился с  $24,7 \pm 6,8\%$  до  $8,9 \pm 3,4\%$ , сагиттальная щель — с  $7,4 \pm 1,5$  до  $2,1 \pm 0,6$  мм, глубина резцового перекрытия — с  $5,8 \pm 1,4$  до  $2,4 \pm 0,7$  мм ( $p < 0,001$ ), при этом переломов позиционирующих накладок не зарегистрировано, что подтверждает клиническую эффективность и надёжность разработанного способа.

8. Разработанный метод цифрового моделирования позиционирующих окклюзионных накладок в терапевтическом положении нижней челюсти показал высокую точность и воспроизводимость результатов: среднее RMS-отклонение составило  $0,12 \pm 0,04$  мм, совпадение окклюзионных контактов — 93,8%, коэффициент внутриклассовой корреляции находился в пределах ИСС 0,91–0,99, а время моделирования было статистически значимо меньше по сравнению с традиционным ручным методом —  $14,8 \pm 2,3$  мин против  $58,4 \pm 9,1$  мин ( $p < 0,001$ )

9. Разработана интегрированная компьютерная программа «СМАРТ-ОРТО» для комплексной цифровой диагностики стоматологического пациента и планирования

ортодонтического лечения, объединяющая модули фотометрического, биометрического, цефалометрического и КЛКТ-анализа, а также цифрового моделирования позиционирующих окклюзионных накладок с автоматическим формированием ортодонтической карты пациента и презентации плана лечения; разработка подтверждена свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024681396.

10. Разработанная интегрированная цифровая система «СМАРТ-ОРТО» для комплексного планирования ортодонтического лечения продемонстрировала высокую диагностическую точность и воспроизводимость результатов при минимальной ошибке интеграции данных 0,03–0,06мм, значениях коэффициента внутриклассовой корреляции ICC 0,92–0,99 и отсутствии статистически значимых различий между исходными и автоматически интегрированными диагностическими параметрами ( $p > 0,05$ ), при этом обеспечила статистически значимое сокращение времени выполнения полного цифрового диагностического протокола с  $189,4 \pm 24,7$  до  $61,8 \pm 8,9$  мин, времени формирования медицинской документации — с  $34,6 \pm 6,8$  до  $4,2 \pm 1,1$  мин и подготовки презентации плана лечения — с  $28,4 \pm 6,2$  до  $3,8 \pm 1,0$  мин ( $p < 0,001$ ), что подтверждает её высокую клиническую эффективность и целесообразность применения в комплексном цифровом ортодонтическом планировании

### **Практические рекомендации**

1. При планировании ортодонтического лечения пациентов с зубочелюстными аномалиями целесообразно использовать комплексный цифровой диагностический протокол, включающий фотометрический анализ, исследование цифровых моделей зубных рядов, цифровую цефалометрию и анализ данных КЛКТ, что позволяет повысить точность диагностики, воспроизводимость результатов и сократить временные затраты на обследование пациента.

2. Для оценки эстетических параметров лица целесообразно использовать цифровой фотометрический анализ на основе стандартизированного фотопротокола и автоматического расчета линейных и угловых показателей. Такой подход уменьшает влияние субъективного фактора и позволяет проводить объективный контроль изменений на разных этапах лечения.

3. При диагностике зубочелюстных аномалий и планировании перемещения зубов рекомендуется применять внутриротное сканирование и цифровые модели зубных рядов вместо традиционных гипсовых моделей. Цифровой метод обеспечивает высокую точность измерений, упрощает хранение диагностических данных и позволяет объединять результаты обследования в едином цифровом протоколе лечения.

4. Для анализа скелетных и зубоальвеолярных взаимоотношений рекомендуется использовать цифровую цефалометрическую обработку телерентгенограмм в прямой и боковой проекциях. Данный метод обеспечивает высокую воспроизводимость результатов и значительно сокращает время выполнения диагностических расчетов.

5. В современном ортодонтическом планировании обязательным этапом должна быть оценка данных конусно-лучевой компьютерной томографии с анализом положения головок нижней челюсти в височно-нижнечелюстных суставах, состояния суставных пространств и толщины кортикальной кости челюстей. Это позволяет определить безопасные границы перемещения зубов и уменьшить риск развития осложнений в процессе лечения.

6. У пациентов с дистальной окклюзией и признаками мышечно-суставной дисфункции рекомендуется проводить предварительное определение терапевтического положения нижней челюсти с использованием данных КЛКТ ВНЧС и электромиографии жевательных мышц перед началом активного ортодонтического лечения.

7. Для лечения пациентов с дистальной окклюзией рекомендуется применение индивидуальных позиционирующих окклюзионных накладок, изготовленных с использованием цифровых технологий и аддитивного производства, что обеспечивает стабилизацию терапевтического положения нижней челюсти и снижение функциональной нагрузки на структуры ВНЧС в процессе ортодонтического лечения.

8. Цифровое моделирование позиционирующих окклюзионных накладок рекомендуется выполнять в специализированной программной среде с контролем окклюзионных контактов и параметров межчелюстных взаимоотношений, что позволяет повысить точность конструкции и минимизировать необходимость её клинической коррекции.

9. Для повышения эффективности работы врача-ортодонта и стандартизации диагностического протокола рекомендуется использование интегрированной цифровой системы «СМАРТ-ОРТО», объединяющей модули фотометрического, биометрического, цефалометрического и КЛКТ-анализа, а также цифрового моделирования ортодонтических конструкций.

10. Автоматическое формирование ортодонтической карты пациента и презентации плана лечения целесообразно использовать в повседневной клинической практике, поскольку это позволяет сократить время оформления документации, повысить информированность пациента и улучшить взаимодействие между врачом и пациентом.

11. При проведении комплексной ортодонтической диагностики рекомендуется использовать единый цифровой архив данных пациента, включающий фотографии, цифровые модели зубных рядов, телерентгенограммы, КЛКТ и результаты функциональных исследований. Такой подход обеспечивает возможность динамического наблюдения и объективной оценки результатов лечения на всех этапах терапии.

12. Для повышения воспроизводимости цифровых исследований необходимо стандартизировать условия получения диагностических данных: использовать единые

параметры фотопротокола, одинаковые настройки КЛКТ-исследований и стабильные условия внутриротового сканирования.

13. При обследовании пациентов с выраженными зубочелюстными аномалиями и признаками функциональных нарушений рекомендуется комплексный анализ морфологических и функциональных показателей, включающий КЛКТ ВНЧС и электромиографию жевательных мышц. Только совокупная оценка этих параметров позволяет определить стабильное терапевтическое положение нижней челюсти. Использование цифровых методов диагностики рекомендуется не только на этапе первичного обследования, но и в процессе активного ортодонтического лечения и ретенционного наблюдения, что позволяет своевременно контролировать изменения окклюзионных взаимоотношений, состояние ВНЧС и стабильность достигнутых результатов.

14. При работе с цифровыми диагностическими системами рекомендуется минимизировать ручной перенос данных между различными программами, поскольку автоматическая интеграция диагностических параметров снижает риск технических ошибок и повышает полноту медицинской документации.

15. Для улучшения понимания пациентом клинической ситуации и повышения приверженности лечению рекомендуется использовать автоматизированные цифровые презентации плана лечения с визуализацией диагностических данных, этапов ортодонтического лечения и прогнозируемого результата.

16. Разработанные цифровые методы и интегрированную систему «СМАРТ-ОРТО» целесообразно внедрять в образовательный процесс кафедр ортодонтии и цифровой стоматологии для обучения врачей современным технологиям комплексного цифрового планирования ортодонтического лечения.

### **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

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

1. Апресян С.В., Степанов А.Г., **Московец О.О.**, Малиева Э.А. Цифровое планирование ортодонтического лечения: литературный обзор // Российский стоматологический журнал. - 2024. - Т. 28. - №6. - С. 601-611.

#### **Публикации в научных журналах, включённых в базу данных RSCI**

2. **Московец О.О.**, Слабковская А.Б., Московец О.Н. Гидратация внеклеточной среды тканей пародонта в динамике ортодонтического лечения у пациентов с дистальной окклюзией // Клиническая стоматология. – 2021. – Т. 24, № 3. – С. 98-103.

#### **Публикации в изданиях, рекомендованных Перечнями РУДН/ВАК**

3. Ступницкий А.В., Картон Е.А., Панкратова Н.В., Постников М.А., **Московец О.О.** Состояние гемодинамики пародонта боковых зубов у ортодонтических пациентов при смене

нитиновых дуг различного сечения / А. В. Ступницкий, Е. А. Картон, Н. В. Панкратова [и др.] // Ортодонтия. – 2018. – № 4(84). – С. 52-61.

4. Начарьян Д.Г., Апресян С.В., Степанов А.Г., **Московец О.О.**, Бутков Д.С. Цифровые протоколы комплексной ортопедической реабилитации пациентов с синдромом болевой дисфункции височно-нижнечелюстного сустава (обзор литературы). Проблемы стоматологии. 2025; 2: 37-42.

5. Ступницкий А.В., Панкратова Н.В., Картон Е.А., Персин Л.С., Постников М.А., **Московец О.О.** Состояние гемодинамики пародонта на этапах ортодонтического лечения у пациентов с разной толщиной альвеолярного отростка в области верхних боковых зубов (Часть II) // Институт стоматологии. – 2019. – № 2(83). – С. 59-61.

6. Ступницкий А.В., Панкратова Н.В., Картон Е.А., Персин Л.С., Постников М.А., **Московец О.О.** Состояние гемодинамики пародонта на этапах ортодонтического лечения у пациентов с разной толщиной альвеолярного отростка в области верхних боковых зубов (Часть I) // Институт стоматологии. – 2019. – № 1(82). – С. 56-59.

7. Клиническая эффективность применения индивидуального программируемого прикусного блока для профилактики обострения симптомов мышечно-суставной дисфункции / Д. Г. Начарьян, С. В. Апресян, А. Г. Степанов, М. В. Копылов, **О. О. Московец** // Проблемы стоматологии. – 2026. – Т. 22, № 2. – С. 274–282

8. Клиническая эффективность дифференцированных протоколов комплексной ортопедической реабилитации пациентов с дисфункцией височно-нижнечелюстного сустава / Д. Г. Начарьян, С. В. Апресян, А. Г. Степанов, М. В. Копылов, **О. О. Московец** // Проблемы стоматологии. – 2026. – Т.22, № 2. – С. 264–273.

#### **Монографии:**

9. Апресян С.В., Степанов А.Г., Забаева М.Н., **Московец О.О.** Цифровая стоматология. Экономика и менеджмент / (монография) – М.: Практическая медицина, 2024. 148 с. ISBN 978-5-98811-812-1. УДК 616.31:004; ББК 56.6.

#### **Патенты:**

10. Оклюзионная зубная шина: Пат. 227232 РФ. МПК А61С 7/00 / М.К. Макеева, Корзун А.Л., С.В. Апресян, А.Г. Степанов, **О.О. Московец**, А.А. Геворкян; заявл.28.05.2024; опуб. 11.07.2024, Бюл. №5 –7с.

11. Способ устранения дистальной окклюзии зубных рядов Пат. 2825047 РФ. МПК А61С 7/00 / С.В. Апресян, А.Г. Степанов, **О.О. Московец**, К.С. Апресян; заявл.20.02.2024; опуб. 19.08.2024, Бюл. №23 –12с.

12. Программа для планирования ортодонтического лечения СМАРТ-ОРТО. Апресян С.В., Степанов А.Г., **Московец О.О.**, Малиева Э.А. Заявка № 2024669938. Свидетельство № 2024681396 от 28.08.2024.

13. Способ выполнения терапевтической санации полости рта в период лечения мышечно-суставной дисфункции: Пат. 2830400 РФ. МПК А61С 7/00 / Макеева М.К., Корзун А.Л., С.В. Апресян, А.Г. Степанов, **О.О. Московец**, А.А. Геворкян; заявл.28.05.2024; опуб. 18.11.2024, Бюл. №32 –8 с.

14. Способ профилактики патологии височно-нижнечелюстного сустава во время стоматологического лечения. Пат. 2843790 РФ. МПК А61С 8/00. Апресян С.В., Степанов А.Г., Начарян Д.Г., **Московец О.О.**, Копылов М.В. Заявл. № 2025102907 от 11.02.2025; опуб. 18.07.2025, Бюл. №20 – 10 с.

15. Прикусной блок для фиксации челюстей. Пат. 2844632 РФ. МПК А61С 8/00. Апресян С.В., Степанов А.Г., Начарян Д.Г., Копылов М.В. **Московец О.О.** Заявл. № 2025102909 от 11.02.2025; опуб. 04.08.2025, Бюл. №2 – 7 с.

16. Светоотверждаемая композиция для 3Д-печати разобщающих прикусных накладок. Пат. 2853878 РФ. МПК А61С 8/00. Будников С.Ю., Белов К.К., Корнилов К.В., Иту И.И., Апресян С.В., Степанов А.Г., **Московец О.О.**, Малиева Э.А., Заявл. № 2024126459 от 09.09.2024; опуб. 26.12.2025, Бюл. №36–5 с.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

**ВАШ** — визуально-аналоговая шкала

**ВНЧС** — височно-нижнечелюстной сустав

**КЛКТ** — конусно-лучевая компьютерная томография

**ЭМГ** — электромиография

**CAD/CAM** — системы автоматизированного проектирования и производства (от англ. Computer-Aided Design / Computer-Aided Manufacturing)

**DICOM** — стандарт формата медицинских изображений (от англ. Digital Imaging and Communications in Medicine)

**ICC** — коэффициент внутриклассовой корреляции (от англ. Intraclass Correlation Coefficient)  $p$  — уровень статистической значимости различий

**RMS** — среднеквадратичное отклонение (от англ. Root Mean Square)

**STL** — формат файлов трёхмерных моделей (от англ. Standard Tessellation Language)

**Московец О.О.**

**«Комплексное цифровое планирование ортодонтического лечения»**

В ходе исследования разработана и научно обоснована концепция комплексного цифрового планирования ортодонтического лечения, основанная на интеграции методов фотометрического, биометрического, цефалометрического, томографического и функционального анализа. Созданы цифровые способы диагностики зубочелюстных аномалий, обеспечивающие высокую точность, воспроизводимость и сокращение времени обследования. Впервые предложен способ лечения дистальной окклюзии с использованием индивидуальных позиционирующих окклюзионных накладок, изготовленных с применением цифровых технологий, а также специализированный материал для их аддитивного производства. Разработан цифровой модуль моделирования накладок, позволяющий с высокой точностью воспроизводить терапевтическое положение нижней челюсти. Создана интегрированная цифровая система «СМАРТ-ОРТО», объединяющая диагностические модули, инструменты планирования лечения и средства автоматического формирования медицинской документации. Получены новые данные о диагностической и клинической эффективности разработанных методов, а также возможностях комплексной цифровой трансформации ортодонтии. Разработанные технологии внедрены в образовательную деятельность и клиническую практику, что позволило повысить качество диагностики и эффективность лечебного процесса.

**Moscovets O.O.**

**“Comprehensive Digital Planning of Orthodontic Treatment”**

The study developed a concept of comprehensive digital orthodontic treatment planning based on the integration of photometric, biometric, cephalometric, tomographic, and functional analysis. Novel digital diagnostic approaches for dentofacial anomalies were developed, providing high accuracy, reproducibility, and reduced examination time. For the first time, a method for treating distal occlusion using individualized positioning occlusal splints and a specialized material for their additive manufacturing was proposed. A digital modeling module was developed, enabling highly accurate reproduction of the therapeutic mandibular position. An integrated digital system, SMART-ORTHO, was created, combining diagnostic modules, treatment-planning tools, and automated clinical documentation. The study confirmed the diagnostic and clinical efficacy of the proposed methods and the potential of comprehensive digital transformation in orthodontics. The developed technologies have been implemented in educational and clinical practice, improving diagnostic quality, treatment efficiency, and the digitalization of orthodontic care.

§ 20 июля 2026 г.

§ 2\*. , , ,

Тираж 100 экз. Заказ №74

"Принт-А"

, \* Остатовский проезд, д. 24