ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ПЕРВЫЙ МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ И.М. СЕЧЕНОВА МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ (СЕЧЕНОВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

На правах рукописи



Набахат Хамед

Влияние расположения прямых окклюзионных накладок на зубочелюстную систему при использовании брекет системы

3.1.7. Стоматология

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:
доктор медицинских наук, доцент
Локтионова Марина Владимировна

Москва – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ 20
1.1. Анализ частоты встречаемости дефектов зубочелюстной системы у детей и взрослых, с учетом возрастных особенностей 20
1.2. Типы и характеристики ортодонтических аппаратов, предназначенных для коррекции дистального прикуса 25
1.3. Эволюция адгезивных систем: от истоков до современности 37
1.3.1. Типология адгезионных материалов 40
1.3.2. Процесс адгезии к зубным структурам 42
1.3.3. Химический состав адгезивных систем 43
1.4. Заключение по Главе 1 53
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ 55
2.1. Дизайн исследования 55
2.2. Определение механических свойств стоматологических композиционных материалов 57
2.2.1. Статистический анализ результатов механических испытаний 63
2.3. Математическое моделирование с использованием конечно-элементного анализа 64
2.4. Оценка мышечного тонуса с помощью поверхностной электромиографии ... 69
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 71
3.1. Сравнительный анализ механических свойств полимерных композиционных материалов, использующихся при получении окклюзионных накладок 71
3.2. Оценка напряженно-деформированного состояния окклюзионных накладок при естественном сжатии челюстей 76
3.3. Влияние расположения окклюзионных накладок на результаты оценки мышечного тонуса 83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 87

ВЫВОДЫ 92
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ 94
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ 98
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 99

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Скелетная форма аномалии прикуса второго класса по Энглю относится к числу наиболее распространённых патологий зубочелюстной системы [27]. Высокая частота встречаемости данной аномалии в сочетании с прогрессирующим характером дисфункции височно-нижнечелюстного сустава и жевательных мышц обуславливает необходимость разработки эффективных и прецизионных алгоритмов коррекции. Фаза лечения пациентов с подобной патологией требует не только манипуляций по биомеханическому перемещению зубных групп, но и нормализации окклюзионных соотношений с совокупным восстановлением баланса мышечно-суставного комплекса. Традиционные ортодонтические подходы не всегда позволяют достичь стабильного результата, особенно у взрослых пациентов, что формирует потребность в совершенствовании лечебных алгоритмов и ортодонтических конструкций.

Одним из ключевых инструментов, используемых при лечении дистальной окклюзии, глубокой резцовой окклюзии и дефицита места во фронтальном отделе, являются окклюзионные накладки, позволяющие производить временное разобщение прикуса, устранять суперконтакты, создавать дополнительное пространство для перемещения зубных рядов.

В зависимости от клинической задачи накладки могут располагаться в разных отделах зубной дуги: на центральных резцах верхней челюсти, на премолярах или молярах нижней челюсти. Однако, как показывают современные исследования, эффективность накладок напрямую зависит не только от их расположения, но и от механических свойств материала, из которого они изготовлены, а также от характера перераспределения жевательной нагрузки в тканях пародонта и мышцах челюстно-лицевой области.

В настоящее время клиницист может выбрать один из двух основных подходов к созданию окклюзионных накладок: прямой (непосредственное моделирование из светоотверждаемого композита в полости рта) и лабораторный (3D-печать из фотополимерной смолы по данным цифрового сканирования). Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки, однако сравнительная оценка механических характеристик получаемых материалов до сих пор остаётся фрагментарной.

В реализованном исследовании проведён прямой сравнительный анализ двух типичных представителей: светоотверждаемого композита SM Light (прямой метод) и фотополимерной смолы Dental Sand Pro (лабораторный метод). Показано, что эти материалы обладают принципиально разным механическим поведением: Dental Sand Pro характеризуется более высоким пределом прочности на растяжение (36,95 МПа против 22,38 МПа) и примерно в 11 раз большей деформацией разрушения, что обеспечивает пластичность и устойчивость к внезапному хрупкому перелому, но может приводить к изменению геометрии накладки под нагрузкой. Напротив, SM Light имеет более высокий модуль Юнга (4,18 ГПа против 1,65 ГПа), что даёт жёсткость, но при этом склонен к хрупкому разрушению при достижении предельной нагрузки. Таким образом, выбор материала и метода изготовления является нетривиальной клинической задачей, требующей учёта индивидуальных окклюзионных сил и желаемого типа механического ответа.

Ключевой научной проблемой, на решение которой направлена настоящая диссертационная работа, является отсутствие целостной методологии, объединяющей три важнейших аспекта:

1) механические характеристики материала накладки;

2) распределение напряжений в системе «накладка–зуб–периодонт–кость» при физиологических жевательных нагрузках;

3) функциональные изменения в жевательных и височных мышцах при разных локализациях накладок.

В доступной литературе эти компоненты изучались изолированно. Так, в реализованном исследовании впервые с помощью конечно-элементного анализа

было показано, что при фиксации накладок в области первых моляров нижней челюсти (нагрузка 315 Н) локальные напряжения по Мизесу достигают 299,54 МПа, что в 32 раза превышает напряжения при расположении на премолярах (9,32 МПа), что указывает на наличие зоны концентрации напряжений и риск дефектообразования накладки в зоне контакта. Одновременно с этим данные поверхностной электромиографии свидетельствуют, что именно молярная локализация вызывает наиболее грубые нарушения нейромышечной координации: снижение симметрии височных мышц на 18,67% по сравнению с премолярной локализацией и ухудшение торсионного индекса. В то же время фиксация накладок на резцах (нагрузка 93 Н) сопровождается минимальными напряжениями (до 5,75 МПа) и сохранением интегрального показателя мышечного тонуса в пределах нормы. Однако до настоящего времени не существовало работы, которая бы на едином экспериментальном и расчётном материале связала воедино свойства материала, биомеханику напряжений и нейромышечную адаптацию.

Таким образом, актуальность настоящего исследования определяется необходимостью научного обоснования выбора материала и места фиксации окклюзионных накладок на основе комплексного анализа их механических характеристик, конечно-элементного моделирования напряжённо-деформированного состояния и оценки влияния на функциональное состояние жевательных и височных мышц. Полученные результаты позволят сформулировать практические рекомендации, направленные на повышение эффективности и безопасности ортодонтического лечения пациентов со скелетными аномалиями второго класса.

Степень разработанности темы исследования

К настоящему времени опубликован ряд работ, посвящённых применению окклюзионных накладок в ортодонтии (O’Brien K. et al., 2003 [162, 161]; Попова Н.В. и др., 2024 [76]; Supanich P. et al., 2025 [207]; Nguyen V.A. et al., 2025 [191]).

Исследованы общие аспекты механики композитов (Ferracane J.L., 2011 [164]; Braem M. et al., 1989 [185]) и возможности конечно-элементного анализа в стоматологии (Geng J.P. et al., 2001 [167]; Dejak B. et al., 2015 [159]; Xia Q. et al., 2024 [157]). Имеются данные о силе естественного сжатия челюстей (Regalo S.C.H. et al., 2008 [163]) и о применении электромиографии для оценки мышечного статуса (Фадеев Р.А. и др., 2017 [53]; Ferrario V.F. et al., 2000 [144]).

Однако, несмотря на широкое использование окклюзионных накладок, остаются недостаточно разработанными следующие аспекты:

- отсутствуют сравнительные количественные данные о механических свойствах материалов, получаемых прямым и лабораторным (3D-печать) методами, с применением современных методов (DIC);
- не проводилось комплексного конечно-элементного моделирования одновременно для трёх различных локализаций накладок (моляры, премоляры, резцы) с учётом реальных анатомических структур (периодонтальная связка, брекет-система);
- не изучено влияние расположения накладок на интегральные показатели нейромышечной координации (симметрия височных/жевательных мышц, торсионный индекс) с помощью поверхностной электромиографии;
- отсутствуют клинико-экспериментальные рекомендации, объединяющие механические характеристики материала, биомеханику напряжений и функциональное состояние мышц при выборе области фиксации накладок.

Таким образом, настоящее исследование восполняет указанные пробелы, предлагая комплексный подход к обоснованию выбора материала и расположения окклюзионных накладок.

Цель и задачи исследования

Цель исследования: Комплексное изучение влияния различных вариантов расположения прямых окклюзионных накладок на напряжённо-деформированное

и функциональное состояние зубочелюстной системы у пациентов с дистальным прикусом II класса, а также сравнительный анализ механических свойств используемых для накладок материалов.

Для реализации поставленной цели были сформированы следующие задачи:

1. Провести сравнительный анализ механических характеристик полимерных композитных материалов: стоматологического светоотверждаемого композита SM Light (прямой метод изготовления накладок) и фотополимерной смолы Dental Sand Pro (лабораторный метод). Оценить модуль Юнга, предел прочности при растяжении и относительную деформацию при разрыве образцов каждого материала.

2. Методом конечно-элементного анализа оценить напряжённо-деформированное состояние окклюзионных накладок и прилежащих тканей (зубы, периодонтальная связка, костная ткань) с учётом наличия брекет-системы при расположении накладок на центральных резцах верхней челюсти, первых премолярах и первых молярах нижней челюсти в условиях естественного сжатия.

3. Исследовать изменение показателей мышечного тонуса жевательных (нижнечелюстных) и височных мышц по данным поверхностной электромиографии (ПСЭМГ) при отсутствии накладок (контроль) и при фиксации накладок на центральные резцы верхней челюсти, первые премоляры и первые моляры нижней челюсти, определив индексы симметрии мышечной активности, торсионный индекс и интегральный показатель общего мышечного тонуса (IMPACT).

4. Сопоставить полученные электромиографические параметры между различными вариантами расположения накладок и выявить наиболее физиологичное распределение жевательной нагрузки.

5. Проанализировать связь между механическими свойствами накладок и их влиянием на функцию зубочелюстной системы, сформулировать рекомендации по оптимальному выбору материала и локализации накладок для коррекции дистального прикуса.

Для решения указанных задач запланированы экспериментальное, расчётное (конечно-элементное) и клиническое исследования.

Научная новизна

Проведён комплексный сравнительный анализ механических характеристик окклюзионных накладок, полученных прямым методом из светоотверждаемого композита (SM Light) и лабораторным методом 3D-печати из фотополимерной смолы (Dental Sand Pro). Установлено, что Dental Sand Pro обладает статистически значимо более высоким пределом прочности на растяжение (36,95 МПа против 22,38 МПа) и деформацией разрушения (0,065 против 0,006), в то время как SM Light характеризуется более высоким модулем Юнга (4,18 ГПа против 1,65 ГПа).

Впервые с использованием конечно-элементного анализа количественно оценены значения напряжений по Мизесу и смещения вдоль оси нагружения для трёх клинически значимых локализаций накладок. Выявлено, что фиксация накладок на первых молярах нижней челюсти при нагрузке 315 Н сопровождается возникновением локальных напряжений до 299,54 МПа, что в 32 раза выше, чем в области премоляров (9,32 МПа) (в рамках принятой расчётной модели).

На основе поверхностной электромиографии показано, что расположение окклюзионных накладок в области моляров приводит к наиболее грубым нарушениям нейромышечной координации (снижение симметрии височных мышц на 18,67% по сравнению с премолярной локализацией, ухудшение торсионного индекса), в то время как при фиксации на резцах интегральный показатель тонуса (IMPACT) остаётся в пределах физиологической нормы.

Обнаружен эффект «рабочей компенсации» – в отсутствие накладок в фазе нарастающего сжатия симметрия мышц возрастает в среднем на 19,66% по сравнению с состоянием покоя, что расширяет представления об адаптационных механизмах зубочелюстной системы.

Теоретическая и практическая значимость работы

Дополнены и систематизированы данные о механическом поведении двух классов полимерных композитов (светоотверждаемые и 3D-печатные) при растяжении, включая количественные значения модуля упругости, предела прочности, деформации разрушения и коэффициента Пуассона.

Разработана конечно-элементная модель зубочелюстной системы с учётом периодонтальной связки, брекет-системы и окклюзионных накладок, позволяющая выявлять зоны концентрации напряжений при различных вариантах расположения накладок.

Выявлена зависимость между расположением окклюзионной накладки, величиной жевательной нагрузки и характером нейромышечной адаптации, что вносит вклад в понимание патофизиологии окклюзионных нарушений.

Обоснован выбор предпочтительной области фиксации окклюзионных накладок – область первых премоляров нижней челюсти, где максимальные напряжения (9,32 МПа) многократно ниже предела прочности материалов накладок, что снижает риск их дефектообразования.

Показано, что фиксация накладок в области моляров требует особого контроля (учёт бруксизма, повышенного тонуса жевательных мышц) ввиду высокого риска разрушения композита и развития мышечной асимметрии.

Для клинической практики рекомендовано: при необходимости длительной окклюзионной коррекции у пациентов с мышечно-суставной дисфункцией следует избегать фиксации накладок в молярной области; наиболее безопасным является размещение на резцах верхней челюсти.

Полученные механические характеристики материалов могут использоваться для последующего конечно-элементного моделирования и выбора оптимального состава композита для конкретного клинического случая.

Методология и методы исследования

Диссертационная работа выполнена в рамках комплексного подхода, объединяющего три взаимодополняющих направления:

1) экспериментальное изучение механических свойств полимерных композиционных материалов, используемых для изготовления окклюзионных накладок;

2) конечно-элементное моделирование напряжённо-деформированного состояния зубочелюстной системы при различных вариантах расположения накладок;

3) клинико-функциональная оценка влияния позиционирования накладок на мышечный тонус методом поверхностной электромиографии.

1. Объекты исследования

Исследованы два типа полимерных композиционных материалов, применяемых для изготовления окклюзионных накладок:

- SM Light – светоотверждаемый рентгеноконтрастный композит (прямой метод изготовления), содержащий диметакрилатные олигомеры, наноразмерные частицы оксида кремния (5–20 нм) и модифицированное алюмосиликатное стекло;
- Dental Sand Pro (HARZ Labs) – фотополимерная композитная смола для 3D-печати (лабораторный метод изготовления).

Для реализации этапа конечно-элементного моделирования использованы данные компьютерной томографии реального пациента (взрослый пациент со скелетной аномалией второго класса). На основе этих данных построены 3D-модели зубочелюстной системы, включающие зубы, периодонтальную связку, костную ткань, брекет-систему и окклюзионные накладки.

Поверхностная электромиография проведена у 15 пациентов (возраст 18–35 лет) с верифицированной скелетной аномалией второго класса, глубокой резцовой окклюзией и дефицитом места во фронтальном отделе. Каждый пациент обследовался без накладок и при трёх вариантах их расположения. Критерии включения, невключения и исключения приведены в разделе 2.1.

2. Методы исследования

Механические испытания на растяжение с цифровой корреляцией изображений (DIC), позволяющей программно определять локальные деформации материала при его растяжении. Видеозапись процесса деформации и разрушения обрабатывалась в программном обеспечении с открытым исходным кодом *Ncorr* (размер корреляционного подмножества – 21 пиксель, шаг смещения – 3 пикселя).

Конечно-элементное моделирование (ANSYS). Построение 3D-моделей:

- Исходные данные: компьютерная томография реального пациента.
- Сегментация и построение панорамных 3D-моделей – программный пакет dentalmesh.ai.
- Моделирование периодонтальной связки (отступ 0,25 мм от поверхности зуба, разделение по профилю челюсти, получение оболочки вычитанием) – *Materialise Magics v22.03*.
- Компоновка моделей накладок (пересечение поверхностей накладок и зубов, вычитание геометрии зуба) – *Materialise Magics v22.03*.
- Моделирование брекет-системы (построение плоскости для дуг, создание траекторий из кривых Безье, протягивание круглого сечения диаметром 0,5 мм, компоновка брекетов) – *Компас 3D v22*.

Поверхностная электромиография (sEMG). Комплекс беспроводного мониторинга электрофизиологических сигналов «Колибри».

- Датчики располагались на жевательных и височных мышцах билатерально.
- Регистрация проводилась в двух функциональных состояниях.
- Тонус покоя (глаза открыты).
- Нарастающее сжатие челюстей (пациент постепенно увеличивал усилие сжатия до максимального комфортного).

Анализируемые параметры:

- Симметрия височных мышц (%).
- Симметрия жевательных мышц (%).

- Торсионный индекс (%).
- Интегральный показатель общего мышечного тонуса (IMPACT, мкВ).

3. Статистический анализ

- Формирование описательной статистики (M ± SD) для механических и электромиографических показателей.
- Проверка нормальности распределения (критерий Шапиро–Уилка).
- Проверка равенства дисперсий – критерий Ливиня (Levene’s test).
- Использование t-критерия для независимых выборок (механические испытания).

Положения, выносимые на защиту

Материалы для окклюзионных накладок, получаемые разными методами (прямым – SM Light и лабораторным – Dental Sand Pro), обладают статистически значимыми различиями механических свойств: Dental Sand Pro имеет в 1,65 раза более высокий предел прочности на растяжение и в 11 раз большую деформацию разрушения, тогда как SM Light характеризуется в 2,53 раза более высоким модулем Юнга.

Величина напряжений по Мизесу в окклюзионных накладках и прилежащих тканях критически зависит от области фиксации: при расположении на первых молярах нижней челюсти (нагрузка 315 Н) локальные пиковые напряжения в зоне контакта достигают 299,54 МПа, что превышает предел прочности большинства композитов и указывает на риск дефектообразования накладки; в области премоляров (нагрузка 262 Н) напряжения не превышают 9,32 МПа; на центральных резцах (93 Н) – 5,75 МПа.

Окклюзионные накладки, установленные в области моляров, оказывают самое сильное воздействие на нейромышечную координацию, что проявляется в снижении симметрии височных и жевательных мышц, а также в ухудшении торсионного индекса, процентное снижение которого по сравнению с премолярной

локализацией может достигать 8,66%. При фиксации накладок на премолярах результаты могут быть неоднозначными: некоторые пациенты отмечают улучшение, другие – нет. Фиксации накладок в области резцов верхней челюсти соответствовало сохранение интегрального показателя тонуса (IMPACT), что свидетельствовало о нормальном уровне мышечной активности.

Клинически предпочтительной областью фиксации окклюзионных накладок с позиции минимизации механического разрушения и сохранения нейромышечного баланса являются первые премоляры нижней челюсти; фиксация на молярах должна проводиться с осторожностью, а на резцах – является наиболее безопасной.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Научные положения диссертации соответствуют пунктам 6, 8 и 10 паспорта научной специальности 3.1.7. Стоматология:

п. 6. Разработка и обоснование новых клинико-технологических методов в ортодонтии и ортопедической стоматологии;

п. 8. Экспериментальные исследования по изучению этиологии, патогенеза, лечения и профилактики основных стоматологических заболеваний;

п. 10. Разработка цифровых технологий в стоматологии.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность результатов настоящего исследования обеспечивается комплексом методологических подходов, включающих корректное планирование эксперимента, применение современных высокоточных методов измерения, воспроизводимость полученных данных и адекватную статистическую обработку результатов.

В работе использован комплекс взаимодополняющих методов исследования: механические испытания на растяжение с применением метода цифровой корреляции изображений (DIC), позволяющего с высокой точностью определять локальные деформации материалов; конечно-элементное моделирование в программной среде ANSYS 2026 R1, обеспечивающее неинвазивную оценку напряженно-деформированного состояния конструкции; а также поверхностная электромиография с использованием комплекса беспроводного мониторинга электрофизиологических сигналов «Колибри». Применение каждого из указанных методов соответствует современным стандартам проведения подобных исследований и обеспечивает высокую точность получаемых данных.

Механические испытания проведены на 4 образцах каждого из исследуемых материалов. Эксперименты выполнялись при строго контролируемых условиях: постоянная скорость перемещения траверсы (1 мм/мин), фиксированная величина преднагрузки (1 кгс ≈ 10 Н), стандартизированные протоколы изготовления образцов как прямым, так и лабораторным методами. Конечно-элементный анализ выполнен на высокодетализированной модели, содержащей более 102 миллионов элементов и 18,6 миллиона узлов, что обеспечивало высокую детализацию геометрии. Ограничения расчётной модели рассмотрены в разделе 3.2. Электромиографическое исследование охватило 15 пациентов в возрасте от 18 до 35 лет с четко сформулированными критериями включения.

Статистический анализ механических характеристик проведен с использованием t-критерия для независимых выборок при уровне значимости 0,05 в программном пакете IBM SPSS Statistics 25. Для соблюдения допущений теста выполнялась проверка равенства дисперсий с использованием критерия Ливиня (Levene's Test for Equality of Variances). Статистически значимые различия выявлены по всем сравниваемым механическим параметрам: модулю Юнга (p-value = 0,043), пределу прочности (p-value = 0,022) и деформации разрушения (p-value = 0,016). Полученные значения доверительных интервалов подтверждают надежность оценок средних величин.

Важным аспектом достоверности является согласованность данных, полученных различными методами. Так, результаты механических испытаний, определившие модуль Юнга Dental Sand Pro как 1,65 ГПа, были напрямую использованы в конечно-элементной модели в качестве входных параметров, что обеспечивает единство методологической базы. Электромиографические данные, в свою очередь, подтверждают клиническую значимость дифференцированного подхода к выбору области позиционирования окклюзионных накладок.

Таким образом, совокупность использованных методов, достаточный объем выборок, корректная статистическая обработка и согласованность результатов между различными экспериментальными подходами обеспечивают высокую степень достоверности полученных в работе результатов и обоснованность сформулированных выводов.

Основные результаты исследовательской работы представлены в качестве устных докладов, а также опубликованы в сборниках тезисов следующих конференций:

1. Межвузовская конференция с международным участием «Актуальные вопросы стоматологии» (Москва, 6 ноября 2025 г.).

2. IV Всероссийская (с международным участием) научно-практическая конференция «Здоровье и безопасность человека как фактор устойчивого развития цифрового общества» (Елец, 27 июня 2025 г.).

3. Всероссийская научно-практическая конференция молодых учёных с международным участием «Актуальные вопросы стоматологии» (Москва, 15 апреля 2026 г.).

Личный вклад автора

Личное участие автора заключается в обосновании актуальности исследования, изучении проблематики, анализе литературных источников по тематике исследования, формировании целей и задач исследования.

Автором настоящей диссертационной работы был сформирован дизайн исследования, включающий в себя одну группу пациентов численностью 15 человек, для которой был проведен этап анкетирования и сбора анамнеза. Автор проводил самостоятельное ортодонтическое лечение пациентов, а также все сопутствующие диагностические мероприятия.

Оценка напряженно-деформированного состояния накладок с помощью конечно-элементного анализа также выполнялась автором настоящего исследования, для чего автор самостоятельно освоил программную среду конечно-элементного анализа ANSYS 2026 R1.

Набахат Хамед самостоятельно реализовал стадию определения механических свойств, а также статистического анализа полученных результатов в программной среде IBM SPSS Statistics.

В результате проведенных операций автором были сформированы основные выводы, а также положения, выносимые на защиту.

Публикации по теме диссертации

По теме диссертации опубликовано 8 работ, в том числе 3 научные статьи в журналах, включенных в Перечень ВАК при Минобрнауки России, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, 1 патент, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, 3 публикации в сборниках материалов международных и всероссийских научных конференций.

Внедрение результатов исследования

Основные научные положения, выводы и практические рекомендации диссертации Набахат Хамеда на тему «Влияние расположения окклюзионных накладок на зубочелюстную систему при использовании брекет системы»

внедрены в лечебный процесс отделения детской стоматологии и ортодонтии Института стоматологии имени Е.В. Боровского ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), а также внедрены в учебный процесс кафедры ортодонтии и профилактики стоматологических заболеваний Института стоматологии имени Е.В. Боровского ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) при изучении дисциплины «Ортодонтия» для студентов по направлению подготовки 31.05.03 Стоматология.

Структура и объем диссертации

Диссертация изложена на 125 страницах, состоит из введения, литературного обзора, описания материала и методов исследований, результатов собственных исследований в количестве 1 главы, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы. Работа содержит 7 таблиц, 21 рисунок, 1 формулу. Список литературы включает 217 источников.

Благодарности

Набахат Х. выражает благодарность научному руководителю диссертационной работы, профессору Локтионовой М.В. (д.м.н.), за ценные наставления, консультации и помощь в процессе написания настоящей научно-исследовательской работы. Особая признательность выражается за активную поддержку в ходе проведения научных исследований в рамках Института стоматологии имени Е.В. Боровского ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). Автор благодарит А.С. Утюжа, доктора медицинских наук, профессора, руководителя кафедры ортопедической стоматологии ФГБНУ «Национальный исследовательский

институт общественного здоровья имени Н.А. Семашко» за ценный вклад в научную работу, а именно, содействие в написании статей и тезисов для научных мероприятий.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Анализ частоты встречаемости дефектов зубочелюстной системы у детей и взрослых, с учетом возрастных особенностей

Стоматология сегодня уделяет особое внимание профилактике и лечению аномалий зубочелюстно-лицевой области. Несмотря на многочисленные научные исследования, эта проблема продолжает оставаться актуальной. Хотя методы лечения уже известны, их практическое применение сталкивается с рядом трудностей [1, 2, 3, 10, 12, 13, 14, 15, 21, 32, 37, 41, 44, 54, 55, 59, 68, 78, 84, 86, 87, 99, 105, 108, 109, 110, 125].

Эпидемиологические данные показывают, что данная патология проявляет себя с разной интенсивностью, ее распространение может составлять от 25% до 85%, при этом наблюдается зависимость от региона проживания и возрастной группы больных [11, 16, 17, 22, 24, 26, 35, 66, 83, 111, 112, 116, 117, 128, 136].

Ортодонтия, как медицинская дисциплина, уделяет особое внимание профилактике и лечению аномалий челюстно-лицевой области. Эти аномалии могут негативно сказываться на работе важных систем организма, таких как дыхательная, пищеварительная, речевая, а также на внешнем виде лица [28, 43, 52, 94, 97, 98, 138]. Важно отметить, что даже после успешного ортодонтического лечения существует риск рецидива, который может быть вызван различными причинами.

В современной стоматологии наблюдается значительная проблема, требующая внимания. Ортодонтия не может развиваться с дифференцированным подходом из-за отсутствия единой методики диагностики и регистрации зубных аномалий. Кроме того, отсутствие унифицированных критериев диагностики заболеваний затрудняет их анализ [9, 10, 100, 103, 119, 135].

Исследования, проведенные в Европе, свидетельствуют о том, что около 68% детей страдают от патологий прикуса (по данным ВОЗ за 1982 год). В России же

потребность детей и подростков в ортодонтическом лечении колеблется в пределах 30–50%, как указывается в различных исследованиях [19, 85, 96].

Более чем три четверти взрослых жителей Волгограда, посетивших стоматологические клиники, страдают от нарушений прикуса. Наиболее частыми видами таких проблем являются дистальная окклюзия (примерно каждый пятый пациент), глубокий прикус (около 14%) и перекрестный прикус (менее 5%). У 7,6% людей выявлен открытый прикус. Кроме того, у 16% респондентов обнаружены аномалии или деформации зубного ряда, а у 4,2% – патологии отдельных зубов. У 8,2% исследуемых пациентов выявлен синдром Попова-Годона, а у большинства (69%) – дефекты зубных рядов [25, 47, 65, 82, 89]. Нарушения в работе височно-нижнечелюстного сустава были зафиксированы у 9,4% участников исследования [80].

Исследования разных ученых показывают, что дистальная окклюзия и другие нарушения прикуса, а также проблемы с краниомандибулярной системой встречаются довольно часто у людей разных возрастов [30, 33, 34, 45, 77].

Согласно исследованиям Липольда и его коллег (2003), проблемы с прикусом встречаются у 58% дошкольников. В то же время дисфункции височно-нижнечелюстного сустава диагностируются у значительной части взрослых, от 14 до 40%.

Московские исследования 2008 года показали, что зубочелюстные аномалии встречаются у 65-65,7% жителей региона. Эстетический индекс DAI достигал 70,8%. Среди школьников 7,8% требовали неотложного ортодонтического лечения, еще 19% получили рекомендацию к нему, в то время как для 58% оно не считалось необходимым [8, 48].

В Архангельской области 66,9% детей страдают ЗЧА [113, 140]. Исследователь С.В. Аверьянов (2015, 2016) отмечает, что среди молодежи Уфы (16-22 года) распространенность аномалий зубов и челюстей достигает 83,12%, причем тяжесть этих нарушений оказывает существенное влияние на качество жизни молодых людей [4, 5, 9, 40, 50, 58, 67, 73, 95, 131].

Дети, посещающие интернаты, демонстрируют более частые случаи развития ЗЧА в сравнении с их сверстниками из обычных школ. Этот факт наглядно подтверждается показателями дентального эстетического индекса DAI. Ввиду своей практической значимости, данный индекс рекомендуется для использования в клинической практике, что существенно упрощает выявление пациентов, которым необходима срочная ортодонтическая помощь [19, 96, 114, 124].

Ортодонтическое лечение требуется от 30% до 86% детей, как показывают различные исследования. Исследование зубочелюстной системы у 600 детей в возрасте от 6 до 15 лет в городе Лянтор показало, что проблема ЗЧА встречается у 37% шестилетних и у 93,5% детей старшего возраста [60].

Согласно исследованиям Р.А. Фадеева, опубликованным в 2020 году, открытый прикус диагностируется у 2,66% людей, тогда как глубокий прикус встречается значительно чаще – у 17,43% пациентов. В случае с открытым прикусом, нижняя челюсть обычно располагается в центральной позиции относительно ВНЧС, в то время как при глубоком прикусе она смещается вперед и вниз [134].

Исследование зубов и челюстей детей в хабаровской школе показало, что аномалии встречаются у 35,57% учеников 6-7 лет, 52,95% – 12-летних и 38,71% – 15-летних. У младших (6-7 лет) чаще наблюдались нарушения вертикального и трансверсального положения зубов, у старших (12 и 15 лет) - скученность или промежутки в переднем отделе зубного ряда. В группе детей, достигших 12 лет, наблюдалась декомпенсированная стадия кариеса, в то время как у ребят, не имеющих ЗЧА, кариес протекал в компенсированном состоянии, согласно данным исследования [23].

Анализ, охвативший детей в возрасте 6-18 лет Минской области, независимо от их проживания в городах или селах, выявил среднюю распространенность ЗЧА на уровне 62,65% с отклонением ±1,79%. Важно отметить, что у городских детей этот показатель ниже, чем у сельских (58,39% против 69,85%). Наибольшая концентрация аномалий была зафиксирована у детей в возрасте 9-12 лет (68,29%

±2,97%). В городских условиях этот показатель составляет 62,0% с отклонением ±3,94%, тогда как в сельских районах – 79,79% с отклонением ±4,14% [62].

В ходе исследования 600 детей из Могилевской области, охватывающего как сельские, так и городские районы, установлено, что ЗЧА наблюдается у 42,67% (с отклонением ±2,02%). Исследование показало, что дети в возрасте 7-8 лет демонстрируют наибольшую частоту аномалий (49,0%, ±3,53%). С возрастом и сменой зубов, когда формируется постоянный прикус, эта цифра снижается до 42% [129].

Исследование, проведенное в Самаре, охватило 100 молодых людей в возрасте 16-25 лет. Целью было оценить распространенность ЗЧА, а также выяснить уровень удовлетворенности ими своим состоянием зубов и готовность к ортодонтическому лечению. Результаты показали, что 80% участников исследования испытывали недовольство своим прикусом, однако лишь 60% знали о возможности исправления стоматологических аномалий с помощью ортодонтии. При этом у 70% респондентов наблюдалась готовность к проведению ортодонтического лечения, в то время как 68% имели различные нарушения прикуса или положения зубов. Дистальный прикус был наиболее распространенной аномалией, как показано в исследовании [74, 79].

В Самарской области среди подростков в возрасте от 12 до 14 лет физиологическую окклюзию без признаков ЗЧА наблюдали лишь у каждого пятого. Остальные демонстрировали нейтральный прикус, часто сопровождающийся отклонениями в расположении зубов (43,5%), дистальный прикус (29,1%) или мезиальный (5,9%) [57].

По мнению С.Н. Гонтарева (2011), к десяти-одиннадцати годам ортодонтические проблемы достигают 80% у детей. В этом возрасте необходима помощь ортодонта, поскольку состояние зубов и челюсти имеет огромное значение для качества жизни и может существенно повлиять на будущее человека [39].

По данным Аверьянова и Зубаревой (2018), распространенность ЗЧА среди студентов Уфы достигает 83,12 процента. Исследователи отмечают, что в большинстве случаев наблюдаются комбинированные дефекты [6].

Анализ распространенности ЗЧА у детей Минска в возрасте от 6 до 16 лет показал, что этот диагноз встречается у 77,69% опрошенных. Самым частым видом ЗЧА является дистальный прикус, диагностируемый у 58,14% детей [115].

Закарпатская область характеризуется высокой распространенностью ЗЧА, которая достигает 77%. Среди пациентов с этой аномалией 47% страдают от проблем с прикусом. Наименьшая встречаемость ЗЧА наблюдается у детей со сменным прикусом (62%) [75].

Статистические данные по Белгороду показывают, что аномалии зубочелюстной системы встречаются у 58,99% населения. Самая низкая доля таких аномалий (42,28%) наблюдается в период временного прикуса. С переходом к сменному прикусу этот показатель увеличивается до 64,30%, после чего, при формировании постоянного прикуса, отмечается тенденция к снижению [39].

Исследование девушек из Саратовской области в возрасте 17-19 лет показало, что у 58,6% из них обнаружены отклонения в окклюзии. Средний показатель КПУ составил 5,30±0,27. В этом возрастном диапазоне отмечается тенденция к увеличению числа сочетанных аномалий. У пациентов с перенесенными острыми респираторными инфекциями за год интенсивность кариеса оказалась выше. Кроме того, неблагоприятная экологическая обстановка коррелирует с более выраженными изменениями в зубочелюстной системе [20, 29, 90].

В Уфе у более чем 62% студентов выявлены нарушения зубочелюстной системы. Приблизительно в 38% случаев диагностировались сложные аномалии, затрагивающие несколько зубов или челюстей. 27,3% студентов имели проблемы с окклюзией, из которых 42,9% страдали дистальной окклюзией [7].

В ходе исследования, проведенного среди детей Дальнего Востока, приняли участие представители двух этнических групп: русские и нанайцы. Анализ показал, что процент детей с ЗЧА в обеих группах близок: 57,8% у русских и 56,6% у нанайцев. Несмотря на это наблюдается схожая тенденция в распределении различных аномалий прикуса. У 18% русских и 7,4% нанайцев диагностирован

глубокий прикус, тогда как дистальный прикус преобладает у русских (22,9%) по сравнению с нанайцами (15,4%) [116, 122].

Исследования показывают, что успешность саморегуляции проблем с зубочелюстной системой зависит не только от наличия сопутствующих болезней в других системах организма (например, опорно-двигательной или дыхательной), но и от внутренних резервов самой зубочелюстной системы, ее способности к самовосстановлению [38, 42, 46, 49, 51, 56, 63, 72, 92, 107, 127, 133, 137].

Возникновение зубочелюстных аномалий – это сложный процесс, который обусловлен множеством факторов. К ним относятся не только генетическая предрасположенность, состояние здоровья родителей и самого ребенка, но и влияние внешней среды, а также своевременность получения медицинской и социальной поддержки для нормального развития организма. Исследования подтверждают эту многофакторную природу возникновения таких аномалий [31, 36, 62, 69, 74, 104, 123, 130].

1.2. Типы и характеристики ортодонтических аппаратов, предназначенных для коррекции дистального прикуса

Ортодонтия располагает разнообразием устройств, направленных на исправление дистальной окклюзии. Эти устройства делятся на механические, функциональные (включающие функционально-направляющие и функционально-действующие типы) и комбинированные, исходя из принципов их работы [102, 198]. История функциональных аппаратов началась с разработок Нормана Кингсли в 1879 году, когда были созданы конструкции, позволяющие регулировать положение нижней челюсти путем ее выдвижения. Кингсли-пластина, использующая крепления на молярах, стала прообразом современных устройств, которые включают в себя вестибулярную дугу и накусочную площадку. Кингсли считал, что ключевым моментом в лечении является не сдвиг нижних зубов вперед, а выравнивание нижней челюсти, если она смещена назад [139].

В своей работе Эдвард Энгль (1855–1930) использовал технику, основанную на двух блокирующих кольцах, фиксируемых на верхних и нижних зубах. Такая конструкция обеспечивала возможность смещения нижней челюсти в переднюю позицию [139].

В 1883 году Вильгельм Ру начал исследовать связь между естественными силами, функцией и анатомией зубочелюстной системы [139]. Его исследования, как считается, заложили фундамент для ортопедии и функциональной стоматологии. Карл Гойпль, продолжая эту линию мысли, создал модель функциональных систем, где особое значение придавалось орофациальным мышцам.

История использования функциональных ортопедических аппаратов в лечении прикуса началась с Пьера Робена в 1902 году. Его аппарат, воздействуя на мышцы, изменял положение челюстей. Моноблок Робена представлял собой усовершенствованную версию съемного аппарата Кингсли, предназначенного для верхнечелюстной области. Робен создал свой моноблок, чтобы помочь детям с врожденными аномалиями челюстно-лицевой системы, которые характеризуются тремя основными клиническими признаками [139]:

- аномалия развития нижней челюсти;
- глоссоптоз – западение (смещение кзади и книзу) языка;
- расщелина нёба.

Данный симптомокомплекс известен как синдром (последовательность) Пьера Робена.

В 1909 году Вигго Андрезен, известный ортодонт, решил испытать съемный ретейнер Хаулея на своей дочери перед ее летним отдыхом. Аппарат был установлен на верхней челюсти, а для коррекции положения нижней челюсти использовалась дуга, которая сдвигала ее вперед на несколько миллиметров [187].

Карл Гойпль, профессор университета, в 1930-х годах проявил большой интерес к аппарату Андрезена и стал его последователем. Он активно пропагандировал «норвежскую систему» ортодонтии, разработанную совместно с Андрезеном. Открытия Оппенгейма о возможном повреждении тканей от сильных

ортодонтических сил несъемных аппаратов лишь подтвердили теорию Гойпля. Впоследствии аппарат Андрезена-Гойпля завоевал популярность у европейских стоматологов. Среди его достоинств можно выделить:

- лечение может быть успешным как при раннем, так и при позднем сменном прикусе;
- врачебные осмотры рекомендуется проводить каждые два месяца;
- носить аппарат исключительно в ночное время – это эстетично и гигиенично;
- данное устройство способствует отказу от вредных привычек, устраняет ротовое дыхание и восстанавливает нормальную работу языка.

Среди его минусов следует отметить:

- достижение успеха обусловлено сотрудничеством с пациентом;
- активатор может быть неэффективным в случаях с сильно скученными зубами, что ограничивает его применение для всех пациентов;
- эффективность аппарата снижается в период постоянного прикуса;
- управление силами, оказывающими воздействие на каждый отдельный зуб, не может быть таким же точным, как при использовании несъемных ортодонтических аппаратов.

В 1957 году Рольф Френкель выдвинул идею регуляторной функции, которая, по его мнению, может эффективно лечить заболевания, восстанавливая естественную форму и функцию мышц. Для этого он разработал съемный двухчелюстной аппарат, состоящий из металлической рамы, щечных пластин и губных пелотов [139, 165, 184].

Френкель определяет регулятор функций как устройство, использующее ортопедические подходы для проведения лечебных упражнений. Ключевым моментом в его работе является стимулирование мышц лица и шеи, что, по мнению автора, способствует правильному развитию костной ткани. В зависимости от того, как сконструирован аппарат и где он применяется, регуляторы функций делятся на

четыре типа, каждый из которых специализируется на лечении определенных заболеваний.

Многочисленные исследования изучали влияние аппарата Френкеля на кости верхней челюсти у пациентов с дистальной окклюзией. Большинство из них не обнаружили значительных изменений в ее положении. Однако исследования Ghafari и его команды [171] предполагают, что данный аппарат, регулирующий функциональную активность, может замедлять рост верхней челюсти [139].

Гистологические научно-исследовательские работы, выполненные Петровцем [197] и Макнамарой [188] с использованием лабораторных животных, выявили существенный рост клеточной активности во время выдвижения нижней челюсти. Ранее подобные исследования были проведены на людях с целью определения способности регулятора функции стимулировать рост нижней челюсти, однако результаты оказались неоднозначными [139]. Исследование Перилло и коллег [196] показало увеличение роста нижней челюсти у пациентов, проходящих лечение аппаратом Френкеля. Однако результаты других исследований [158] не подтверждают эту гипотезу.

В 1977 году Уильям Дж. Кларк создал аппарат Твин Блок, который представлял собой логичное развитие функциональных ортодонтических устройств. Его конструкция, состоящая из двух отдельных блоков для верхней и нижней челюсти, отражала естественную анатомическую организацию.

Считается, что аппарат Твин Блок может быть более эффективным в лечении благодаря своей удобной конструкции, компактному размеру и минимальному воздействию на речь пациента [186, 213].

Твин-блок, являющийся стандартной конструкцией, включает окклюзионные блоки с наклонными гранями. Угол наклона контактирующих поверхностей верхнего и нижнего блоков составляет 70 градусов. Механизм лечения с использованием парных блоков предполагает, что наклонные окклюзионные поверхности выполняют роль функционального элемента [154]. Дистальный наклон нижней челюсти по отношению к верхней приводит к тому, что силы, действующие на зубы нижней челюсти, ориентируются в дистальном

направлении [139]. Такая ситуация может нарушить естественный процесс развития челюсти. Однако сдвиг нижней челюсти стимулирует положительную реакцию мышц жевательного аппарата. Эта реакция, в свою очередь, способствует адаптивному развитию лицевого скелета, помогая ему приспособиться к новому расположению челюстей.

Аппарат Твин Блок рассчитан на круглосуточное ношение для полного раскрытия его функциональных возможностей, которые воздействуют на зубные ряды, в том числе на силу жевания [139]. Ключевой период для успешной адаптации пациента и достижения максимальной эффективности взаимодействия с аппаратом – это первые дни после установки. Отличительной особенностью Твин Блока является возможность его надежной фиксации на зубах. Благодаря временной фиксации, аппарат Твин Блок обеспечивает круглосуточное ношение с первого дня использования, что способствует быстрому и эффективному взаимодействию с пациентом. Через две недели адаптационный период заканчивается, и пациент может снять устройство. К этому времени он уже привык к аппарату и ощущает его как неотъемлемую часть своей жизни, предпочитая его ношению без него.

Исследование О'Брайена и его коллег не выявило существенных скелетных деформаций. Авторы предположили, что коррекция сагиттального несоответствия в основном достигнута за счет модификации зубного ряда и альвеолы [139, 161]. Исследования подтвердили, что раннее применение аппаратов Твин Блок эффективно сокращает сагиттальную щель, нормализует положение моляров и снижает степень аномалии. Таким образом, исследователи пришли к выводу, что ключевым фактором успеха лечения являются именно зубоальвеолярные изменения. Основная часть корректировок связана с зубочелюстными изменениями, хотя в отдельных ситуациях благоприятные скелетные модификации также могли сыграть роль. Авторы считают, что незначительные изменения скелета не имеют клинического значения.

Работа Баччетти и его команды выявила, что скелетные коррективы оказывают более значительное воздействие на прикус, чем изменения в области

зубов и альвеол. Исследователи отметили, что максимальный эффект от ортодонтического лечения наблюдается во время периода активного роста. При этом нижняя челюсть демонстрировала наибольшую реакцию на лечение, в отличие от верхней челюсти, которая оставалась неизменной [215]. Применение аппарата Твин Блок в период активного роста или непосредственно после него показывает значительно более высокую эффективность по сравнению с традиционными методами лечения. Среди преимуществ данного метода выделяются: лучшая коррекция положения зубов, увеличение размера нижней челюсти и ее ветвей, а также изменение направления роста мыщелков. Эта последняя особенность способствует росту нижней челюсти и предотвращает ее передний наклон, что приводит к более выраженным изменениям скелета. Определение биологической зрелости скелета играет решающую роль в успешном применении функциональных аппаратов у пациентов [139, 170]. Ведь эти устройства предназначены для сдерживания роста верхней челюсти и одновременной стимуляции роста нижней челюсти.

Последние исследования показывают, что аппараты функционального действия могут быть эффективно использованы для коррекции после завершения роста нижней челюсти. Панчерц [193] разработал инновационный подход к лечению дистальной окклюзии с помощью аппаратов, стимулирующих выдвижение нижней челюсти. Эта концепция предполагает возможность адаптивной терапии роста даже у взрослых старше 20 лет, потенциально исключая необходимость хирургического вмешательства, особенно при легких сагиттальных аномалиях. Успех этого лечения обусловлен комплексным воздействием на зубоальвеолярные структуры, скелет и ремоделирование ВНЧС.

Исследования Бехрентса [148] показали, что развитие черепа и лица может сохраняться на протяжении длительного периода, превышающего 30 лет.

Височно-нижнечелюстной сустав, состоящий из головки мыщелка и суставной ямки, соединяет их с помощью суставного диска, который движется вместе с мыщелком при открытии и закрытии рта. Точная диагностика всех структур ВНЧС является ключевым этапом в диагностике и разработке

ортодонтического плана лечения, так как любые смещения или сращения диска могут нарушить его нормальную работу [18, 139, 160]. Ранее считалось, что ортодонтическое лечение может привести к проблемам с ВНЧС, но современные исследования опровергли эту связь. До появления МРТ диагностика ВНЧС представляла собой сложную процедуру, требующую инвазивных методов, таких как артрография и артроскопия, для изучения состояния суставного диска.

Последние научные исследования показали, что функциональные аппараты во время лечения приводят к преимущественно переднему положению головки нижней челюсти в суставной ямке. Это сопровождается частичным изменением анатомических структур височно-нижнечелюстного сустава.

Исследования, направленные на применение функциональных аппаратов в лечении ВНЧС, демонстрируют уменьшение позадисуставного пространства после курса терапии. Однако другие исследования, такие как работа Аль-Салека и коллег [153], не выявили явного влияния этих устройств на анатомические структуры ВНЧС, особенно в отношении дистальной окклюзии. Результаты, касающиеся костной перестройки, положения мыщелков и дисков, остаются спорными и требуют дальнейшего изучения [139].

Последние исследования, проведенные с помощью МРТ, показывают, что аппараты, предназначенные для выдвижения нижней челюсти, не являются причиной развития хронических заболеваний ВНЧС. Они также не приводят к смещению суставного диска от его обычного положения. Более того, некоторые исследования предполагают, что эти аппараты могут быть использованы в терапевтических целях для пациентов с легким передним смещением диска [139, 200].

Полагают, что в процессе адаптации наблюдаются следующие трансформации [139, 145]:

- изменение формы мыщелкового отростка нижней челюсти;
- модификация формы суставной впадины;
- сдвиг мыщелка относительно суставной поверхности.

В ходе многочисленных исследований были выдвинуты различные теории, объясняющие рост мыщелков. Среди них особое внимание привлекает генетическая теория, которая связывает этот процесс с сильным генетическим влиянием, аналогичным генетическому контролю роста эпифизарных хрящей длинных трубчатых костей. Эта гипотеза, в свою очередь, поднимает вопросы о действенности ортопедических методов, направленных на стимуляцию роста мыщелков. Долгосрочные исследования показали, что выдвижение и удержание нижней челюсти в переднем положении не приводят к существенным изменениям в росте мыщелка, несмотря на первоначальную положительную динамику. Результаты этих исследований свидетельствуют о сохранении стабильного размера мыщелка в течение длительного времени [139, 178].

Согласно второй теории, гиперактивность латеральных крыловидных мышц может быть причиной увеличения мыщелков.

Согласно теории функциональной матрицы (третий подход к пониманию роста костей), решающую роль играют не костные структуры, а мягкие ткани, тесно взаимодействующие с ними [188].

Для предупреждения вредных привычек у детей дошкольного возраста (от 3 до 6 лет) используется метод, основанный на вестибулярных пластинках, разработанных Э. Шонхерром в середине XX века [139]. Изначально существовало три вида этих пластинок, которые получили широкое распространение в Восточной Европе. Западная Европа познакомилась с ними лишь в 1974 году, когда Р. Хинц организовал их переиздание, что привело к росту популярности методики во всем мире. Эффективность вестибулярных пластинок стала ключевым фактором их всемирного признания.

Вестибулярные пластинки оказывают положительное влияние на развитие речи, исправляя имеющиеся нарушения. Благодаря им восстанавливается нормальное функционирование языковых мышц, предотвращается дыхание ртом, а также устраняются вредные привычки, например, сосание пальцев, языка или пустышки. Пластинки также играют важную роль в укреплении мускулатуры лица,

что делает их ценным инструментом в логопедической практике для коррекции разнообразных речевых проблем.

Использование пластинок, оснащенных динамическими элементами, такими как бусинка для языка, способствует тренировке артикуляционных мышц [132, 139].

Вестибулярные пластинки имеют ряд достоинств, среди которых [139]:

- легкость и доступная стоимость производства;
- доступность для детей с самого юного возраста;
- отсутствие лабораторного этапа изготовления;
- лечение, не сопровождающееся болью;
- легкость обслуживания устройства;
- минимальное давление на зубную дугу.

Вестибулярные пластинки имеют ряд недостатков, главным из которых является ограниченность сферы применения. Их эффективность уступает другим функциональным аппаратам, и они подходят лишь для лечения легких окклюзионных аномалий. Кроме того, влияние пластинок на орально-лицевые мышцы не так сильно, как у преортодонтических трейнеров или активаторов.

В 1990 году профессор Л.С. Персин создал аппарат Персина, предназначенный для коррекции дистальной окклюзии у детей. Устройство, разработанное на базе кафедры детской стоматологии МГМСУ, относится к межчелюстным комбинированным аппаратам и включает пелот для оттягивания нижней губы. Во время смыкания зубов активная проволочная конструкция стимулирует выдвижение нижней челюсти, что в свою очередь способствует ее росту. Аппарат Персина прост в использовании и может применяться в любое время суток, при ежедневном режиме не менее 12-14 часов. Этот аппарат эффективно восстанавливает нормальную работу мышц лица и челюсти, помогая избавиться от вредных привычек. Во время повседневных действий, таких как жевание или разговор, аппарат Персина обеспечивает равномерное распределение нагрузки, что благотворно сказывается на состоянии мышц, губ и щек. Этот механизм также препятствует сосанию и прикусыванию нижней губы, не давая им

контактировать с языком. Такая модификация функционирования языка положительно сказывается на процессе дыхания и глотания [81, 102, 139].

Традиционные ортодонтические аппараты имеют ряд недостатков: они громоздки, не всегда эффективно выравнивают зубы, используют жесткие материалы (например, акрил) и требуют снятия слепков для изготовления в лаборатории. В ответ на эти ограничения были разработаны преортодонтические трейнеры. Они работают на основе принципов миофункциональной терапии и предназначены для контроля прорезывания зубов во время смены прикуса, а также для коррекции мышечной функции [88, 121, 139].

Френкель считал, что своевременное устранение проблем с работой мышц лица и рта имеет решающее значение для правильного формирования зубных рядов и окружающих тканей. Раннее вмешательство во время смены молочных зубов открывает больше возможностей для эффективного лечения и уменьшает риск необходимости в сложной ортодонтии, например, удалении постоянных зубов или ортогнатических операциях. Кроме того, такие методы лечения оказываются более простыми и доступными по стоимости. Важно отметить, что миофункциональные трейнеры не являются универсальным решением для всех клинических ситуаций.

Современные международные исследования все чаще акцентируют внимание на важности лечения с минимальным участием пациента для достижения стабильных и предсказуемых результатов [162, 200]. Аппарат Гербста, предназначенный для детей старшего возраста, решает проблему неэффективности кооперации, поскольку он является несъемным устройством, носящимся круглосуточно. Разработанная Эмилем Гербстом (1842-1917) в 1905 году, эта конструкция долгое время оставалась малоизвестной, пока в конце 1970-х годов не появилось достаточного количества публикаций о ее применении. Изготовление и установка аппарата представляли собой сложную процедуру, что существенно ограничивало его применение среди врачей. Однако интерес к нему возродился благодаря демонстрации Гансом Панчерцем его потенциала для стимуляции роста нижней челюсти. Устройство, включающее телескопический механизм и четыре опорные коронки, позволяет сместить нижнюю челюсть вперед. Нижняя челюсть

располагается спереди, но при этом сохраняет подвижность: можно открывать рот и перемещать ее вбок во время жевания или речи [173]. Закрыть рот возможно лишь тогда, когда нижняя челюсть занимает переднее положение [183]. Существует мнение, что смещение нижней челюсти вперед активизирует рост мыщелков, являясь адаптивным механизмом к изменению ее положения. В свою очередь, этот рост может частично направлять дальнейшее развитие челюсти. Аппарат Гербста совместим с любыми типами брекет-систем. Научные исследования демонстрируют его высокую эффективность в исправлении дистальной окклюзии [139, 141, 200, 214].

Благодаря тому, что аппарат Гербста не требует активного участия пациента и постоянно действует в полости рта, он служит превосходным инструментом для исследования влияния функциональных аппаратов на ортопедические трансформации тканей [192].

Одним из главных минусов лечения функциональными аппаратами является необходимость для пациента строгого соблюдения режима ношения и всех предписаний врача [161]. Несоблюдение этих рекомендаций часто становится причиной того, что свыше 30% пациентов преждевременно прекращают ортодонтическое лечение [142, 161]. В отличие от них, аппарат Гербста отличается коротким сроком использования и не требует активного участия пациента в процессе лечения [193].

Несмотря на популярность аппарата Гербста, остается открытым вопрос о том, как именно он воздействует на организм, а также о конкретных изменениях в скелете и зубоальвеолярной системе [91].

Оценивать изменения в мыщелках с помощью боковых телерентгенограмм затруднительно из-за погрешностей, возникающих при наложении проекций, а также сложности с точным определением точек. Эта проблема особенно актуальна при малых изменениях [147, 181]. Техники, направленные на снижение погрешностей при разметке точек для расчетов [181], все же могут сталкиваться с ошибками наложения, чаще всего наблюдаемыми в области мыщелка [147]. Эти ошибки затрудняют дифференциацию изменений в мыщелковой зоне от

терапевтических эффектов, затрагивающих суставную ямку [193]. Кроме того, исследования, основанные на боковых телерентгенограммах, могут демонстрировать неточности при определении временных смещений нижней челюсти и ее истинного роста [139, 181, 212], что может приводить к неправильной интерпретации результатов.

Применение аппарата Гербста влечет за собой трансформацию челюстно-лицевой области. В результате лечения наблюдается замедление развития верхней челюсти, а также изменение структуры суставной ямки и нижней челюстной кости. Усиливается рост мыщелков. Степень эффективности коррекции дистального прикуса может колебаться от 13% до 85%, что обусловлено индивидуальными анатомическими особенностями каждого пациента. Хотя лечение обладает рядом преимуществ, ряд исследований указывает на возможность возникновения побочных эффектов, которые могут проявляться в нарушении опоры зубов [61].

Усиление контроля над смещением зубов с помощью аппарата Гербста может иметь негативные последствия для скелета. В попытке минимизировать эти побочные эффекты, разработаны различные модификации, такие как акриловая шина для нижней челюсти и эластичные тяжи III класса. Тем не менее, ни одна из этих модификаций не смогла полностью устранить протрузию нижних резцов. В результате был создан новый дизайн аппарата, который включал в себя усиленную скелетную опору. После появления мини-винтов их применение в ортодонтии стало стремительно распространяться, открывая новые возможности для улучшения и расширения традиционных биомеханических подходов [139, 172, 173, 179].

Использование аппарата Гербста, дополненного скелетной опорой и минивинтами в нижнем ряду зубов, для коррекции протрузии резцов, получило распространение в стоматологической практике. Исследования, посвященные этой методике, демонстрируют положительную динамику в достижении желаемых скелетных изменений [139, 172].

В работе также рассматривается применение аппарата Гербста, оснащенного четырьмя минивинтами, как средства для более эффективного управления

смещением зубов и усиления воздействия на скелетную структуру, применяемого как в верхней, так и в нижней челюсти [139, 172].

Современная ортодонтия располагает множеством устройств, способных исправить дистальную окклюзию. Многочисленные исследования свидетельствуют о клинической эффективности подобных функциональных аппаратов. Тем не менее, при выборе конкретного устройства необходимо учитывать его сильные и слабые стороны.

1.3. Эволюция адгезивных систем: от истоков до современности

Последние пятьдесят лет стоматология активно использует композитные материалы для восстановления поврежденных зубов [155]. При реставрации зубов с эстетическими целями использование адгезивных компонентов становится обязательным этапом процедуры.

Адгезивная система представляет собой специальный раствор, состоящий из одного или более веществ, который позволяет композитному материалу пломбы прочно соединиться с эмалью и дентином. Использование адгезивной системы гарантирует надежное прилегание пломбы к зубу, повышает ее долговечность и герметичность реставрации.

Стоматолог, занимающийся пломбированием кариозных полостей, должен быть крайне внимательным к выбору материалов, их хранению и соблюдению протокола нанесения адгезива. Адгезивная система призвана исключить проникновение микробов за пределы реставрации и защитить ее от механических воздействий, в том числе от усадки композитного материала [70, 201].

В 1949 году швейцарский ученый Хаггер, занимавшийся разработкой стоматологических материалов для компании DeTrey/Amalgamated Dental Company, добился прорыва в области адгезии. Его патент на новый материал позволял ему крепиться исключительно к дентину, минуя эмаль зуба. Этот момент стал отправной точкой в эволюции стоматологических адгезивных систем [208]. В

1955 году Майкл Буонокор разработал инновационный метод, который заключался в использовании ортофосфорной кислоты для обработки эмали. Этот подход позволял создавать прочное соединение с полимерными смолами [64, 151].

Кислотная обработка твердых тканей, известная как кондиционирование, получила широкое распространение в реставрационной стоматологии. Однако изобретение М. Буонокора не внесло существенных изменений в эту область, поскольку акриловые наполнители по-прежнему демонстрировали значительную полимеризационную усадку. Прогресс в области композитных материалов, характеризующихся сниженной усадкой, стал решающим фактором для начала эпохи адгезивной стоматологии. В 1959 году Рафаэль Боувен создал композит на основе неорганических частиц и полимерной смолы. Далее, в конце 60-х годов, Майкл Буонокор предположил возможность адгезии к дентину и разработал адгезивные системы, обеспечивающие сцепление с эмалью и дентином. Исследования Такао Фузаямы доказали эффективность данной концепции [118, 166]. Им был предложен метод совместного протравливания эмали и дентина с использованием 37% ортофосфорной кислоты, который он назвал "тотальным протравливанием" или "etch-and-rinse". Этот подход предполагает одновременное воздействие на обе ткани зуба. В 1970-х годах J. Eick использовал сканирующий электронный микроскоп для изучения явления, которое он назвал «смазанным слоем», мешающим адгезии материалов к поверхности зуба. Его исследование показало, что полное протравливание зубной ткани может эффективно решить эту проблему [201]. К концу 1980-х годов технология тотального протравливания адгезивов стала широко применяться. В 1982 году исследователь Нобуо Накабаяши выдвинул гипотезу о микромеханической природе сцепления адгезива с твердыми тканями, вместо ранее считавшейся химической. Его открытие – формирование гибридного слоя – стало важным прорывом в этой области [190]. Гибридный слой формируется за счет взаимодействия смоляного компонента адгезива с коллагеновыми волокнами дентина после его кислотной обработки. В результате образуется новая матрица [146]. Исследователи рассматривают процесс сцепления адгезива с зубной тканью как ключевой фактор в формировании гибридного слоя.

Современная стоматология практически отказалась от использования адгезивных систем первых трех поколений, поскольку они демонстрируют недостаточную прочность сцепления с твердыми тканями зуба.

В начале 1990-х годов реставрационная стоматология пережила революцию с появлением адгезивных систем четвертого поколения, работающих по трехступенчатой технологии. Эта система основана на последовательном применении геля ортофосфорной кислоты для протравливания эмали и дентина, за которым следует тщательное промывание полости водой. Следующим этапом является нанесение гидрофильного праймера, а завершающим – равномерное покрытие гидрофобным бондом, что обеспечивает эффективную гибридизацию.

Внедрение трехшаговых адгезивов с полным протравливанием позволило разработать материалы, которые менее чувствительны к условиям нанесения и сокращают время процедуры. В конце 1990-х появился новый тип двухэтапных адгезивов с полным протравливанием, классифицируемых как пятое поколение. Одновременно с этим появились двухэтапные самопротравливающие адгезивы, ставшие шестым поколением [64]. В период с 1999 по 2005 год были разработаны адгезивные системы седьмого поколения, объединяющие все этапы адгезионного процесса в единую систему. Это позволило отказаться от предварительной обработки эмали и дентина протравкой перед нанесением адгезива [155, 189]. Несмотря на удобство применения, эти системы сталкивались с проблемой сохранения стабильности химических свойств компонентов со временем. Для преодоления этой трудности необходимы особые условия хранения [189]. Полимеризованные одноэтапные системы обычно демонстрируют повышенную гидрофильность по сравнению с двухэтапными самопротравливающими системами шестого поколения. Такая особенность приводит к большей склонности к поглощению воды, ограничению проникновения адгезива и формированию пустот в «гибридном слое» [209, 210]. Кислотная природа этих систем обуславливает более высокое содержание воды в их составе, что, в свою очередь, повышает риск гидролиза и химического разложения [118].

Исследования в области клинической и научной практики показывают, что адгезивные системы обладают гидрофильными свойствами и подвержены более быстрому разложению [211, 189]. Хотя за последние три десятилетия эти системы прошли значительную модернизацию и совершенствование, проблема долговременности связи пломбировочного материала с зубной тканью по-прежнему остается ключевым недостатком реставрационных процедур [149, 205]. С 2010 года рост разногласий в профессиональных подходах к протравливанию привел к появлению новых адгезивных систем, которые универсальны и совместимы с различными методами протравливания. Ключевое преимущество этих систем – возможность гибкой настройки количества необходимых шагов нанесения. Они могут быть использованы как для полного протравливания (два этапа), так и для селективного (два этапа, но протравливание только эмали) или самопротравливания (один этап). Такие системы часто называют «универсальными», «многофункциональными» или «многокомпонентными» [195]. Информация о новых универсальных системах, представленных в научной литературе, пока ограничена [150]. Несмотря на то, что все недавно испытанные универсальные адгезивы демонстрируют одинаковую применимость к методам полного, селективного и самопротравливающего нанесения, их составы различаются. Именно это, скорее всего, объясняет разницу в свойствах этих материалов [175].

1.3.1. Типология адгезионных материалов

Прямая эстетическая реставрация зубов невозможна без применения адгезивных систем. Для удобства изучения и сравнения различных типов адгезивов разработаны различные классификации.

Вначале адгезивные системы классифицировались по поколениям, что отражало хронологию их появления в промышленном применении. Сейчас же

такая классификация используется преимущественно в маркетинге для продвижения новейших разработок (6-го, 7-го и 8-го поколений).

Классификация адгезивных систем также основывается на количестве клинических этапов их применения. Существуют трехэтапные, двухэтапные и одноэтапные варианты. Трехэтапные адгезивы, благодаря своей высокой адгезии и долговечности, получили широкое признание в стоматологической практике, как свидетельствуют научные исследования [64, 155, 203]. Они состоят из трех независимых компонентов: праймера, адгезива и протравливающего агента, которые продаются в отдельных упаковках. Адгезивные системы с двухшаговым процессом применения делятся на две категории. В первой категории сначала поверхность обрабатывается протравливающим средством, после чего наносится состав, включающий праймер и бонд в одной емкости. Во второй категории применяется самопротравливающий праймер, а бонд поставляется отдельно. Одношаговые системы, где протравливающее средство, праймер и бонд объединены в одном флаконе, пользуются наибольшей популярностью благодаря своей простоте использования [64, 118, 217]. Несмотря на свою простоту, эти системы демонстрируют эффективность, сравнимую с двухшаговыми системами, когда речь идет о достижении необходимой адгезионной прочности. Адгезивные системы, способные к самопротравливанию, выпускаются в двух вариантах: двухкомпонентные, состоящие из отдельного праймера и бонда, и однокомпонентные, где праймер и бонд объединены в одном флаконе (последние известны как самопротравливающие адгезивы). Усиление адгезионной прочности таких систем достигается путем предварительного протравливания эмали. Среди последних и популярных классификаций адгезивных систем особое внимание уделяется методу протравливания. В настоящее время для приклеивания применяются две основные техники: тотальное протравливание (также известное как "total-etch" или "etch-and-rinse") и самопротравливание. Второе позволяет осуществлять селективное протравливание эмали зуба, что обеспечивает более точный контроль над процессом [194, 203]. В клинической практике предпочтение часто отдается системам, требующим минимального числа манипуляций [64].

Уменьшение количества этапов в адгезивном протоколе снижает вероятность возникновения ошибок со стороны врача.

Чтобы эффективно применять адгезивные системы, стоматологу важно обладать знаниями о химическом строении этих материалов и о том, как они взаимодействуют с твердыми структурами зуба.

1.3.2. Процесс адгезии к зубным структурам

Адгезия представляет собой явление, при котором различные вещества, находящиеся в тесном соприкосновении, образуют прочные связи на молекулярном уровне. Эти связи могут быть диффузионными, химическими или механическими [64]. Адгезивные системы являются неотъемлемой частью процесса пломбирования, обеспечивая прочную связь между зубом и пломбой за счет механохимического взаимодействия [64]. Этот процесс основан на замене минеральных компонентов зуба мономерами адгезивного материала. Однако создание эффективных адгезивных систем осложняется различиями в структуре и составе эмали и дентина. Эмаль, обладая наибольшей минерализацией среди всех тканей тела человека, состоит на 95% из неорганических соединений, главным образом кальция и фосфора. Остальные 5% приходятся на органические вещества (1%) и воду (4%). Для создания прочной связи между эмалью и адгезивом применяются специальные агенты, например, ортофосфорная кислота или кислотные мономеры. Они создают микропоры в эмали, в которые проникает адгезив, образуя микромеханическое сцепление. Взаимодействие с дентином представляет собой более трудную задачу из-за его специфических свойств. В отличие от эмали, дентин содержит меньше неорганических компонентов (около 70%), а значительную его часть составляют органический матрикс, представленный преимущественно коллагеновыми волокнами, и вода (около 30%). Его структура неоднородна, с различными морфологическими зонами. Проницаемость дентина увеличивается при продвижении вглубь полости зуба, что

связано с различиями в форме и плотности канальцев между поверхностными и глубокими слоями, близкими к пульпе. Адгезивные системы могут быть применены как с помощью геля ортофосфорной кислоты, концентрация которой варьируется от 20% до 40% (чаще всего 37%), так и без него, если адгезив содержит кислые мономеры [118]. Важно отметить, что методика протравливания для каждого конкретного случая нуждается в отдельном изучении и анализе.

1.3.3. Химический состав адгезивных систем

Эффективность адгезивных систем в обеспечении прочного сцепления с зубными тканями обусловлена рядом последовательных этапов. Чтобы предсказать, как материалы будут вести себя во время эстетической реставрации зубов, важно понимать их химические свойства. Химический состав адгезивов и их компоненты играют ключевую роль в биосовместимости стоматологических материалов, что является важной темой для научных исследований. Несмотря на то, что некоторые побочные эффекты могут быть минимальными, риск токсичности для материалов, контактирующих с ротовой полостью, все еще остается существенным вопросом [168].

Стоматологические адгезивные системы построены на базе аналогичных компонентов.

Независимо от того, насколько сложной может быть процедура пломбирования зубов, адгезивные материалы всегда строятся по единому принципу. Они состоят из кислотного компонента, гидрофильного праймера, гидрофобного бонда, инициаторов, стабилизаторов, растворителя и, при необходимости, неорганических наполнителей [64, 118, 143].

Кислотный компонент может существовать в виде отдельного контейнера, такого как флакон или шприц, применяемого для проведения полного или избирательного травления. Другой вариант – интеграция кислотного компонента в структуру функциональных мономеров, что позволяет создавать

самопротравливающие и обладающие широким спектром применения адгезивные составы [64, 143, 151].

Адгезивы функционируют благодаря мономерам, создающим прочную матрицу, которая гарантирует надежное прилипание. Аналогично тому, как мономеры выполняют свою роль в композитных материалах для реставрации, они служат ключевым компонентом адгезивов. Среди наиболее распространенных мономеров, применяемых в производстве адгезивов, можно выделить Bis-GMA, UDMA, TEGDMA, HEMA, PENTA, 4-META и MAC-10.

Мономерные системы делятся на два типа: функциональные и поперечно-сшивающие. Функциональные мономеры, помимо способности к полимеризации, обладают функциональными группами, которые могут выполнять важные функции, например, обеспечивать гидрофильность для праймирования дентина. В результате полимеризации они создают линейные полимеры. Поперечно-сшивающие мономеры, напротив, имеют две или больше полимеризационных групп, способных соединяться между собой, формируя поперечные связи и создавая трехмерную структуру. Механическая прочность адгезивных материалов формируется благодаря специфическим связям между молекулами [152]. Некоторые мономеры, имеющие сложную структуру с полимеризуемыми и функциональными группами, способны к гидролизу. В результате этого процесса образуются новые функциональные мономеры. Например, ди-HEMA-фосфат при гидролизе превращается в HEMA-фосфат, что демонстрирует этот механизм. Изначально праймеры содержали гидрофильные мономеры, а функции поперечного сшивания выполняли гидрофобные мономеры из состава бонда. Для упрощения процедуры и сокращения времени обработки решено было объединить оба типа мономеров в единую смесь. Каждый мономер включает полимеризуемые группы, функциональные группы и спейсеры. К числу полимеризуемых групп относятся акрилаты, метакрилаты и метакриламиды, которые характеризуются гидрофобностью. Однако акрилаты и метакрилаты склонны к гидролизу, то есть разложению под действием воды, из-за наличия сложноэфирных групп (R1-CO-O-R2). Это обстоятельство ставит под вопрос биосовместимость и срок службы

материала [118, 156]. Появление метакриламидов наступило позднее. В их структуре вместо гидролизуемой сложноэфирной группы присутствует амидная группа (R1-CO-NH-R2), демонстрирующая повышенную стойкость к водному воздействию.

Спейсер, являясь связующим звеном между функциональными и полимеризуемыми группами в мономере, состоит из алкильной цепи. В его структуру могут войти сложные эфиры, амиды или ароматические фрагменты. Длина спейсера оказывает существенное влияние на вязкость мономера, а также на его смачивающие и проникающие свойства. Короткие спейсеры повышают летучесть мономера [176], в то время как длинные спейсеры могут затруднить процесс полимеризации, препятствуя доступу других мономеров к полимеризуемым группам. Благодаря гидрофильности, спейсеры способны поглощать воду, что может вызвать гидролиз мономера и изменение окраски полимера. Добавление функциональных групп к спейсерам повышает их способность к смачиванию и деминерализации дентина. Кроме того, они могут способствовать высвобождению фтора или оказывать антибактериальный эффект. Гидрофильность этих групп улучшает адгезию спейсера к дентину [180]. К наиболее распространенным функциональным группам относятся спиртовые, фосфатные и карбоксильные структуры. Сульфоновые, фосфатные, фосфонатные и карбоксильные группы, присутствующие в водных растворах с высоким содержанием протонов, обладают способностью растворять минеральные компоненты дентина. Это свойство позволяет стоматологическим производителям добавлять в состав мономеров функциональные группы, направленные на усиление деминерализации, снижение чувствительности зубов, борьбу с бактериями и повышение биосовместимости материалов [118].

Необходимо отметить, что мономеры, несущие акрилатные группы, а также функциональные мономеры с фосфатными или карбоксильными группами, могут разлагаться под действием воды. Характеристики получаемого полимера, как физические, так и механические, определяются степенью конверсии [64, 118, 204]. Степень конверсии отражает долю прореагировавших двойных связей мономера;

при неполной конверсии в отвержденном продукте сохраняются непрореагировавшие мономерные единицы [64, 177]. Несмотря на полное соответствие заданному режиму засвечивания, полимеризация не приводит к полной конверсии мономера, достигая лишь 85% [152].

Неполная полимеризация мономера может стать причиной раздражения пульпы, уменьшения прочности реставрации зуба, а также увеличения проницаемости и сорбции воды. Кроме того, это может привести к вымыванию остаточных неотвержденных мономеров. Изменение цвета материала может быть вызвано окислением ненасыщенных метакрилатных групп, что связано с недостаточной конверсией. В результате степень конверсии оказывает существенное влияние на механические свойства и биосовместимость реставрационного материала. Изучение мономеров, применяемых в адгезивных системах от различных производителей, затруднено из-за патентной защиты химических формул. В связи с этим важно проанализировать ключевые свойства наиболее распространенных мономеров [118].

HEMA (гидроксиэтилметакрилат) – мономер с высокой биосовместимостью, который находит применение не только в сфере стоматологии, но и в других областях медицины. Важно отметить, что в неизменном виде HEMA может стать причиной аллергических реакций [169, 199]. Он выпускается в жидкой форме и легко растворяется в воде, этаноле и ацетоне [118]. Из-за своей способности испаряться, даже в небольших количествах, HEMA может покинуть флакон с адгезивом. Благодаря гидрофильности, этот мономер улучшает адгезию и повышает влажность дентина. После полимеризации этот мономер приобретает гидрофильность, что способствует поглощению воды и изменению цвета реставрационного материала. Важно отметить, что чрезмерное содержание HEMA в адгезиве может негативно сказаться на механических свойствах получаемого полимера. Подобно другим метакрилатам, HEMA подвергается гидролизу. Высокие концентрации этого мономера могут замедлить испарение растворителя, что оказывает влияние на эффективность адгезивных систем. Введение HEMA в состав адгезивов обусловлено его способностью улучшать смачивание. Благодаря

своей способности растворять как гидрофобные, так и гидрофильные вещества, HEMA действует как эффективный растворитель [189].

10-MDP, или 10-метакрилоилоксидецил дигидроген фосфат, представляет собой адгезионный мономер, созданный в конце 1970-х [216]. В то же время для улучшения сцепления с твердыми зубными тканями появился 2-метакрилоилоксиэтилфенилгидрофосфат (Фенил-П). Параллельно с ним разрабатывался ангидрид 4-метакрилоилоксиэтилтримеллитовой кислоты (4-МЕТА), демонстрирующий способность к адгезии как на зубах, так и на стоматологических сплавах [206]. В стремлении разработать адгезивные мономеры с улучшенными свойствами, исследователи оптимизировали их молекулярную структуру. Это привело к созданию молекулы MDP [202]. Синтез 10-MDP был осуществлен компанией Kuraray из Осаки, Япония, которая также получила на него патент [118].

Фосфатные эфиры являются ведущими функциональными мономерами в сфере разработки адгезивных систем. Они выделяются своей уникальной способностью к образованию прочных связей с широким спектром материалов, от металлов и диоксида циркония до твердых тканей зуба. Механизм этого процесса основан на образовании нерастворимых кальциевых соединений [175]. Именно эти свойства позволили фосфатным эфирам стать фундаментом для создания универсальных адгезивов [118, 143, 150].

10-MDP, действуя как мономер, защищает коллагеновые волокна благодаря образованию солей MDP-кальция. Этот процесс происходит за счет взаимодействия с кальцием, присутствующим в гидроксиапатите. Образованные соли откладываются на поверхности в виде тонких слоев, чья толщина и качество зависят от используемого адгезива. Благодаря этому коллагеновая структура приобретает влагу, формируя гибридный слой, который не зависит от уровня влажности дентина. Мономер 10-MDP, являющийся универсальным соединением с амфифильной структурой, включает в себя две функциональные группы. Метакрилатная группа, характеризующаяся гидрофобностью, способна формировать химические связи как с цементом, так и с композитными

материалами. Фосфатная группа, обладая гидрофильными и полярными свойствами, способна эффективно связываться с твердыми тканями зубов, металлами и диоксидом циркония. В то же время длинная алкильная (углеводородная) цепь в мономере 10-MDP обеспечивает ему высокую степень гидрофобности. Именно эта гидрофобность, выражающаяся в высоком коэффициенте разделения, ставит 10-MDP на первое место среди функциональных мономеров адгезивных систем по этому показателю. Благодаря своей способности снижать поглощение воды и предотвращать гидролиз адгезионной связи, 10-MDP увеличивает срок службы адгезивов [211]. Это свойство обусловлено его гидрофобностью, которая также стабилизирует раствор, продлевая срок годности адгезива. Растворение мономера 10-MDP эффективно осуществляется с помощью этанола или ацетона. Исследование Inoue и его команды [174] показало, что MDP может химически взаимодействовать с твердыми тканями зубов, улучшая гидролитическую стабильность гибридного слоя и увеличивая срок службы соединения. Однако исследования Aida и ее коллег [149] обнаружили, что праймеры, включающие MDP и HEMA, склонны к деградации при длительном хранении при температуре 40 градусов Цельсия, что ставит под сомнение их долговечность [118].

10-MDP, благодаря своим гидрофобным свойствам и способности к самоорганизации, эффективно взаимодействует с молекулами, что делает его ценным компонентом для широкого спектра адгезивных систем.

По окончании действия патента Kuraray на 10-MDP в 2003 году, интерес к этой субстанции среди производителей стоматологических адгезивов возрос. Это привело к появлению новых составов, содержащих 10-MDP. В 2009 году компания Bisco Inc. выпустила праймер, предназначенный для использования с диоксидом циркония. Его формула включала 10-MDP и BPDM, что сделало его эффективным средством подготовки поверхности циркониевых материалов. Два года спустя после появления праймера компания 3M ESPE выпустила универсальную адгезивную систему, которая включала 10-MDP. Этот успех побудил компанию Bisco разработать свою собственную универсальную систему, также основанную

на 10-MDP. На рынке появились и другие варианты, содержащие фосфатные эфиры, аналогичные по действию 10-MDP, среди которых выделяются PENTA-P и GPDM [118]. Сложные эфиры фосфорной кислоты играют ключевую роль в составе многофункциональных адгезивных составов, как показано в работе [143].

Bis-GMA, TEGDMA и UDMA – это наиболее распространенные мономеры, применяемые для поперечного сшивания. Их взаимодействие приводит к образованию плотных полимеров, которые обеспечивают адгезиву необходимую механическую прочность. В целом, эти мономеры гидрофобны и плохо растворяются в воде, что минимизирует ее поглощение после полимеризации. Тем не менее, присутствие полярных эфирных связей и гидроксильных групп все же позволяет им немного поглощать воду. Свойства адгезивной смолы, как в неотвержденном, так и в отвержденном состоянии, определяются составом, включающим Bis-GMA, TEGDMA и UDMA. Bis-GMA, благодаря своей распространенности в композитах и адгезивных системах, играет ключевую роль. Высокая молекулярная масса Bis-GMA минимизирует усадку при полимеризации и ускоряет процесс отверждения. В результате образуется полимер с выдающимися механическими характеристиками. Благодаря своим объемным ароматическим кольцам, метакрилатные группы не могут легко соединяться друг с другом. В результате мономеры с такими группами предпочитают реагировать с мономерами меньшего размера, чтобы избежать преждевременной полимеризации. TEGDMA, обладая большей гибкостью по сравнению с Bis-GMA, повышает прочность полимера на растяжение, однако снижает его прочность при изгибе [156]. UDMA, применяемый как самостоятельный компонент или в смеси с TEGDMA и Bis-GMA, широко распространен в адгезивных системах. Благодаря эфирным связям UDMA демонстрирует повышенную подвижность по сравнению с жесткой структурой Bis-GMA, содержащей ароматические кольца [118, 176]. Однако вопросы биосовместимости UDMA и связанных с ним мономеров остаются предметом дискуссий, поскольку существует риск цитотоксичности [156]. В связи с этим некоторые производители отказываются от использования Bis-GMA и бисфенола

А в своих адгезивных формулах, стремясь минимизировать потенциальные риски для здоровья [209, 211].

Полимеризацию запускают специальные молекулы, называемые инициаторами. Они способны превращаться в радикалы под воздействием определенных условий. В композитах и адгезивах применяют два основных типа инициаторов: окислительно-восстановительные и фотоактивированные. Фотоинициаторы активируются за счет поглощения электромагнитного излучения, что приводит к отверждению материала под действием света. Окислительно-восстановительные инициаторы, наоборот, запускают химические реакции, приводящие к отверждению или самоотверждению. В адгезивных системах чаще всего используются именно фотоинициаторы. Выбор оптимальной концентрации инициатора определяется рядом факторов, таких как растворимость в адгезиве, его способность поглощать свет, фотореактивность и биосовместимость. Важно отметить, что инициаторы обладают цитотоксичностью за счет образования свободных радикалов, поэтому их доля в составе адгезивов минимальна [118, 156].

Камфорохинон, широко используемый в адгезивах и композитах, ценится за способность поглощать широкий диапазон световых волн. Однако его применение ограничивается цитотоксичностью и желтовато-коричневым оттенком, который может существенно изменить цвет адгезива [118].

Хранение адгезива в экстремальных условиях, например при высоких температурах, может привести к саморазложению или самопроизвольной реакции молекул инициатора. В результате образуются свободные радикалы. Для предотвращения нежелательной полимеризации, которая запускается этими радикалами, применяются ингибиторы. Они поглощают выделяющиеся свободные радикалы, тем самым останавливая реакцию [174]. Благодаря этому ингибиторы оказывают влияние на срок службы адгезива. Уровень ингибитора, необходимый для стабильной работы адгезивной системы, определяется степенью внутренней нестабильности ее мономеров.

Введение гидрофильных мономеров и растворителя существенно повышает смачиваемость поверхности [176]. Растворитель в праймерах для систем полного

протравливания выполняет важную роль, способствуя проникновению мономеров в структуру деминерализованного дентина. Его действие направлено на размягчение твердых материалов или жидкостей, что приводит к разделению молекул (или ионов) и заполнению образовавшихся пустот молекулами растворителя. Растворимость молекул напрямую связана с их полярностью [118]. Важную роль в сохранении срока службы адгезивов играет полярность растворителя, который может быть водой, ацетоном или этанолом.

Вода, благодаря своей способности образовывать прочные водородные связи, действует как эффективный растворитель. Однако ее способность растворять органические вещества, часто имеющие гидрофобную природу (например, мономеры), ограничена. Из-за высокой энергии испарения вода может оставаться в полости длительное время после нанесения адгезива. Для решения этой проблемы в адгезивные смеси добавляют вторичные растворители, такие как этанол или ацетон. Они ускоряют испарение воды из раствора. Самопротравливающие системы, напротив, сильно зависят от воды, которая необходима для ионизации кислотных мономеров. Этанол не только растворяет компоненты смеси, но и формирует водородные связи с ними, тем самым помогая воде лучше растворяться. Смесь этанола и воды испаряется более интенсивно из-за взаимодействия между ее молекулами. Ацетон, обладая способностью растворять как гидрофильные, так и гидрофобные вещества, отлично подходит для растворения компонентов адгезивов. Однако высокая летучесть ацетона становится его существенным недостатком, поскольку он ускоряет испарение адгезивных компонентов, тем самым сокращая время их эффективного действия. В качестве сорастворителя воды в адгезивах ацетон демонстрирует повышенную эффективность благодаря способности образовывать водородные связи, подобно этанолу, что способствует усилению процесса растворения [118].

В классических адгезивных системах наполнители отсутствовали. Введение наполнителей в состав адгезивов обусловлено стремлением повысить прочность адгезивного слоя, а именно его прочность на разрыв и упругость. Благодаря сгущающему эффекту наполнителей вязкость адгезива возрастает, что

предотвращает его излишнее истончение. Увеличенная толщина адгезивного слоя обеспечивает его высокую эластичность, что в свою очередь повышает его сопротивление сжатию. Некоторые наполнители способны выделять фтор или придавать адгезивному слою рентгеноконтрастность. Деминерализация коллагеновой сети приводит к образованию межфибриллярных пространств размером около 20 нм. В связи с этим, оптимальным размером наполнителя для этой структуры считаются частицы меньшего размера, не превышающего 20 нм. Важно отметить, что наполнитель обладает гидрофильными свойствами.

В состав некоторых адгезивных систем производители включают особые компоненты, например, полиалкеновые сополимеры, которые повышают влагостойкость [177]. Но эффективность этих добавок в увеличении прочности склеивания до сих пор вызывает дискуссии. Глутаровый альдегид, являясь специфическим компонентом адгезивных систем, выполняет ряд важных функций. Его использование позволяет снизить риск постоперационной чувствительности [182], повысить прочность гибридного слоя и ингибировать рост бактерий. Механизм десенсибилизирующего эффекта обусловлен денатурацией коллагена в дентине, что в результате блокирует дентинные канальцы и предотвращает их проницаемость. Для усиления антибактериального эффекта в адгезивных системах, применяемых для лечения инфекций, нередко добавляют специальные добавки. Самопротравливающие адгезивы обычно содержат парабены, фториды и MDPB. Чтобы пациенты могли контролировать равномерность распределения адгезива по зубной поверхности, производители иногда включают в состав красящие пигменты [189].

Приведённые данные об адгезивных системах имеют непосредственное значение для настоящего исследования, поскольку прямые окклюзионные накладки фиксируются на эмали зубов с использованием адгезивной техники, а их изготовление прямым методом предполагает применение светоотверждаемых композиционных материалов на основе тех же метакрилатных мономеров (Bis-GMA, UDMA, TEGDMA). Состав полимерной матрицы и наполнителя определяет поведение накладки под окклюзионной нагрузкой – её жёсткость, прочность и

характер разрушения [164, 185]. Альтернативой прямому методу в последние годы стало лабораторное изготовление накладок методом 3D-печати из фотополимерных смол, однако сравнительные данные о механических характеристиках таких материалов и традиционных светоотверждаемых композитов в доступной литературе представлены фрагментарно.

1.4. Заключение по Главе 1

Анализ литературы показал, что дистальная окклюзия является одной из наиболее распространённых зубочелюстных аномалий как у детей, так и у взрослых, а её лечение у пациентов с завершённым ростом нередко проводится методом ортодонтического камуфляжа с применением несъёмной техники [76]. Одним из вспомогательных элементов такого лечения служат окклюзионные накладки, обеспечивающие временное разобщение прикуса и устранение окклюзионных препятствий при перемещении зубов [191, 207]. Накладки могут располагаться на резцах верхней челюсти, премолярах или молярах нижней челюсти, однако научно обоснованные критерии выбора области их фиксации в литературе отсутствуют.

Сила жевательного давления существенно различается в разных отделах зубной дуги [163], поэтому расположение накладки определяет величину и характер нагрузки, передаваемой на накладку, зуб, периодонт и костную ткань. Метод конечных элементов широко применяется в стоматологии для оценки напряжённо-деформированного состояния подобных систем [157, 159, 167], однако сравнительного моделирования для различных локализаций окклюзионных накладок с учётом периодонтальной связки и брекет-системы не проводилось. Не изучено также влияние положения накладок на функциональное состояние жевательных и височных мышц, которое может быть объективно оценено методом поверхностной электромиографии с расчётом индексов симметрии и торсионного индекса [53, 144].

Таким образом, недостаточная изученность механических свойств материалов для окклюзионных накладок, распределения напряжений в системе «накладка-зуб-периодонт-кость» при различных вариантах их расположения и влияния расположения накладок на нейромышечную координацию обусловливает необходимость комплексного экспериментального, расчётного и клинико-функционального исследования, что и определило цель и задачи настоящей работы.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Дизайн исследования

В рамках ортодонтической коррекции скелетной формы дистальной окклюзии с использованием ортодонтического камуфляжа был разработан дизайн исследования, представленный на рисунке 1. Клиническая стадия исследования носила интервенционный проспективный характер и проводилась в одной группе пациентов с повторными измерениями.

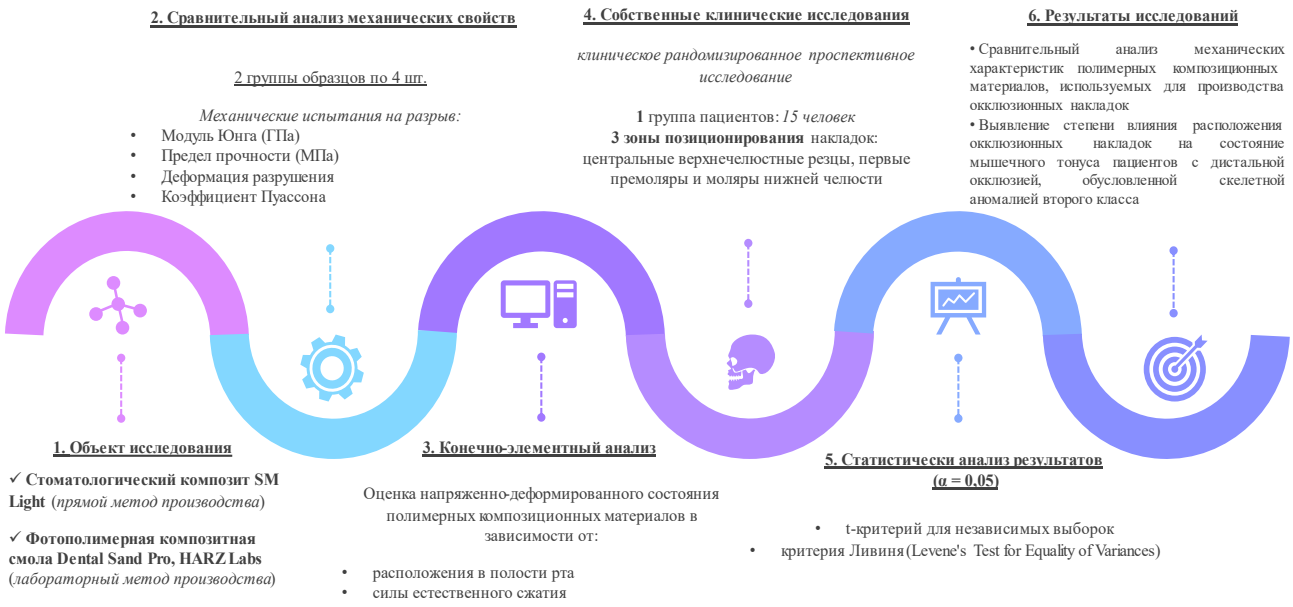


Рисунок 1 – Принципиальная схема дизайна исследования

В данной работе были изучены пациенты, у которых была диагностирована скелетная дистальная окклюзия. Для данной аномалии характерно дистальное положение мыщелковых отростков нижней челюсти, создающее предпосылки к перегрузке ВНЧС, при этом пациенты с клиническими проявлениями дисфункции ВНЧС (болевой синдром, щелканье, ограничение открывания рта) в исследование не включались (критерий включения 5), что позволило исключить влияние суставной патологии на результаты электромиографии.

В исследовании принимала участие одна группа пациентов численностью 15 человек. Каждый пациент последовательно обследовался без окклюзионных накладок (контрольная регистрация) и при их фиксации в трёх зонах: на центральных резцах верхней челюсти, первых премолярах и первых молярах нижней челюсти. Отдельная контрольная группа не формировалась, распределение пациентов по группам (рандомизация) не проводилось. Пациенты подвергались ортодонтическому лечению с применением окклюзионных накладок при различных зонах позиционирования в полости рта.

К критериям включения относились:

1. наличие письменного информированного согласия пациента на участие в исследовании;

2. возраст от 18 до 35 лет;

3. пол: мужской, женский;

4. установленный диагноз: основные аномалии размеров челюстей (K07.0), аномалии челюстно-черепных соотношений (K07.1), аномалии соотношений зубных дуг (K07.2), аномалии положения зубов (K07.3), аномалия прикуса неуточненная (K07.4) [106];

5. отсутствие клинических проявлений дисфункции ВНЧС (болевого синдрома, щелканья, ограничения открывания рта);

6. стойкая мотивация к проведению лечения;

7. стойкие гигиенические навыки.

Критерии невключения в исследование [27]:

1. пациенты со значительными нарушениями скелетных форм дистальной окклюзии, требующие костно-реконструктивного вмешательства (Wits более 7 мм);

2. возраст до 18 и старше 35 лет;

3. беременность, кормление грудью;

4. психические отклонения и расстройства;

5. хронические заболевания (онкологические заболевания, болезни крови, эндокринные патологии);

6. длительный прием гормональных препаратов;

7. отсутствие стойкой мотивации к проведению лечения.

Основными критериями исключения из исследования являлись [27]:

1. отказ пациента от дальнейшего участия в исследовании;

2. несоблюдение протокола исследования, отказ от каких-либо вмешательств, осмотров, процедур, входящих в исследование;

3. беременность;

4. предпочтение лингвальной брекет-системы или элайнеров;

5. несоответствие субъективной потребности и объективной нуждаемости.

2.2. Определение механических свойств стоматологических композиционных материалов

Исследование охватило два типа полимерных композитов, используемых при создании окклюзионных накладок. Первый из них – стоматологический композит SM Light, производимый методом прямого отверждения, а второй – фотополимерная смола Dental Sand Pro от компании HARZ Labs, предназначенная для лабораторного изготовления. Чтобы определить прочность на разрыв, были созданы по четыре образца каждого материала. Чтобы облегчить распознавание и анализ образцов, была внедрена система кодирования. Образцы SM Light получили маркировку 'c', в то время как образцы, сделанные на основе Dental Sand Pro, обозначены символом 'n' для удобства идентификации.

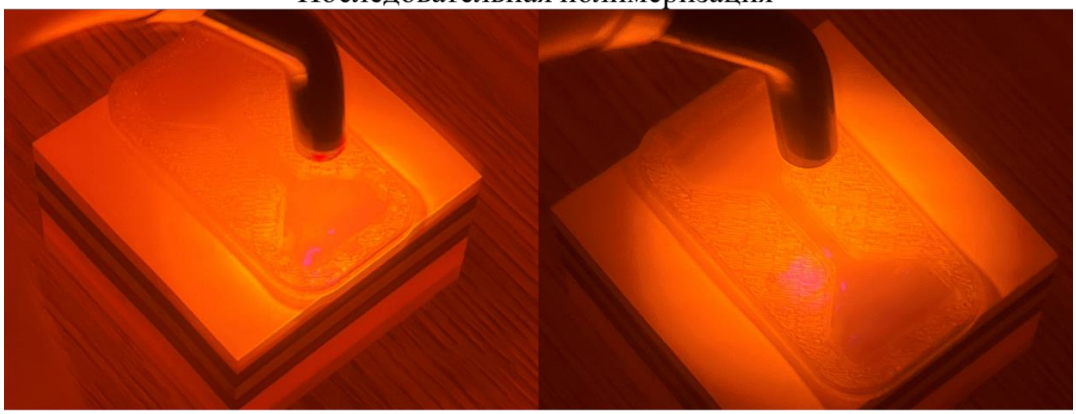
Для создания образцов из стоматологического композита SM Light разработали и изготовили заливочную форму. Выбор материала для формы – термопластичный полимер PET-G – обусловлен его низкой адгезией к композиту SM Light. Это свойство позволило легко извлекать отвержденные образцы без искажения их геометрии. Формы были созданы с помощью технологии FDM-печати. Процесс последовательной полимеризации, состоящий из двух этапов, осуществлялся с использованием светодиодной лампы Sunt Smile LED. Первый

этап заключался в освещении рабочей зоны образца в течение 40 секунд, а второй – в освещении каждого захвата по 10 секунд. Расстояние от источника света до поверхности формы составляло 25 миллиметров. Длительность экспозиции рабочей части образца была установлена экспериментально после проведения предварительных испытаний. Рисунок 2 иллюстрирует ключевые этапы производства образцов из композита SM Light в наглядной форме.

Композит SM Light в заливочной PET-G форме



Последовательная полимеризация



Типовой вид образца для последующих механических испытаний



Рисунок 2 – Стадии изготовления образцов для последующих механических испытаний

Образцы из композитной фотополимерной смолы Dental Sand Pro создавались с помощью стереолитографии, которая была реализована на устройстве Anycubic Photon Mono 2 после проведения его калибровки. Для производства каждого образца применялась последовательность операций, состоящая из следующих этапов:

- для начала работы смола была тщательно перемешана и затем помещена в кювету принтера;
- запуск печати был осуществлён посредством специального программного обеспечения, при этом были применены параметры, указанные производителем смолы Dental Sand Pro;
- выполнение этапов начальной и последующей промывки с использованием изопропилового спирта;
- изъятие образцов с поверхности печатной площадки;
- для удаления остатков спирта применялись два метода: естественное испарение и выдувание сжатым воздухом;
- этап постполимеризации заключался в 20-минутной окончательной засветке с использованием аппарата Anycubic 3 Wash and Cure.

Производственный процесс изготовления образцов осуществлялся с полным соблюдением инструкций, предоставленных производителем смолы Dental Sand Pro. Для наглядного представления ключевых этапов технологического цикла используется графическая схема, представленная на рисунке 3.

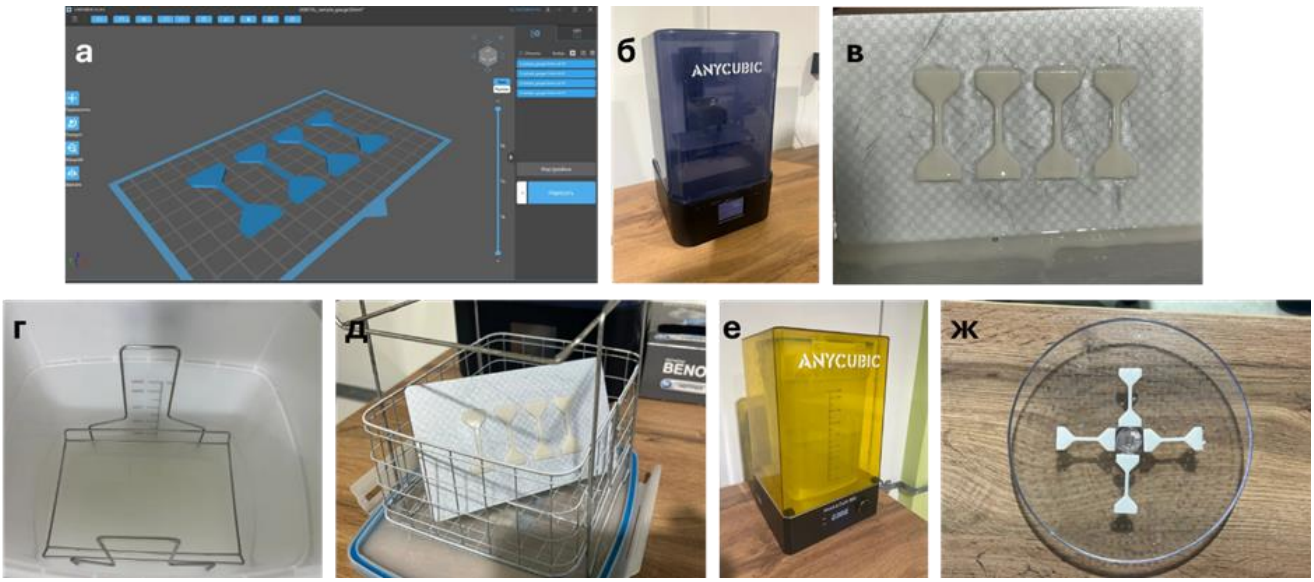


Рисунок 3 – Основные этапы изготовления образцов на основе композитной смолы Dental Sand Pro: а – подготовка печати в слайсере, б – фотополимерный принтер Anycubic Photon Mono 2 с заправленной смолой Dental Sand Pro, в – вид образцов после печати, г – ванна с изопропиловым спиртом, д – вид образцов после промывки, е – устройство постобработки Anycubic 3 Wash and Cure, ж – готовые образцы

Рисунок 4 иллюстрирует конечную геометрическую форму и размеры образцов. Для определения прочности использовалось специализированное портативное разрывное устройство (1 кН), фото которого приведено на рисунке 5. Рисунок 6 демонстрирует образец, зафиксированный в захватах этого устройства. Изменение внешнего вида образцов после проведения механических испытаний показано на рисунке 7. Для проведения испытаний на растяжение траверса двигалась с постоянной скоростью 1 мм в минуту, при этом начальная нагрузка равнялась 1 кгс (примерно 10 Н). Испытания на сжатие были исключены из-за недостатков измерительной техники и специфической геометрии зубной поверхности, которая имеет неровный рельеф. Это приводит к концентрации напряжений в зонах окклюзионных контактов.

Для выявления локальных деформаций и получения более точных данных о механических свойствах материалов исследователи использовали метод цифровой корреляции изображений. В этом методе цифровая камера, синхронизированная с устройством, которое прикладывает нагрузку к образцу, записывала видео высокого разрешения во время деформации и разрушения материала. Для анализа

видеоданных использовалось программное обеспечение Ncorr, которое имеет открытый исходный код. В процессе обработки применялось корреляционное подмножество размером 21 пиксель, с шагом смещения между подмножествами в 3 пикселя.

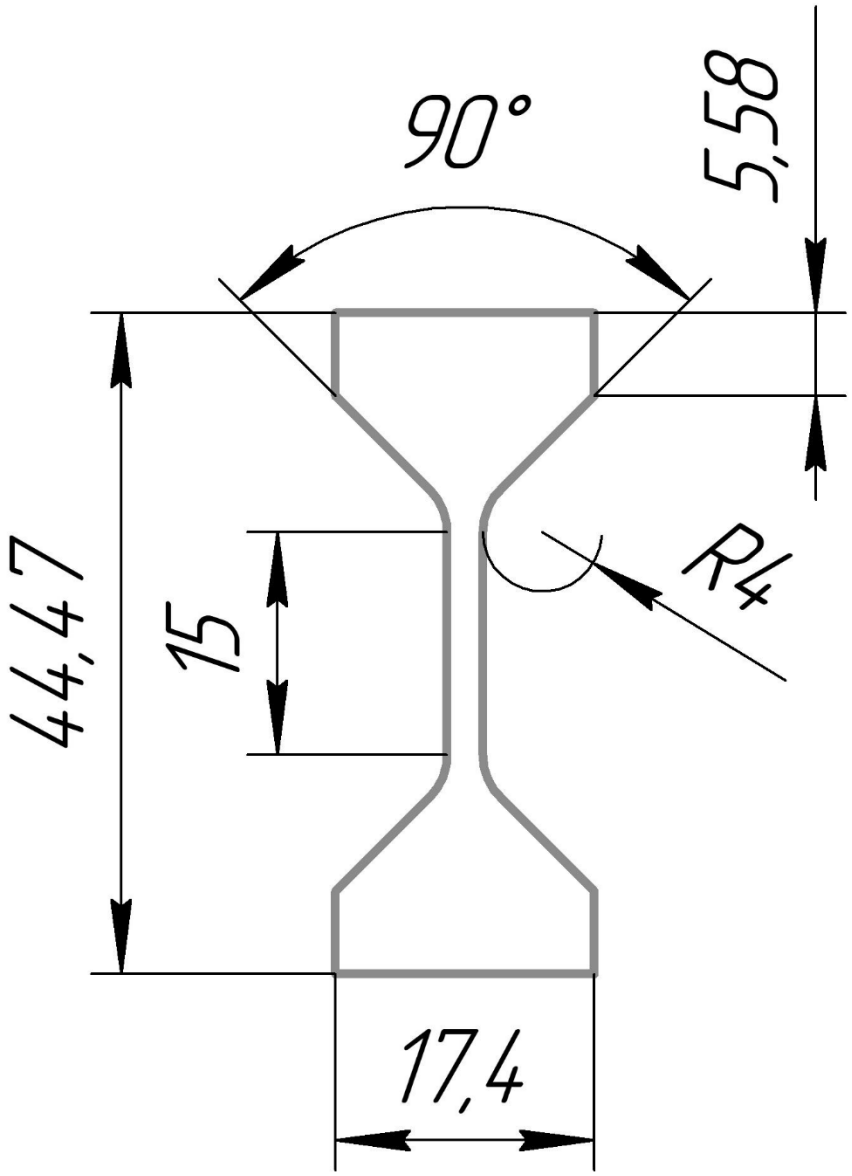


Рисунок 4 – Форма и линейные размеры образцов для испытаний на растяжение (толщина 1,5 мм)

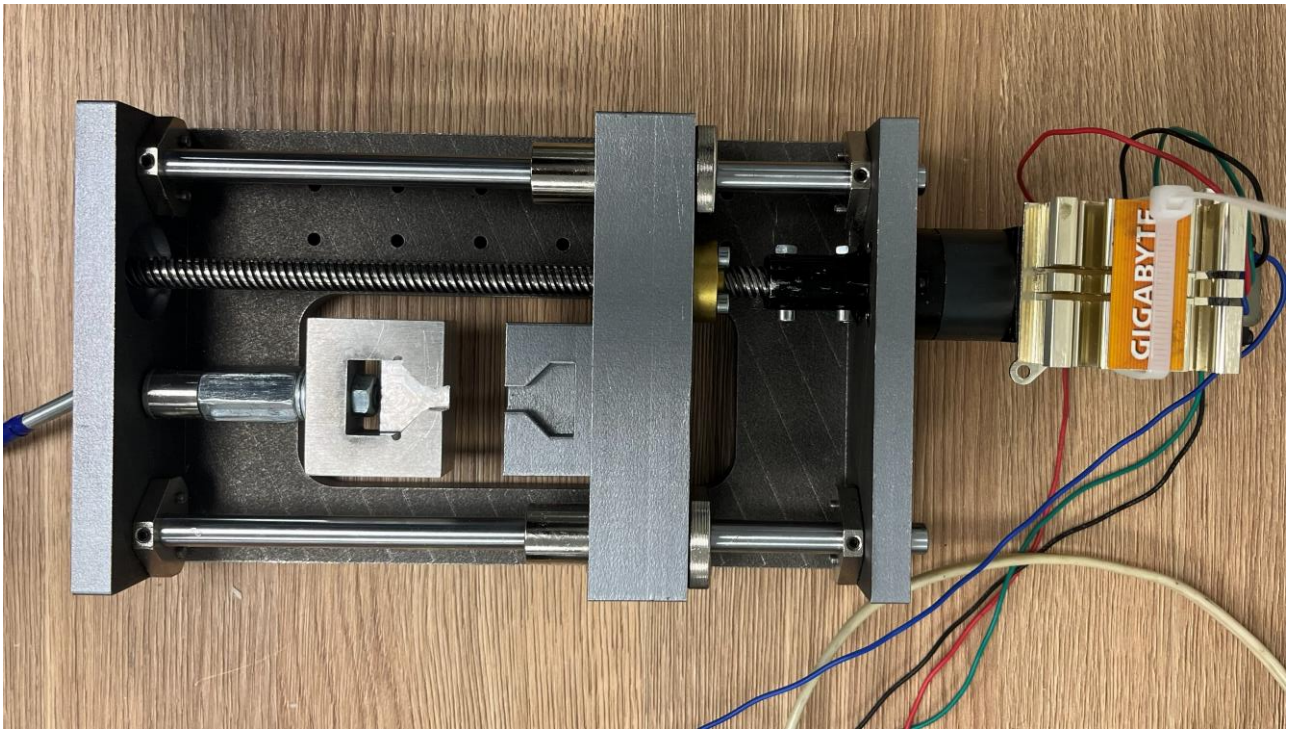


Рисунок 5 – Внешний вид универсального разрывного устройства

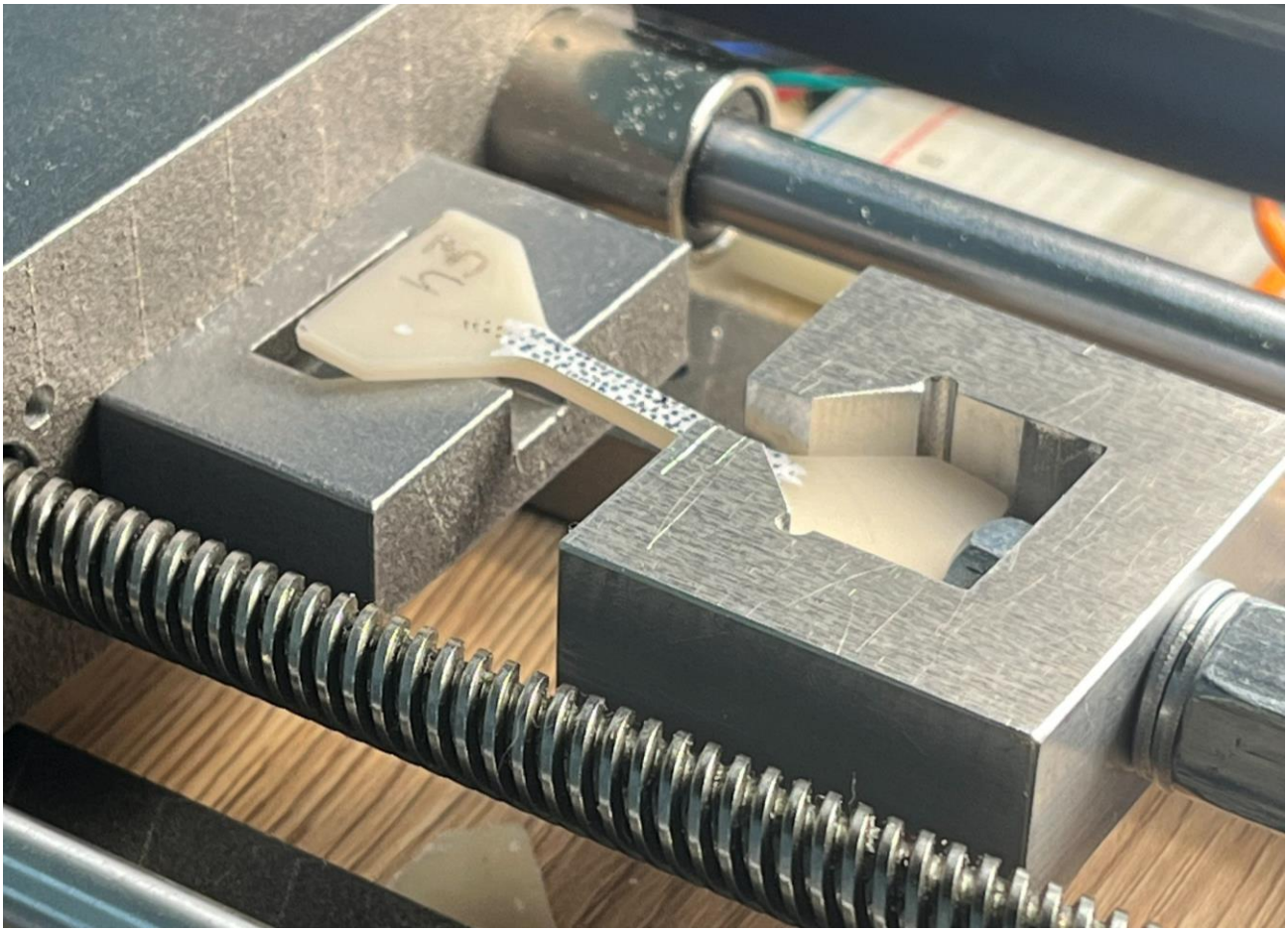


Рисунок 6 – Вид образца, зафиксированного в захватах портативного разрывного устройства



Рисунок 7 – Вид образцов до и после проведения стадии механических испытаний

2.2.1. Статистический анализ результатов механических испытаний

Для оценки статистической значимости различий между выборками был применен t-критерий для независимых групп при уровне значимости 0,05. Расчеты были выполнены в среде IBM SPSS Statistics версии 25. В качестве нулевой гипотезы использовалось предположение о равенстве средних значений двух сравниваемых выборок, предполагая их происхождение из одинаковых генеральных совокупностей. Для обеспечения соответствия тестовым

предположениям была выполнена дополнительная проверка гипотезы о равенстве дисперсий посредством критерия Ливиня.

2.3. Математическое моделирование с использованием конечно-элементного анализа

Для создания трехмерных панорамных моделей из КТ-сканов реального пациента использовался программный пакет dentalmesh.ai. Процесс моделирования состоял из нескольких ключевых этапов: построение модели периодонтальной связки, сборка моделей накладок и формирование модели брекет-системы. Результаты каждого этапа представлены на рисунках 8а, 8б и 8в соответственно. Для выполнения первых двух этапов использовалось программное обеспечение Materialise magics версии 22.03, а моделирование брекет-системы осуществлялось в программе Компас 3D v22. Подробное описание всех операций каждого этапа можно найти в таблице 1.

Таблица 1 – Детализация алгоритма подготовки модельной сборки

Этапы		
Моделирование периодонтальной связки	Компоновка моделей накладок	Моделирование брекет-системы
– Масштабирование каждой модели зуба с отступом 0,25 мм. – Разбиение каждой масштабированной модели по профилю челюсти на отбрасываемую часть и саму связку, контактирующую с костью. – Получение оболочки, вычитанием исходных моделей зубов. – Получение отдельных моделей связок каждого зуба.	– Пересечение поверхностей накладок и соответствующих зубов. – Вычитание геометрии зуба для формирования поверхности окклюзионного прилегания накладок.	– Расположение плоскости для дуг брекетов. – Создание в построенной плоскости траектории из 3-х кривых Безье по контуру зуба с отступом на толщину брекета. – Протягивание круглого сечения диаметром 0,5 мм по траектории дуги. – Компоновка брекетов по осям дуг.

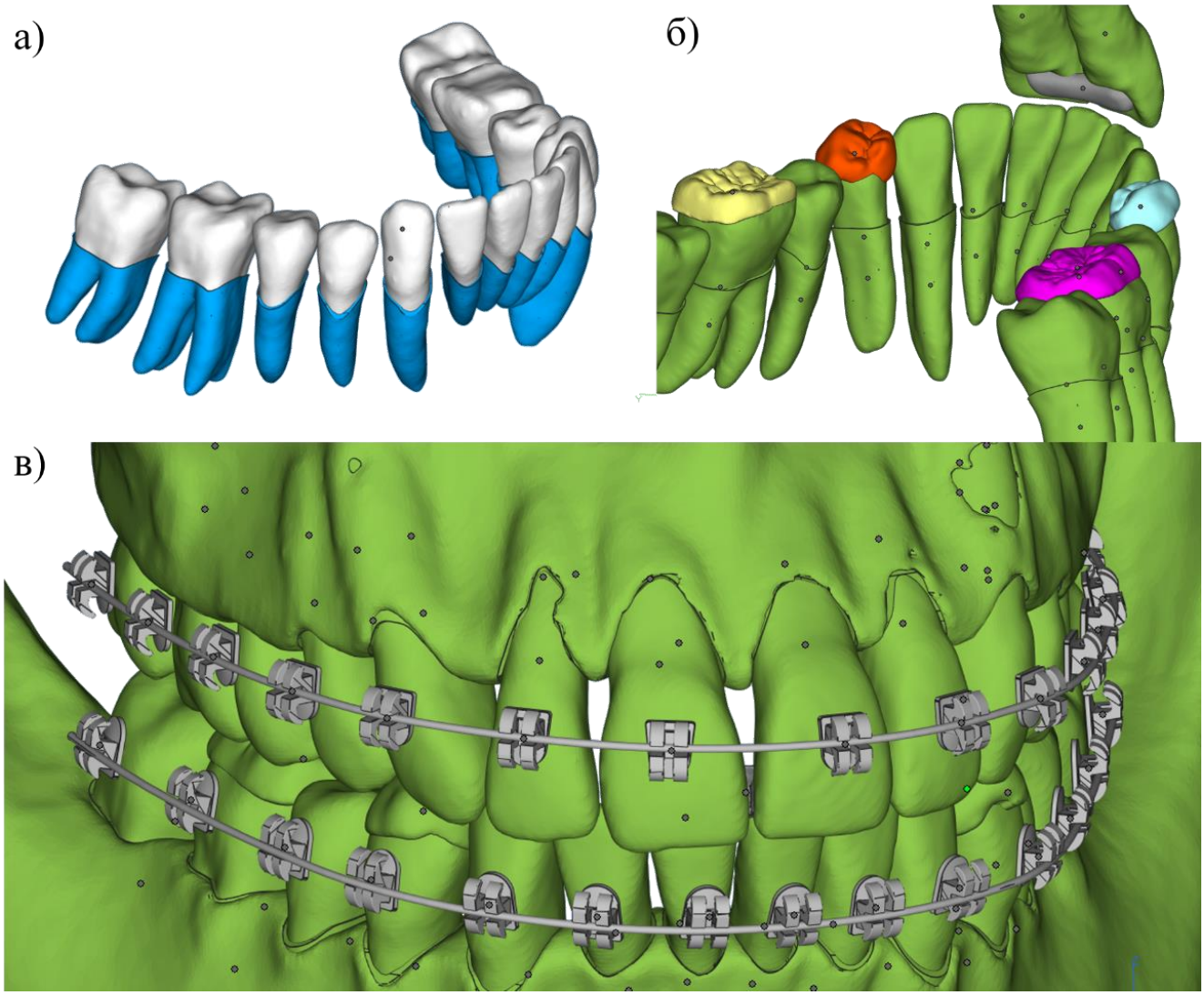


Рисунок 8 – Основные этапы подготовки модельной сборки: а) – моделирование периодонтальной связки; б) – компоновка моделей накладок; в) – моделирование брекет-системы

Из-за существенных проблем с сегментацией (маленькие отверстия/элементы и тонкие перегородки), которые мешали дальнейшему конечно-элементному моделированию (рисунок 9), разработана модель "эффективной среды". Эта модель имитирует ключевые функциональные характеристики интерфейса "челюсть-периодонтальная связка-зуб", игнорируя при этом эстетические и анатомические подробности, что иллюстрируется на рисунке 10. Моделирование проводилось с использованием программного обеспечения ANSYS 2026 R1. Модель состояла из 102330551 элементов и 18605555 узлов.

Взаимодействие между элементами (зуб, накладка, связка, кость) было реализовано с использованием контакта типа Bonded (жёсткое сцепление).

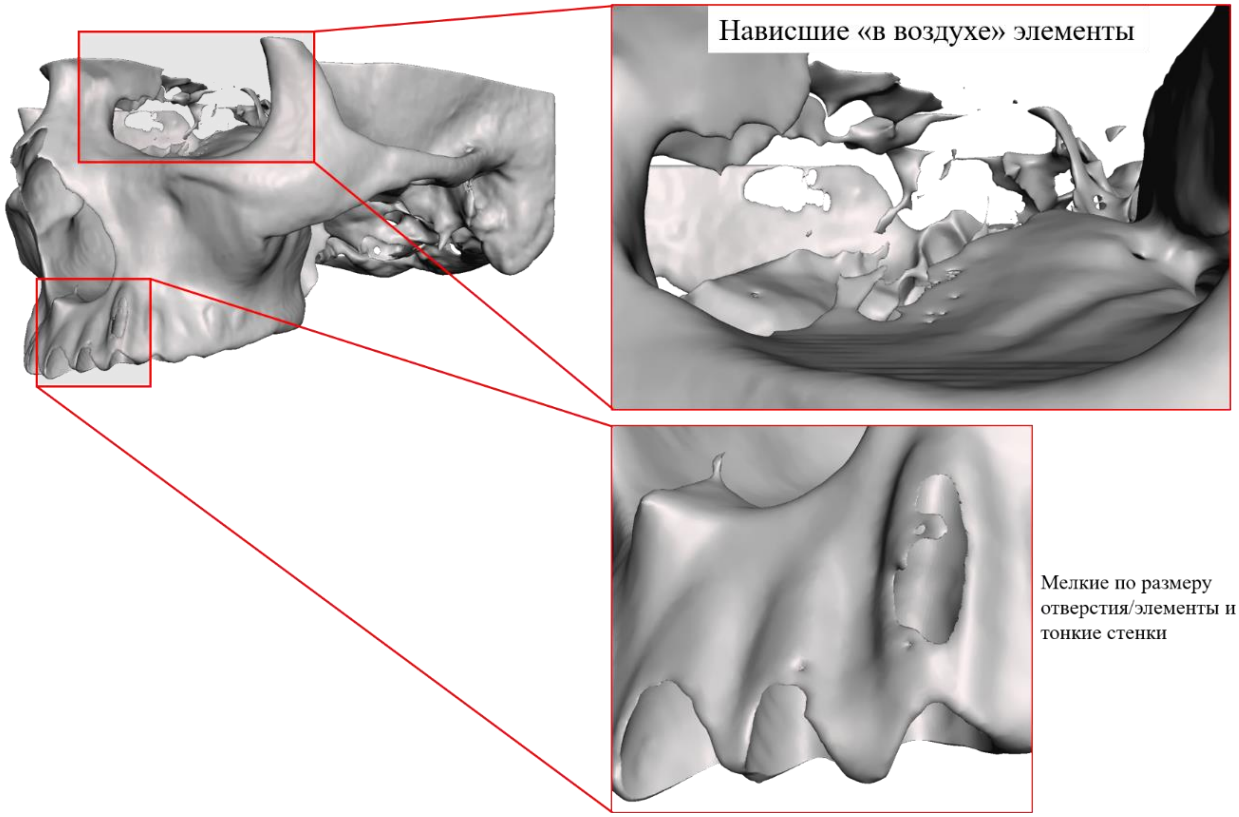


Рисунок 9 – Типовые ошибки, возникающие в процессе сегментации объемных панорамных 3D-моделей

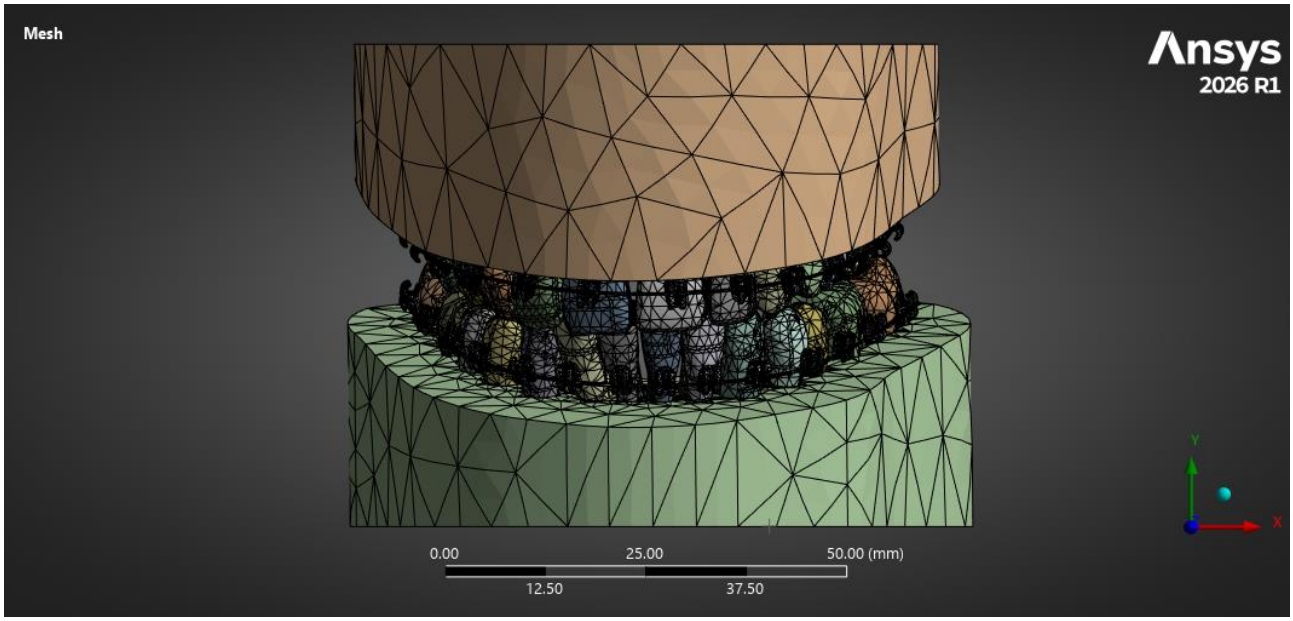


Рисунок 10 – Общий вид конечно-элементной модели

Таблица 2 содержит механические свойства ключевых элементов зубочелюстной системы, которые используются при проведении конечно-элементного анализа: зубы, периодонтальные связки, костная ткань и брекет-системы. Механические характеристики окклюзионных накладок были определены на основе экспериментальных данных, полученных в ходе исследования фотополимерной композитной смолы Dental Sand Pro от компании HARZ Labs, которая демонстрирует специфическое поведение под нагрузкой.

Таблица 2 – Механические свойства компонентов конечно-элементной модели [157]

	Модуль Юнга, МПа	Коэффициент Пуассона
Зуб	18600	0,31
Периодонтальная связка	0,68	0,48
Кость	13700	0,3
Брекет-система	210000	0,3
Окклюзионные накладки (результаты собственных исследований)	1650	0,41

В ходе исследования окклюзионные накладки устанавливались на центральные верхние резцы, первые премоляры и моляры нижней челюсти, что соответствовало условиям реальной клинической практики. Величины силы сжатия для каждой зоны нагружения были приняты по литературным данным клинического исследования, в котором сила естественного сжатия челюстей измерялась цифровым динамометром IDDK [163]. Таблица 3 содержит конкретные значения приложенных усилий. Чтобы обеспечить равномерное распределение нагрузки, исходный силовой вектор был разделен на две равные составляющие, ориентированные в одном направлении и приложенные с обеих сторон объекта (см. рисунок 11).

Таблица 3 – Силы окклюзионного нагружения для различных вариаций ориентации накладок в полости рта [163]

	Сила 1, Н	Сила 2, Н	Общая нагрузка, Н
Первые моляры НЧ	157,5	157,5	315
Первые премоляры НЧ	131	131	262
Центральные резцы ВЧ	46,5	46,5	93

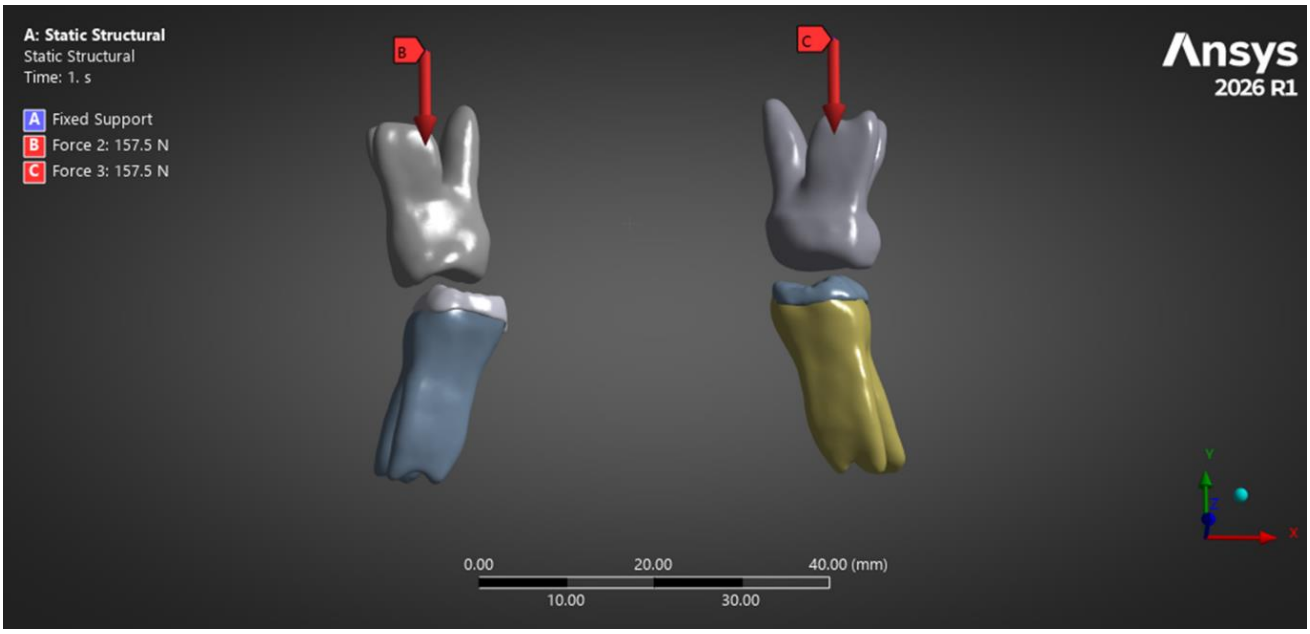


Рисунок 11 – Графическая иллюстрация направления усилий при выполнении конечно-элементного анализа

Сравнительной оценке подвергались рассчитанные значения смещений вдоль оси нагружения и напряжения по Мизесу (von Mises stress, VMS):

$$\sigma_{\text{VMS}} = \sqrt{\frac{(\sigma_X - \sigma_Y)^2 + (\sigma_Y - \sigma_Z)^2 + (\sigma_Z - \sigma_X)^2 + 6(\tau_{XY}^2 + \tau_{YZ}^2 + \tau_{ZX}^2)}{2}} \quad (1)$$

где σ_X, σ_Y, σ_Z – нормальные напряжения;

τ_{XY}, τ_{YZ}, τ_{ZX} – касательные напряжения.

2.4. Оценка мышечного тонуса с помощью поверхностной электромиографии

Данное исследование было направлено на изучение влияния позиции окклюзионных накладок на функциональное состояние мускулатуры у пациентов (18-35 лет) со скелетными аномалиями II класса, глубокой резцовой окклюзией и недостатком пространства в переднем отделе. В качестве основных критериев отбора были выбраны именно эти параметры. В исследовании приняли участие 15 человек. Регистрация ПСЭМГ у каждого пациента проводилась во всех четырёх условиях (без накладок и при трёх вариантах расположения накладок).

Процесс создания окклюзионных накладок осуществлялся с использованием прямого метода, состоящего из ряда ключевых этапов. Сначала зубы высушивались, затем на окклюзионную поверхность наносилась ортофосфорная кислота. После 20-секундного смывания водой поверхность снова высушивалась. Далее применялся праймер OPTIBOND FL, а затем светоотверждаемый фиксирующий композитный материал наносился на внутреннюю окклюзионную поверхность [101]. Пациент самостоятельно продвигал нижнюю челюсть вперед, пока центральные резцы верхней и нижней челюстей не соприкасались. Затем проверялось соотношение в боковых отделах, ориентируясь на соотношение клыков по I классу Энгля. В этом положении челюстей композитный материал засвечивался, после чего излишки материала удалялись. Наконец, проверялись контактные точки и артикуляция.

Алгоритм позволил разработать окклюзионные накладки, предназначенные для разных участков челюсти: передних зубов верхней и коренных/предкоренных зубов нижней. Для нахождения центра вращения использовалась статическая геометрическая модель треугольника Бонвиля, вершинами которого являются точка контакта нижних центральных резцов и центры мыщелков нижней челюсти.

Поверхностное электромиографическое исследование осуществлялось при помощи беспроводной системы мониторинга электрофизиологических сигналов, названной «Колибри». В ходе исследования регистрировались электрические

сигналы, генерируемые жевательными и височными мышцами [53]. Расположение электродов иллюстрируется рисунком 12.



Рисунок 12 – Изображение пациента с зафиксированными на жевательных и височных мышцах датчиками комплекса беспроводного мониторинга электрофизиологических сигналов «Колибри»

Данное исследование включало в себя поверхностную электромиографию у каждого пациента, выполненную как без накладок, так и с их применением в трех различных положениях накладок. Замеры проводились при двух режимах: расслабленном (глаза открыты) и усиливающемся сжатии. Анализировались следующие ключевые параметры: симметрия активности височных и жевательных мышц, выраженная в процентах, торсионный индекс, также представленный в процентах, и интегральный показатель общего мышечного напряжения (IMPACT). Электромиографические показатели представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Сравнительный анализ механических свойств полимерных композиционных материалов, использующихся при получении окклюзионных накладок

Рисунок 13 иллюстрирует диаграммы «напряжение–деформация», полученные в ходе механических испытаний на растяжение. Анализ результатов показал существенные различия в поведении двух композитов под нагрузкой. Стоматологический композит SM Light демонстрировал преимущественно упругую деформацию с очень малой зоной пластической деформации. Разрушение образцов наступало мгновенно и хрупко, сразу после достижения предельной прочности. Фотополимерная композитная смола Dental Sand Pro демонстрирует поведение образцов, где сначала фиксируется упругая деформация, а затем происходит переход к пластическому деформированию.

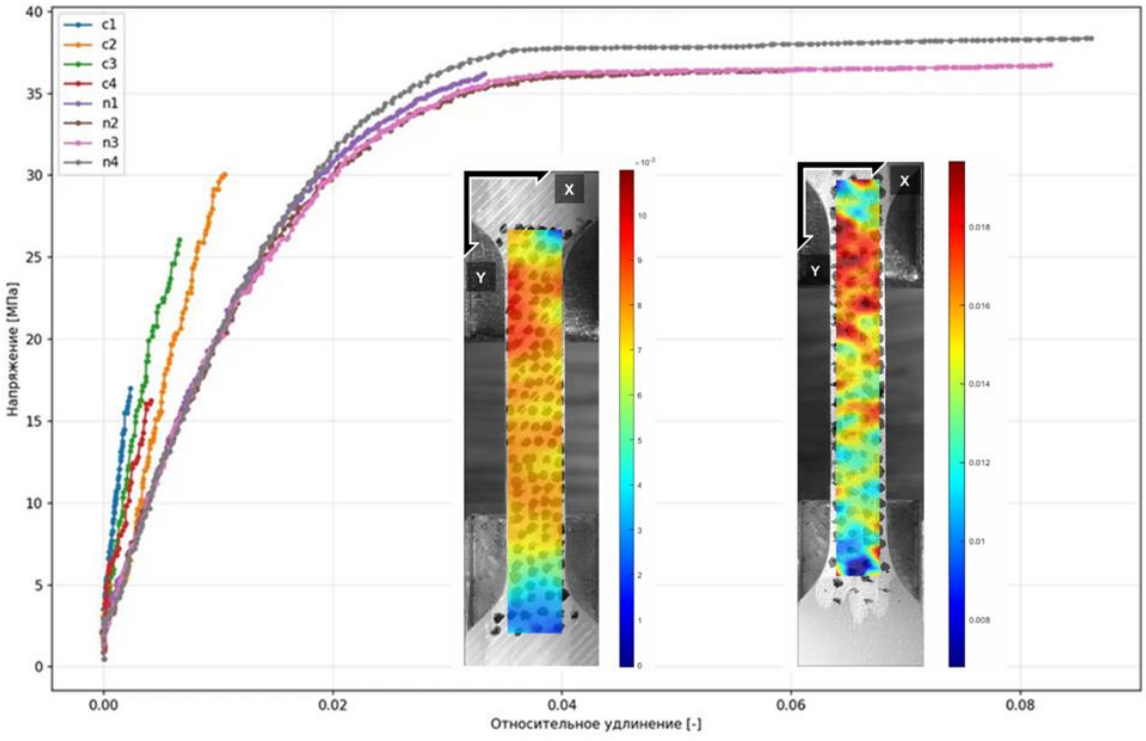


Рисунок 13 – Механические диаграммы «напряжение–деформация» исследуемых образцов

Таблица 4 демонстрирует механические свойства изученных материалов. Данные свидетельствуют о том, что стоматологический композиционный материал Dental Sand Pro, созданный методом фотополимеризации, обладает более высокой прочностью, которая колеблется от 36,2 до 38,4 МПа. Средний показатель прочности составляет 36,95 МПа с отклонением ± 1,00 МПа. При этом деформация разрушения для этого материала равна 0,065 ± 0,025. Композиты SM Light демонстрируют среднюю прочность 22,38 МПа, с колебаниями в пределах ±6,82 МПа. При этом их деформация при разрушении составляет всего 0,006 ± 0,004, что значительно ниже, чем у фотополимерной смолы Dental Sand Pro, которая показывает значение деформации примерно в 11 раз выше.

Композиты SM Light, демонстрирующие меньшую прочность, все же показывают значительно более высокий модуль Юнга по сравнению с Dental Sand Pro. Среднее значение модуля Юнга для SM Light составляет 4,18 ± 1,50 ГПа, в то время как у Dental Sand Pro он равен лишь 1,65 ± 0,06 ГПа. Это означает, что SM Light превосходит Dental Sand Pro в этом показателе более чем в 2,5 раза.

Из-за хрупкости образцов композита SM Light измерение коэффициента Пуассона оказалось затруднительным. Для сравнения, фотополимерная смола Dental Sand Pro демонстрирует среднее значение этого коэффициента, равное 0,41 с отклонением ± 0,02. Такой показатель характерен для полимеров с выраженной пластической (вязкоупругой) составляющей деформирования.

Таблица 4 – Механические характеристики исследованных стоматологических полимерных композитов

Образец	Модуль Юнга (ГПа)	Предел прочности (МПа)	Деформация разрушения	Коэффициент Пуассона
$c1$	6,2	17,0	0,0023	
$c2$	2,9	30,1	0,0106	
$c3$	4,4	26,1	0,0066	
$c4$	3,2	16,3	0,0041	
$\overline{X_c}$	4,18	22,38	0,0059	

Продолжение Таблицы 4

σ_c	1,50	6,82	0,0036	
$n1$	1,7	36,2	0,0332	0,44
$n2$	1,6	36,4	0,0593	0,40
$n3$	1,6	36,8	0,0826	0,42
$n4$	1,7	38,4	0,0862	0,39
$\overline{X_n}$	1,65	36,95	0,0653	0,41
σ_n	0,06	1,00	0,0245	0,02
Примечание: где $\overline{X_c}$, $\overline{X_n}$ – средние значения для групп композитов SM Light и Dental Sand Pro, соответственно; σ_c, σ_n – выборочные стандартные отклонения.				

Статистический анализ, представленный в таблице 5, выявил статистически значимые различия в средних значениях всех исследованных механических свойств. В частности, модуль Юнга стоматологического композита SM Light оказался на 2,53 ГПа выше, чем у фотополимерной смолы Dental Sand Pro. Это превышение, равное 60,53%, подтверждено статистической значимостью (t-статистика = 3,370; $p < 0,05$). Исследование выявило существенное преимущество Dental Sand Pro по прочности на разрыв по сравнению с SM Light. Разница составила 39,43% (14,57 МПа), что статистически достоверно (t = -4,232; p-value = 0,022). Аналогичная тенденция наблюдалась и при сравнении средних деформаций разрушения. Dental Sand Pro продемонстрировал более высокую деформацию разрушения – на 0,059 (90,97%) по отношению к SM Light, разница также оказалась статистически значимой (t = -4,797; p-value = 0,016).

Рисунки 14–16 иллюстрируют средние значения изучаемых механических свойств, дополненные показателями 95% доверительных интервалов для оценки их точности.

Таблица 5 – Статистический анализ механических характеристик исследованных стоматологических полимерных композитов с использованием t-критерия для независимых выборок

		Критерий равенства дисперсий Ливиня		t-критерий для равенства средних				
		F	p-value	t	df	p-value	95% доверительный интервал разности средних	
							Нижняя	Верхняя
Модуль Юнга (Гпа)	Не предполагаются равные дисперсии	8,329	0,028	3,370	3,009	0,043	0,14437	4,90563
Предел прочности (Мпа)		32,850	0,001	-4,232	3,129	0,022	-25,28482	-3,86518
Деформация разрушения		9,021	0,024	-4,797	3,129	0,016	-0,09794	-0,02091
Примечание: где p-value – вероятность получения рассчитанного или еще большего значения тестовой статистики критерия; F, t – статистики используемых статистических критериев; df – значение степеней свободы.								

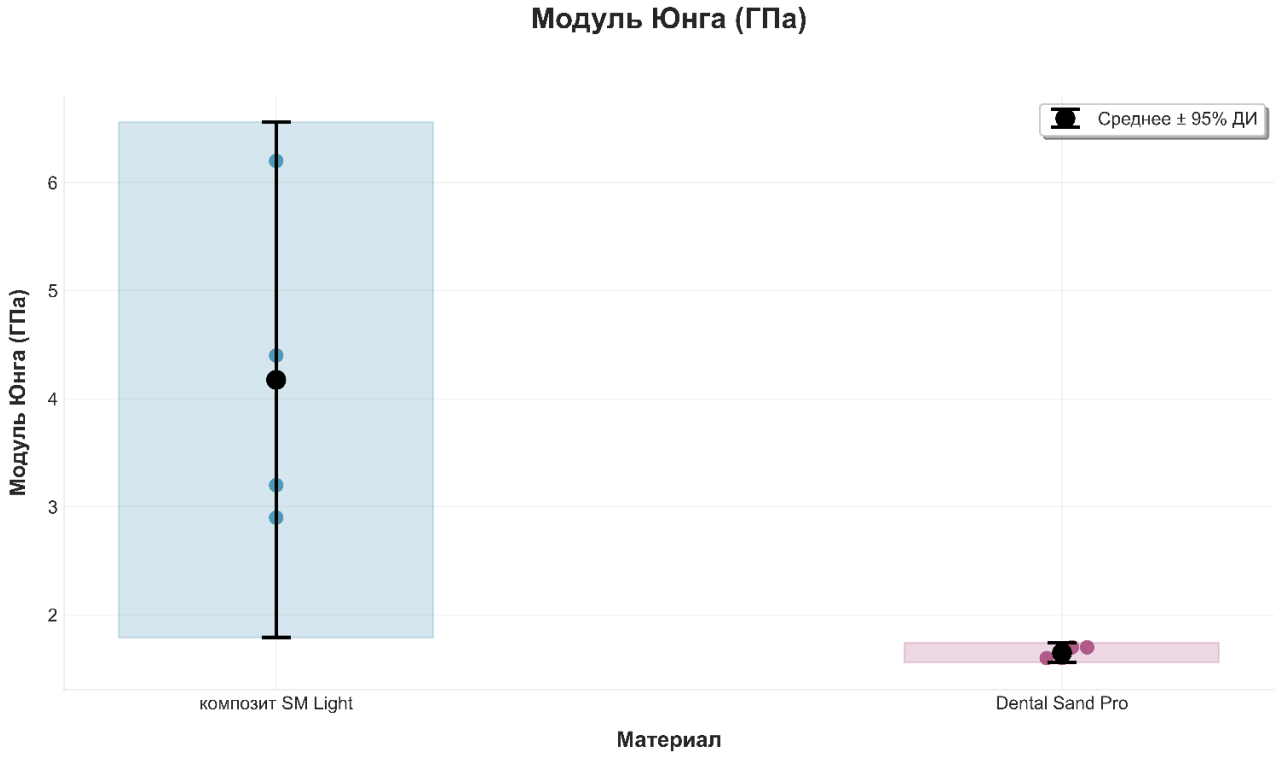


Рисунок 14 – Значения модулей упругости, рассчитанные при анализе стоматологических полимерных композиционных материалов, полученных с помощью прямого и лабораторного подходов (с указанием границ 95% доверительных интервалов)

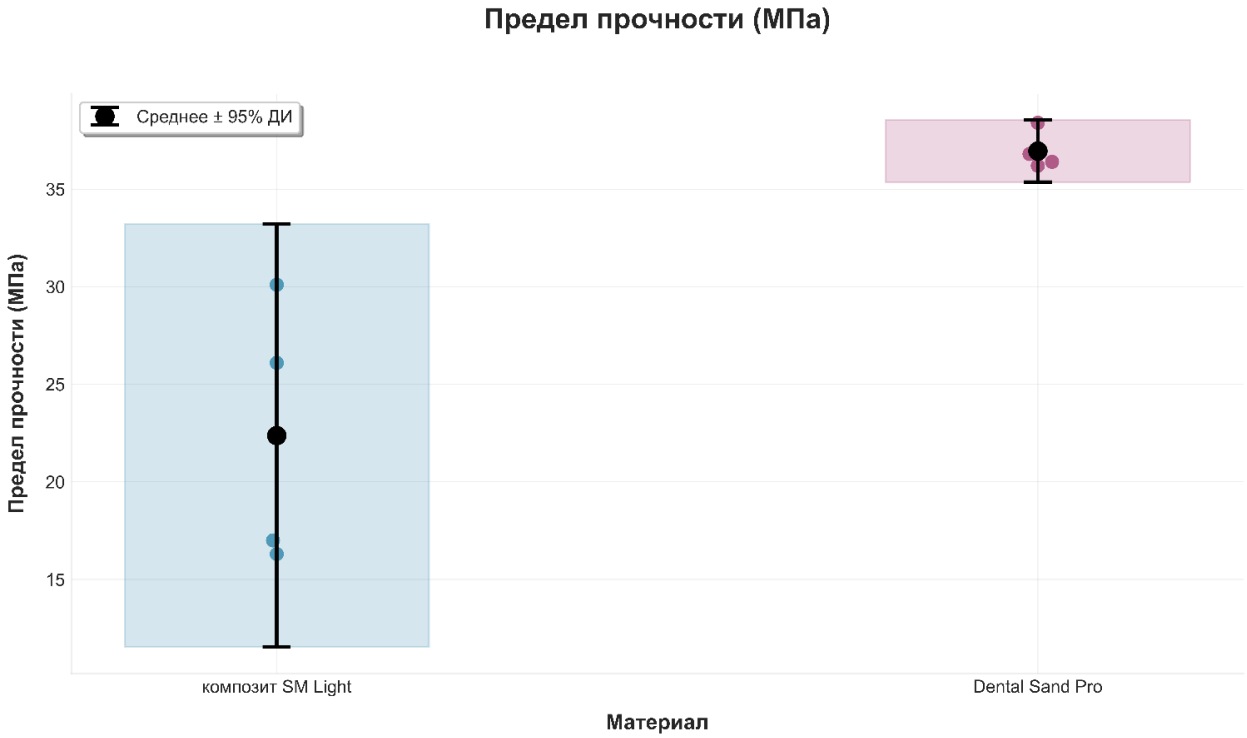


Рисунок 15 – Значения пределов прочности, рассчитанные при анализе стоматологических полимерных композиционных материалов, полученных с помощью прямого и лабораторного подходов (с указанием границ 95% доверительных интервалов)

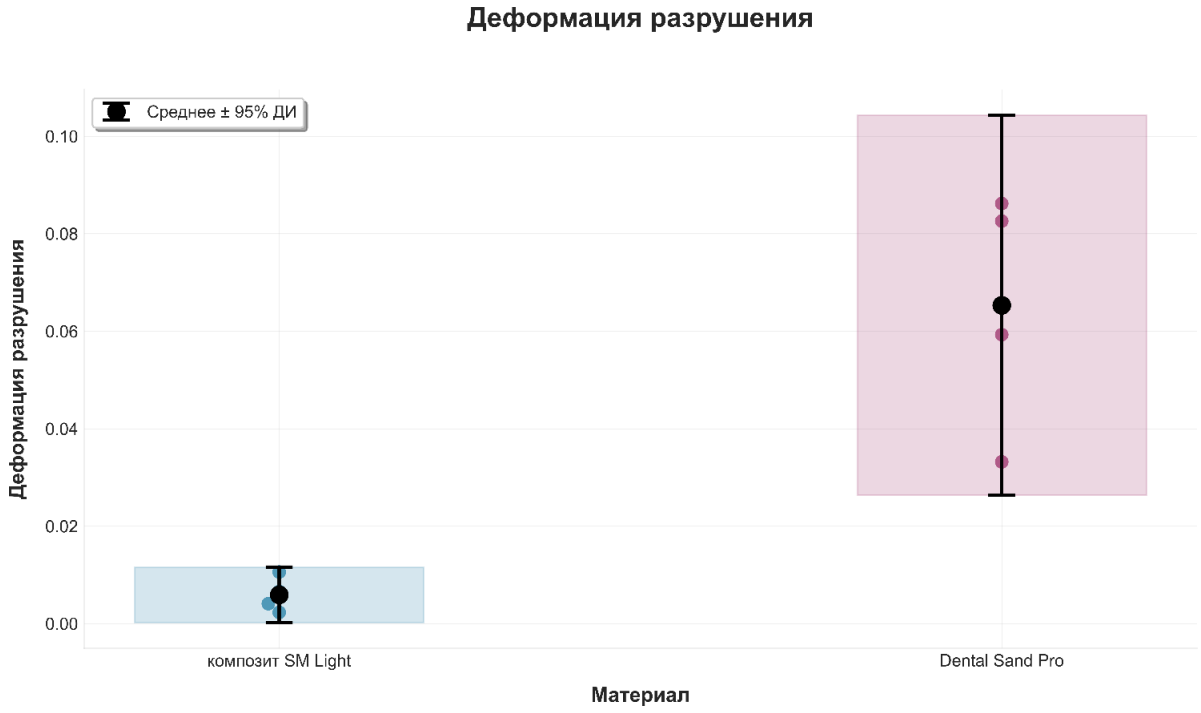


Рисунок 16 – Значения деформаций разрушения, рассчитанные при анализе стоматологических полимерных композиционных материалов, полученных с помощью прямого и лабораторного подходов (с указанием границ 95% доверительных интервалов)

Исследования позволили провести сравнительный анализ механических свойств полимерных композитов, применяемых в изготовлении окклюзионных ортодонтических накладок. При сравнении материалов, наряду с химическим составом, особое внимание уделялось различиям в технологиях их производства: прямым и лабораторным методам. Использование фотополимерной смолы Dental Sand Pro в 3D-печати показывает, что полученные материалы обладают высокой пластичностью. Это свойство может стать причиной деформации окклюзионных накладок под воздействием сильного жевательного давления, например, во время приема пищи. Стоматологический светоотверждаемый композит SM Light, используемый для создания накладок прямым методом, приводит к формированию композитных структур, которые демонстрируют хрупкость при превышении предельной нагрузки. Это свойство может стать причиной мгновенного разрушения накладки, требуя немедленного обращения к стоматологу для ее замены.

Исследование показало, что требуется дальнейшая работа по расширению списка параметров, которые сравниваются при анализе накладок, созданных с помощью разных технологий. К примеру, стоит изучить уровень адгезионного контакта. Также важно активно применять методы компьютерного моделирования, в том числе конечно-элементные модели. В данной работе механические свойства композитных материалов, такие как модуль упругости, прочность и коэффициент Пуассона, были использованы для создания конечно-элементной модели. При этом предполагалось, что рассматриваемые композиты обладают изотропными свойствами [126].

3.2. Оценка напряженно-деформированного состояния окклюзионных накладок при естественном сжатии челюстей

При приложенном сжимающем усилии в 315 Н на нижние моляры наблюдались наибольшие напряжения и деформации, с ярко выраженной

локальной концентрацией напряжений, сосредоточенной именно в зоне окклюзионных накладок. При удалении от точки соприкосновения значение напряжения резко снижалось. Такая картина может быть обусловлена как анатомической нагрузкой (жевательным давлением), так и концентрацией напряжений на жестких контактных поверхностях. Наибольшие напряжения, равные 299,54 МПа, наблюдались в микрорегионе материала, прилегающем к окклюзионной накладке (таблица 6). Такое значение объясняется эффектом края или контактным взаимодействием твердых тел, а не объемным разрушением материала. При небольшом удалении от точки максимального напряжения наблюдается резкое снижение его величины на границе "накладка-зуб" до более чем 100 МПа ниже первоначального уровня. Исследования показали, что в областях, находящихся далеко от места приложенной нагрузки (например, у корня зуба или на вестибулярной поверхности моляров за пределами зоны контакта), напряжения практически не регистрируются (рисунок 17). Изменение смещений по оси колебалось от -0,6732 до +0,0167 мм, при середине диапазона -0,3283 мм. Эти данные представляют собой предельные значения для всех изученных ситуаций и указывают на максимальную компрессию периодонтальной связки в данной группе зубов, подвергающихся жевательной нагрузке.

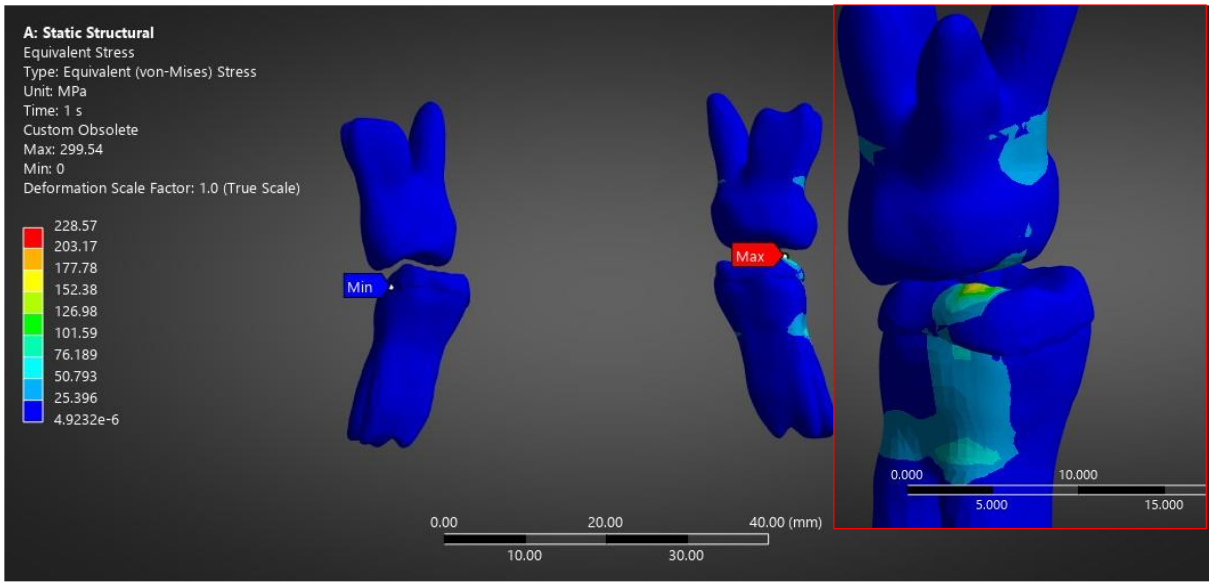


Рисунок 17 – Графическая иллюстрация распределения напряжений в области первых моляров при сжимающем усилии 315 Н

При приложении нагрузки в 262 Н к окклюзионным накладкам, расположенным на первых премолярах нижней челюсти, наблюдается снижение величины напряжений. Важно отметить, что расчетные результаты демонстрируют рассредоточенное распределение зон с минимальными и максимальными напряжениями, которые локализуются в разных анатомических участках и структурных компонентах. Это указывает на более равномерное распределение нагрузки, как видно из рисунка 18. Область с наибольшими напряжениями (от 6,2 до 9,32 МПа) распространяется на обширную площадь, указывая на отсутствие концентрации нагрузки в конкретных точках контакта и равномерное распределение напряжений по поверхности окклюзионной накладки. Свойства периодонтальной связки и кости позволяют сделать вывод о том, что низкомодульная периодонтальная связка эффективно демпфирует нагрузку, предотвращая возникновение опасных точек концентрации напряжений в зоне соединения накладки с зубом. Расчеты показали, что максимальное напряжение в этом случае составило 9,32 МПа, что примерно в 32 раза меньше значения для группы первых моляров (таблица 6).

Исследования демонстрируют, что при размещении накладок на премолярах нижней челюсти и при приложении нагрузки в 262 Н запас прочности как зубов, так и материала накладок оказывается весьма значительным. При этом расчетные напряжения во всех элементах модели не выходят за пределы упругого деформирования. Наблюдается распределение напряжений низкого уровня по всему объему премоляров.

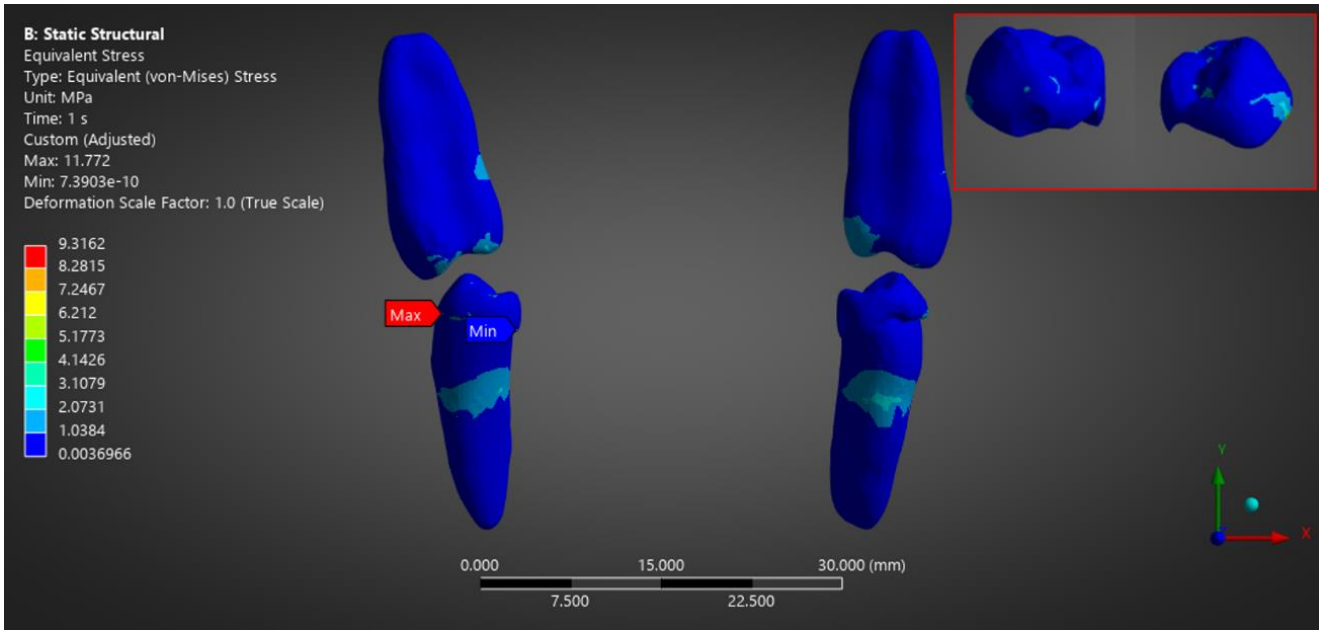


Рисунок 18 – Графическая иллюстрация распределения напряжений в области первых премоляров при сжимающем усилии 262 Н

Максимальные напряжения при нагружении группы верхнечелюстных резцов силой 93 Н составили 4,23–5,75 МПа. При этом максимальные напряжения наблюдались не только на центральных резцах, но и в области периодонтального аппарата, а также на окклюзионной накладке (таблица 6). Минимальное напряжение регистрировалось при фиксированном положении окклюзионной накладки на верхних передних зубах. Максимальное напряжение в периодонтальной связке (5,75 МПа) превышает аналогичное значение в костной ткани. Это наблюдение может свидетельствовать о большей способности связок поглощать нагрузку по сравнению с костными тканями. Вычисленные смещения фронтальной группы зубов оказались наименьшими и варьировались в пределах от 0,00013 до 0,00042 мм [93].

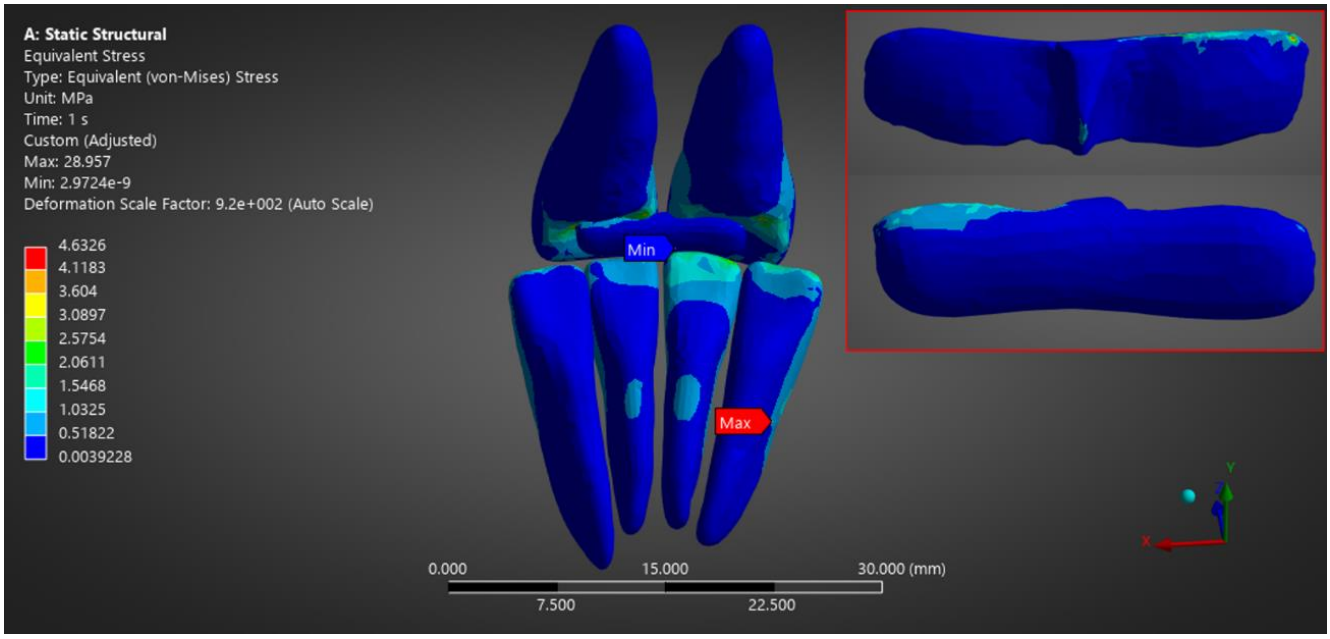


Рисунок 19 – Графическая иллюстрация распределения напряжений в области верхнечелюстных резцов при сжимающем усилии 93 Н

Таблица 6 – Сводная таблица рассчитанных в ходе конечно-элементного анализа напряжений и смещений вдоль оси нагружения

Первые моляры нижней челюсти		
Минимальные и максимальные напряжения образованы в области соответствующих накладок		
Окклюзионные накладки		
	VMS, МПа	Смещения вдоль оси нагружения
Макс	299,54	0,0167
Среднее*	149,77	-0,3283
Мин	0	-0,6732
Первые премоляры нижней челюсти		
Минимальные и максимальные напряжения образованы в различных областях		
Первые премоляры		
	VMS, МПа	Смещения вдоль оси нагружения
Макс	9,32	0,00092
Среднее*	4,66	-0,00207
Мин	0	-0,00506
Периодонтальная связка		
	VMS, МПа	Смещения вдоль оси нагружения
Макс	4,67	0,00092
Среднее*	2,34	-0,00207
Мин	0	-0,00506

Продолжение Таблицы 6

Окклюзионные накладки		
	VMS, МПа	Смещения вдоль оси нагружения
Макс	9,32	-0,00022
Среднее*	4,66	-0,00106
Мин	0	-0,00191
Центральные резцы верхней челюсти		
Минимальные и максимальные напряжения образованы в различных областях		
Центральные резцы		
	VMS, МПа	Смещения вдоль оси нагружения
Макс	4,63	0,00013
Среднее*	2,32	-0,00014
Мин	0	-0,00042
Периодонтальная связка		
	VMS, МПа	Смещения вдоль оси нагружения
Макс	5,75	0,00009
Среднее*	2,88	0,00001
Мин	0	-0,00008
Окклюзионные накладки		
	VMS, МПа	Смещения вдоль оси нагружения
Макс	4,23	-0,00015
Среднее*	2,12	-0,00025
Мин	0	-0,00035
Примечание: * Середина диапазона значений, рассчитанная как (Макс + Мин)/2; не является средним значением по объему модели.		

Исследование влияния окклюзионных накладок, изготовленных из фотополимерной смолы Dental Sand Pro, на напряженно-деформированное состояние зубов и челюстей дало возможность сделать ряд важных заключений.

Размещение окклюзионных накладок на первых молярах нижней челюсти может привести к негативным последствиям, таким как деформация и поломка самих накладок, а также к перегрузке периодонта опорных зубов. Это обусловлено возникновением высоких локальных напряжений в зоне контакта (до 299,54 МПа), которые превышают прочность многих стоматологических композитов, используемых при изготовлении этих накладок. При составлении плана лечения,

включающего накладки на жевательные зубы, необходимо учитывать факторы, такие как бруксизм и повышенный тонус жевательной мускулатуры.

При креплении накладок на премолярах нижней челюсти максимальное напряжение не превысило 9,32 МПа. Такой показатель существенно снижает вероятность возникновения дефектов. С точки зрения клинической практики, эта зона фиксации считается оптимальной.

Расположение накладок на верхних резцах является наиболее безопасным вариантом с точки зрения механической нагрузки, поскольку при наименьшей функциональной нагрузке (93 Н) возникающие напряжения минимальны и эффективно демпфируются связочным аппаратом зубов.

Ограничения конечно-элементного анализа. Полученные расчетные данные следует интерпретировать с учетом допущений принятой модели. Модель построена по данным компьютерной томографии одного пациента; материалы описаны как линейно-упругие изотропные, взаимодействие компонентов задано контактом типа Bonded, а величины окклюзионных нагрузок приняты по литературным данным [163] и различаются для разных зон фиксации, поэтому различия в напряжениях отражают совместное влияние локализации накладки и величины нагрузки. Максимальные значения напряжений в зонах контакта (в частности, 299,54 МПа в области моляров) являются локальными пиковыми величинами, чувствительными к геометрии контактной поверхности, дискретизации сетки и способу задания контакта; они рассматриваются как показатель наличия зоны концентрации напряжений, а не как абсолютная характеристика прочности конструкции.

Анализ устойчивости результатов к индивидуальной анатомии и альтернативным значениям механических параметров (свойства периодонтальной связки и костной ткани, тип контакта, величина и направление нагрузки) в рамках настоящей работы не выполнялся. В связи с этим клинически значимым результатом моделирования является соотношение напряжений между вариантами расположения накладок, рассчитанных в одинаковых условиях, тогда как перенос абсолютных значений на конкретного пациента требует персонализированного

моделирования и клинической верификации. Оценка риска резорбции корней зубов в задачи моделирования не входила: для ее прогнозирования необходимы анализ гидростатического давления в периодонтальной связке с учетом длительности нагрузки и клинико-рентгенологическое наблюдение (КЛКТ).

3.3. Влияние расположения окклюзионных накладок на результаты оценки мышечного тонуса

Таблица 7 демонстрирует результаты измерений. Важно подчеркнуть, что у участников исследования, не имевших накладок, была зафиксирована базовая асимметрия в жевательных и височных мышцах. Исследования показали, что во время фазы нарастающего сжатия наблюдается увеличение групповой симметрии височных и жевательных мышц на 19,66% по отношению к уровню симметрии в состоянии покоя. Этот результат указывает на наличие компенсаторных механизмов.

Таблица 7 – Результаты проведения поверхностной электромиографии жевательных и височных мышц пациентов при различном позиционировании окклюзионных накладок (X ± SD)

Условие	Тип пробы	Симметрия височных мышц, %	Симметрия жевательных мышц, %	Торсионный индекс, %	IMPACT, мкВ
Без накладок	Тонус покоя (откр. глаза)	67,67 ± 17,90	66,00 ± 13,89	89,33 ± 11,59	84,33 ± 28,92
	Нарастающее сжатие	85,67 ± 10,79	87,33 ± 9,29	92,33 ± 4,16	489,67 ± 276,70

Продолжение Таблицы 7

Центр. резцы	Тонус покоя (откр. глаза)	71,33 ± 10,50	76,00 ± 12,29	79,67 ± 9,61	60,00 ± 18,03
	Нарастающее сжатие	74,67 ± 31,07	85,67 ± 10,79	90,67 ± 7,09	161,33 ± 51,98
Зубы 4-5	Тонус покоя (откр. глаза)	70,67 ± 31,13	60,67 ± 12,90	69,67 ± 10,97	87,00 ± 44,03
	Нарастающее сжатие	83,00 ± 18,03	63,33 ± 20,60	76,33 ± 18,50	221,33 ± 61,17
Зубы 6-7	Тонус покоя (откр. глаза)	55,00 ± 5,20	81,67 ± 15,37	71,67 ± 10,69	95,67 ± 9,24
	Нарастающее сжатие	64,33 ± 28,36	72,00 ± 9,54	67,67 ± 6,03	285,00 ± 161,79

Применение окклюзионных накладок на передние зубы не решало проблему мышечной асимметрии. Напротив, у 25% участников исследования это способствовало усилению асимметрии, которая была зафиксирована во время функционального покоя. Исследования показали, что общая асимметрия жевательных и височных мышц осталась неизменной. Несмотря на общий тренд, некоторые пациенты демонстрировали улучшение симметрии височных мышц во время фазы нарастающего сжатия. При этом асимметрия жевательных мышц оставалась неизменной, с показателями от 74% до 84% для височных мышц и от 81% до 100% для жевательных.

Применение прямых накладок на премолярах может негативно сказаться на симметрии жевательных мышц и торсионном индексе. В некоторых случаях наблюдается значительное снижение этих показателей, достигающее минимального уровня 57% как в расслабленном состоянии, так и при активном сжатии зубов. При этом по сравнению с исходными значениями без накладок, наблюдается уменьшение на 14,66% и 17,83% соответственно. Исследования демонстрируют, что размещение накладок на премолярах нижней челюсти при нарастающем сжатии может вызвать значительную асимметрию височных мышц. Такая асимметрия не наблюдается в состоянии, когда жевательные мышцы находятся в покое. Рисунок 20 иллюстрирует распределение процентов симметрии для жевательных и височных мышц, а также торсионного индекса, в зависимости от того, где именно установлены накладки.

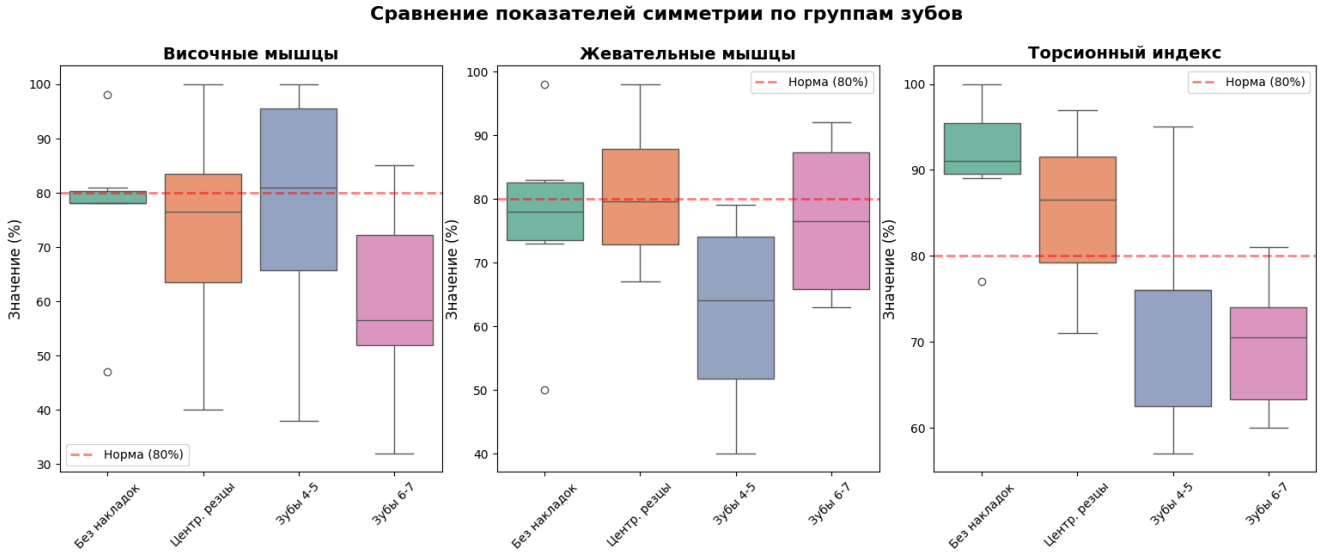


Рисунок 20 – Распределение процентных значений симметрии групп жевательных, височных мышц и торсионного индекса

Фиксация окклюзионных накладок на нижнечелюстных молярах вызывало более заметную асимметрию по сравнению с группой премоляров. Эта асимметрия проявлялась во всех индексах одновременно: височном, жевательном и торсионном. Такой результат свидетельствует о системном нарушении мышечной активности.

Сравнительное исследование показало, что накладки на молярах оказывают более значительное воздействие на симметрию височных мышц (изменение на 15,67% в состоянии покоя и 18,67% при нарастающем сжатии) и торсионный индекс (изменение на 8,66% при нарастающем сжатии) у пациентов, чем премоляры. Эти различия наблюдаются при использовании окклюзионных накладок. Рисунок 21 иллюстрирует зависимость степени мышечной асимметрии от расположения окклюзионных накладок.

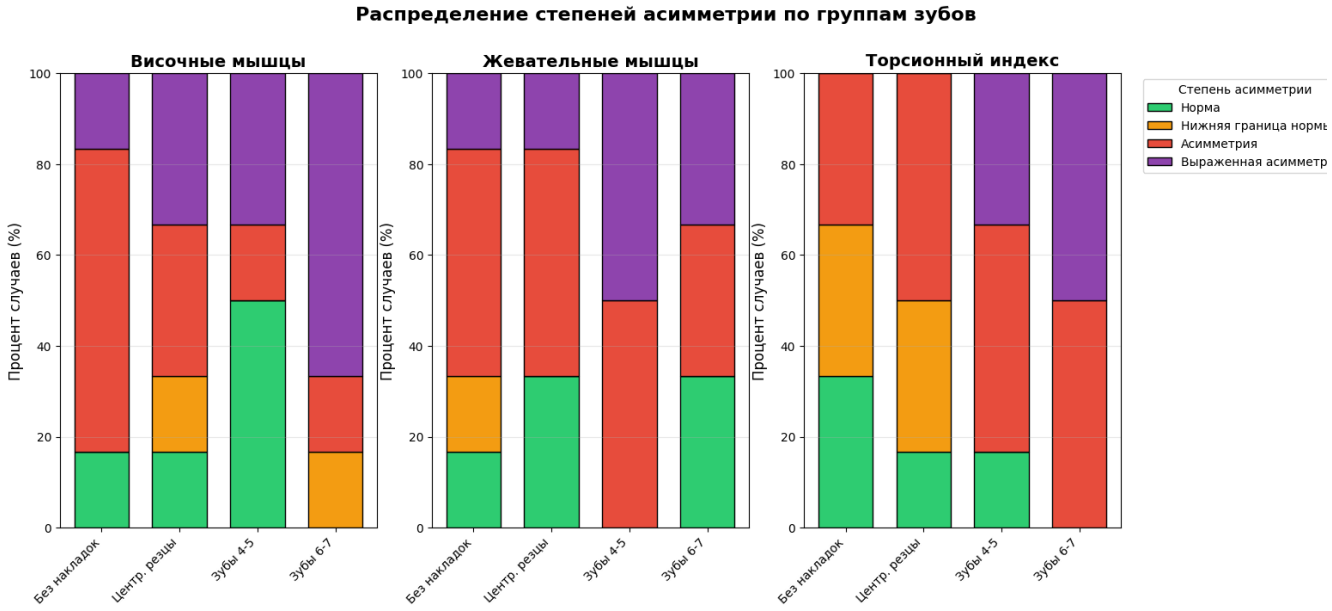


Рисунок 21 – Процентное распределение степени асимметрии в зависимости от области позиционирования окклюзионных накладок

Несмотря на различия в сегментах фиксации и режимах регистрации электрических сигналов, интегральный показатель мышечного тонуса (IMPACT) не показал отклонений от нормы ни в одном из исследуемых условий. Это свидетельствует о способности мышц адаптироваться к внешним условиям, а не о наличии патологического напряжения или расслабления [71].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей диссертационной работе решена актуальная научно-практическая задача – научное обоснование выбора материала и расположения окклюзионных накладок при ортодонтической коррекции (в том числе при скелетной аномалии второго класса) на основе комплексного анализа механических свойств полимерных композитов, конечно-элементного моделирования напряжённо-деформированного состояния зубочелюстной системы и оценки функционального состояния жевательных мышц методом поверхностной электромиографии.

Проведённое исследование позволило сформулировать следующие основные итоги.

Впервые с использованием метода цифровой корреляции изображений (DIC) выполнено прямое сопоставление механических характеристик двух типов полимерных композитов, применяемых для изготовления окклюзионных накладок: светоотверждаемого композита SM Light (прямой метод) и фотополимерной смолы Dental Sand Pro (лабораторный метод 3D-печати). Установлено, что Dental Sand Pro обладает статистически значимо более высокими значениями предела прочности на растяжение (36,95 ± 1,00 МПа против 22,38 ± 6,82 МПа; $p = 0,022$) и деформации разрушения (0,065 ± 0,025 против 0,006 ± 0,004; $p = 0,016$), тогда как SM Light характеризуется более высоким модулем Юнга (4,18 ± 1,50 ГПа против 1,65 ± 0,06 ГПа; $p = 0,043$). Коэффициент Пуассона для Dental Sand Pro составил 0,41 ± 0,02, что характерно для высокоэластичных полимеров; для SM Light определение данного параметра оказалось невозможным вследствие хрупкого характера разрушения. Полученные данные объясняют принципиально разное механическое поведение накладок в клинических условиях: Dental Sand Pro демонстрирует пластическую деформацию при перегрузках, тогда как SM Light склонен к мгновенному хрупкому перелому.

Разработана конечно-элементная модель зубочелюстной системы, включающая зубы, периодонтальную связку, костную ткань, брекет-систему и

окклюзионные накладки (общее количество элементов – 102 330 551, узлов – 18 605 555). Выполнена оценка напряжённо-деформированного состояния накладок из композитной смолы Dental Sand Pro при трёх клинически значимых локализациях: первые моляры нижней челюсти (нагрузка 315 Н), первые премоляры нижней челюсти (262 Н) и центральные резцы верхней челюсти (93 Н). Выявлено, что максимальные напряжения по Мизесу (299,54 МПа) возникают в области моляров с резким градиентом снижения при удалении от зоны контакта. Данное значение превышает предел прочности большинства стоматологических композитов, включая Dental Sand Pro (36,95 МПа) и SM Light (22,38 МПа), что указывает на наличие зоны концентрации напряжений и риск дефектообразования и распространения трещин в накладке. В области премоляров максимальные напряжения составили 9,32 МПа, распределяясь равномерно по всей поверхности накладки, что свидетельствует о благоприятном напряжённо-деформированном состоянии и низком риске разрушения. В зоне резцов максимальные напряжения не превысили 5,75 МПа, а смещения вдоль оси нагружения были минимальны (0,00013–0,00042 мм). Таким образом, с позиции биомеханики (в рамках принятой расчетной модели) наиболее предпочтительной областью фиксации являются первые премоляры нижней челюсти, а наиболее безопасной – центральные резцы верхней челюсти.

В ходе поверхностной электромиографии 15 пациентов со скелетной аномалией второго класса показано, что в отсутствие накладок в фазе нарастающего сжатия наблюдается естественное увеличение симметрии височных и жевательных мышц в среднем на 19,66% (феномен «рабочей компенсации»). Фиксация накладок в области центральных резцов не вызывает значимых нарушений нейромышечной координации: интегральный показатель общего мышечного тонуса (IMPACT) остаётся в пределах физиологической нормы (60,00 ± 18,03 мкВ в покое, 161,33 ± 51,98 мкВ при нарастающем сжатии). Позиционирование накладок в области премоляров сопровождается неоднозначными эффектами: у 25% пациентов выявлено изолированное улучшение симметрии височных мышц при сохраняющейся дисфункции

жевательных. Наиболее грубые нарушения нейромышечной координации зарегистрированы при фиксации накладок на молярах: снижение симметрии височных мышц достигает 18,67%, а торсионного индекса – 8,66% по сравнению с премолярной локализацией; симметрия жевательных мышц при нарастающем сжатии снижается на 15,33% по сравнению с контрольными измерениями без накладок. Полученные данные свидетельствуют о том, что выбор области фиксации окклюзионных накладок оказывает прямое влияние на функциональное состояние жевательного аппарата и должен учитываться при планировании лечения пациентов с дистальной окклюзией.

Сопоставление данных трёх компонентов исследования (механика материалов, конечно-элементное моделирование, электромиография) позволяет утверждать, что оптимальной с клинической точки зрения областью фиксации окклюзионных накладок являются первые премоляры нижней челюсти. В данной локализации достигается баланс между допустимыми механическими напряжениями (9,32 МПа), отсутствием критических концентраторов напряжений и умеренным влиянием на мышечную симметрию (снижение не более чем на 15–18% с сохранением рабочей компенсации). Фиксация на молярах противопоказана при наличии бруксизма, повышенного тонуса жевательных мышц или признаков мышечно-суставной дисфункции. Фиксация на резцах является наиболее безопасной, особенно для пациентов с исходными нарушениями нейромышечной координации, однако может быть недостаточно эффективной для устранения глубокой резцовой окклюзии.

Разработанные практические рекомендации включают алгоритм выбора материала (SM Light – для краткосрочной коррекции при отсутствии парафункций; Dental Sand Pro – для длительного ношения и пациентов с бруксизмом), выбор области фиксации (премоляры – оптимально, резцы – безопасно, моляры – только при строгих показаниях и динамическом контроле), а также схему мониторинга (осмотр каждые 4–6 недель, электромиографический контроль при наличии возможностей). Рекомендации могут быть внедрены в работу ортодонтических

отделений стоматологических поликлиник, а также использованы в учебном процессе на кафедрах ортодонтии и детской стоматологии.

Результаты диссертационной работы открывают направления для последующих научных изысканий. Целесообразно: (1) расширение спектра исследуемых композитных материалов, включая новые поколения фотополимерных смол с варьируемым содержанием наполнителя; (2) проведение клинических проспективных исследований для оценки долгосрочной выживаемости накладок из разных материалов в зависимости от области фиксации; (3) разработка персонализированного конечно-элементного прогнозирования на основе данных конусно-лучевой компьютерной томографии индивидуального пациента; (4) изучение возможности использования окклюзионных накладок не только как разобщающего, но и как активно действующего ортодонтического элемента (например, для создания направленных сил); (5) оценка устойчивости результатов конечно-элементного моделирования на моделях с различной индивидуальной анатомией и при альтернативных значениях механических параметров; (6) клинико-рентгенологическая (КЛКТ) оценка состояния корней опорных зубов при различной локализации окклюзионных накладок. Кроме того, заслуживает внимания оценка адгезионных свойств сравниваемых материалов к твёрдым тканям зуба и долговременной стабильности окклюзионных контактов.

Таким образом, на основании проведённых экспериментальных, расчётных и функциональных исследований показано, что обоснованный выбор материала и области фиксации окклюзионных накладок позволяет минимизировать риск их механического разрушения и сохранить физиологический паттерн сокращения жевательных мышц. Наиболее предпочтительной областью фиксации являются первые премоляры нижней челюсти; приоритетным материалом для длительного ношения и пациентов с бруксизмом – фотополимерная смола Dental Sand Pro (лабораторный метод), а для краткосрочной коррекции без парафункций – светоотверждаемый композит SM Light (прямой метод). Полученные результаты имеют теоретическое и практическое значение для современной ортодонтии и могут быть использованы при совершенствовании клинических протоколов

ведения пациентов со скелетными аномалиями прикуса после их подтверждения в проспективных клинических исследованиях.

ВЫВОДЫ

На основании проведённых экспериментальных, расчётных и функциональных исследований, направленных на научное обоснование выбора материала и расположения окклюзионных накладок при ортодонтической коррекции (в том числе при скелетной аномалии второго класса), сформулированы следующие выводы:

1. Фотополимерная смола Dental Sand Pro (лабораторный метод 3D-печати) характеризуется более высокими значениями предела прочности на растяжение (36,95 ± 1,00 МПа против 22,38 ± 6,82 МПа) и деформации разрушения (0,065 ± 0,025 против 0,006 ± 0,004) по сравнению со светоотверждаемым композитом SM Light (прямой метод). Напротив, модуль Юнга SM Light в 2,53 раза выше (4,18 ± 1,50 ГПа против 1,65 ± 0,06 ГПа). Данные различия статистически значимы ($p<0,05$), что определяет принципиально разное механическое поведение накладок: Dental Sand Pro склонна к пластической деформации, SM Light – к хрупкому разрушению.

2. Конечно-элементное моделирование в рамках принятой расчетной модели показало, что максимальные напряжения по Мизесу (299,54 МПа) возникают при расположении накладок в области первых моляров нижней челюсти (нагрузка 315 Н), что в 32 раза превышает соответствующие значения для премоляров (9,32 МПа при нагрузке 262 Н) и в 52 раза – для центральных резцов верхней челюсти (5,75 МПа при нагрузке 93 Н). В зоне моляров зарегистрирован резкий градиент напряжений на интерфейсе «накладка–зуб» с превышением предела прочности большинства стоматологических композитов, что указывает на риск дефектообразования накладки в зоне контакта.

3. В отсутствие окклюзионных накладок у пациентов со скелетной аномалией второго класса наблюдается феномен «рабочей компенсации»: в фазе нарастающего сжатия челюстей симметрия височных и жевательных мышц возрастает в среднем на 19,66% по сравнению с состоянием покоя, что указывает на сохранные адаптационные механизмы зубочелюстной системы.

4. По данным поверхностной электромиографии, фиксация накладок в области моляров вызывает наиболее выраженную асимметрию височных мышц (Δ до 18,67% по сравнению с премолярной локализацией) и ухудшение торсионного индекса (Δ до 8,66% по сравнению с премолярной локализацией). Позиционирование накладок в области премоляров даёт неоднозначные эффекты (у 25% пациентов наблюдается изолированное улучшение работы височных мышц при сохраняющейся дисфункции жевательных). Наиболее безопасным с точки зрения нейромышечной координации является расположение накладок на центральных резцах верхней челюсти: интегральный показатель общего мышечного тонуса (IMPACT) остаётся в пределах физиологической нормы (60,00 ± 18,03 мкВ в покое, 161,33 ± 51,98 мкВ при нарастающем сжатии), что свидетельствует о функциональной адаптации без патологического перенапряжения.

5. Клинически предпочтительной областью фиксации окклюзионных накладок с позиции минимизации риска механического разрушения и сохранения нейромышечного баланса являются первые премоляры нижней челюсти. Фиксация на молярах должна проводиться с осторожностью (требуется учёт бруксизма и повышенного тонуса жевательных мышц), а расположение на резцах является наиболее безопасным, но может не обеспечивать необходимого разобщения при глубокой резцовой окклюзии.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

На основании результатов проведённого комплексного исследования, включавшего сравнительный анализ механических свойств полимерных композиционных материалов, конечно-элементное моделирование напряжённо-деформированного состояния зубочелюстной системы при различных вариантах расположения окклюзионных накладок, а также оценку функционального состояния жевательных и височных мышц методом поверхностной электромиографии, разработаны следующие практические рекомендации.

Приведенные рекомендации основаны на результатах лабораторных испытаний, расчетного моделирования на одной анатомической модели и электромиографического обследования ограниченной группы пациентов без клинически выраженной дисфункции ВНЧС. Указанные пороговые значения и сроки носят ориентировочный характер и подлежат уточнению в проспективных клинических исследованиях.

При планировании краткосрочной окклюзионной коррекции (длительностью до 4 месяцев) у пациентов с прогнозируемыми высокими жевательными нагрузками и отсутствием парафункций целесообразно использование светоотверждаемого композита SM Light, изготавливаемого прямым методом. Материал характеризуется высоким модулем Юнга (4,18 ГПа), обеспечивающим жёсткость и стабильность геометрии накладки, однако требует контроля за отсутствием пиковых перегрузок ввиду склонности к хрупкому разрушению при достижении предела прочности (22,38 МПа).

При необходимости длительного ношения накладок (свыше 6 месяцев), у пациентов с бруксизмом, повышенным тонусом жевательных мышц или в случаях, требующих высокой точности воспроизведения анатомии, предпочтение следует отдавать лабораторному методу изготовления с использованием фотополимерной смолы Dental Sand Pro и 3D-печати. Данный материал обладает более высоким пределом прочности на растяжение (36,95 МПа) и деформацией разрушения (около 6,5%), что обеспечивает пластическое демпфирование нагрузок и снижает риск

внезапного перелома. При этом следует учитывать возможную пластическую деформацию накладки, требующую периодического контроля её геометрии.

У пациентов с подтверждённым бруксизмом (по данным анкетирования, электромиографии или клинической картины стёртости зубов) применение светоотверждаемого композита SM Light не рекомендуется ввиду высокого риска хрупкого разрушения накладки под воздействием повторяющихся пиковых нагрузок.

Оптимальной зоной фиксации с точки зрения минимизации механического риска и сохранения нейромышечного баланса являются первые премоляры нижней челюсти. Конечно-элементное моделирование показало, что в данной локализации при физиологической нагрузке 262 Н максимальные напряжения по Мизесу не превышают 9,32 МПа, что многократно ниже предела прочности как SM Light, так и Dental Sand Pro. Распределение напряжений носит равномерный характер, отсутствуют критические концентраторы. Электромиографически данная позиция сопровождается умеренным влиянием на симметрию мышц (снижение в среднем на 14–18% относительно контрольной регистрации без накладок, без развития патологической асимметрии).

Наиболее безопасной зоной для пациентов с исходной мышечно-суставной дисфункцией, бруксизмом, а также на этапе тестирования окклюзионной коррекции является фиксация на центральных резцах верхней челюсти. Напряжения в данной области при нагрузке 93 Н составляют не более 5,75 МПа, а интегральный показатель общего мышечного тонуса (IMPACT) остаётся в пределах физиологической нормы (60,00 ± 18,03 мкВ в покое). Однако следует учитывать, что резцовая фиксация может быть недостаточной для полноценного разобщения при глубокой резцовой окклюзии у взрослых пациентов.

Зоной повышенного риска является фиксация окклюзионных накладок в области первых моляров нижней челюсти. При нагрузке 315 Н локальные напряжения в зоне контакта достигают 299,54 МПа, что превышает прочностные характеристики большинства стоматологических композитов и создаёт высокую вероятность дефектообразования накладки вследствие концентрации напряжений

на границе «накладка–зуб». Кроме того, молярная фиксация вызывает наиболее выраженную асимметрию височных мышц (Δ до 18,67% по сравнению с премолярной локализацией) и ухудшение торсионного индекса. Фиксация на молярах допустима только при отсутствии бруксизма, нормальном тонусе жевательных мышц и условии обязательного динамического наблюдения (осмотр каждые 4 недели). При этом материалом выбора должна быть фотополимерная смола Dental Sand Pro.

До фиксации окклюзионных накладок рекомендуется оценить исходный мышечный статус (при наличии доступа к оборудованию – поверхностная электромиография жевательных и височных мышц в состоянии покоя и при нарастающем сжатии). При выявлении симметрии мышц менее 70% или торсионного индекса менее 80% предпочтение следует отдавать фиксации накладок в резцовой или премолярной области.

При невозможности проведения электромиографии следует ориентироваться на клинические признаки мышечно-суставной дисфункции (болезненность при пальпации жевательных мышц, щёлканье в ВНЧС, ограничение открывания рта, наличие бруксизма в анамнезе). При наличии одного или более признаков расположение накладок на молярах противопоказано.

Контрольные осмотры пациентов с зафиксированными окклюзионными накладками следует проводить каждые 4–6 недель. В ходе осмотра оцениваются:

– целостность накладки (отсутствие трещин, сколов, пластической деформации);

– сохранность окклюзионных контактов;

– жалобы на повышенную чувствительность зубов, дискомфорт в жевательных мышцах или ВНЧС.

При обнаружении пластической деформации накладки из Dental Sand Pro более 0,5 мм (визуально или с помощью зонда) либо любых трещин или сколов накладки из SM Light показана немедленная замена конструкции с пересмотром области фиксации при сохраняющихся факторах риска.

При появлении жалоб на мышечную усталость, боль в области ВНЧС или нарастающую асимметрию открывания рта следует выполнить контрольную электромиографию (при возможности). При подтверждении ухудшения показателей симметрии или торсионного индекса более чем на 15% от исходного уровня необходимо рассмотреть замену области фиксации накладок на более переднюю (например, с премоляров на резцы).

У пациентов со скелетной формой дистальной окклюзии и глубокой резцовой окклюзией, нуждающихся в значительном разобщении прикуса, допустима фиксация накладок в области премоляров как компромиссный вариант между безопасностью и эффективностью. Фиксация на резцах в данной группе часто недостаточна для устранения глубокого прикуса, а фиксация на молярах сопряжена с неприемлемым уровнем риска.

При сочетанном использовании окклюзионных накладок и брекет-системы следует контролировать, чтобы накладки не создавали интерференций с брекетами на противоположной челюсти. В конечно-элементной модели, использованной в настоящем исследовании, брекет-система была учтена; в клинической практике при необходимости допускается модификация формы накладки в области контакта с брекетами, однако это не должно приводить к истончению накладки в зонах максимальных напряжений.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ВНЧС – височно-нижнечелюстной сустав

ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения

ВЧ – верхняя челюсть

ЗЧА – зубочелюстные аномалии

КЛКТ – конусно-лучевая компьютерная томография

КПУ – индекс интенсивности кариеса (сумма кариозных, пломбированных и удаленных зубов)

КТ – компьютерная томография

МРТ – магнитно-резонансная томография

НЧ – нижняя челюсть

ПСЭМГ, sEMG – поверхностная электромиография (surface electromyography)

10-MDP – 10-метакрилоилоксидецилдигидрофосфат

Bis-GMA – бисфенол-А-глицидилметакрилат

DAI – дентальный эстетический индекс (Dental Aesthetic Index)

DIC – метод цифровой корреляции изображений (Digital Image Correlation)

FDM – технология послойного наплавления (Fused Deposition Modeling)

HEMA – 2-гидроксиэтилметакрилат

IMPACT – интегральный показатель общего мышечного тонуса

PET-G – полиэтилентерефталат-гликоль

TEGDMA – триэтиленгликольдиметакрилат

UDMA – уретандиметакрилат

VMS – эквивалентные напряжения по Мизесу (von Mises stress)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамова, М. Я. Анализ кадрового обеспечения ортодонтического приема по данным анкетирования / М. Я. Абрамова, Э. С. Тутушева // Dental Forum. – 2019. – № 4(75). – С. 11-12.

2. Абрамова, М. Я. Особенности окклюзии зубных рядов у детей, проживающих в очаге эндемического флюороза / М. Я. Абрамова, О. Ш. Григорьева // Dental Forum. – 2018. – № 4. – С. 8.

3. Абрамова, М. Я. Особенности организации комплексной реабилитации детей с зубочелюстными аномалиями / М. Я. Абрамова, Э. С. Тутушева // Dental Forum. – 2019. – № 4(75). – С. 12-13.

4. Аверьянов, С. В. Влияние зубочелюстных аномалий на уровень качества жизни / С. В. Аверьянов, А. В. Зубарева // Ортодонтия. – 2016. – № 2(74). – С. 33-34.

5. Аверьянов, С. В. Оценка уровня качества жизни у пациентов с зубочелюстными аномалиями / С. В. Аверьянов, А. В. Зубарева // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 4. – С. 308.

6. Аверьянов, С. В. Совершенствование алгоритма оказания ортодонтической помощи студентам города Уфы / С. В. Аверьянов, А. В. Зубарева // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2018. – Т. 17. – № 2(65). – С. 90-92.

7. Аверьянов, С. В. Этнические особенности распространенности и структуры зубочелюстных аномалий у студентов города Уфы / С. В. Аверьянов, А. В. Зубарева // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2012. – Т. 11. – № 4(43). – С. 69-72.

8. Авраамова, О. Г. Организация и реализация профилактического направления в системе школьной стоматологии / О.Г. Авраамова // Материалы XX Всероссийской научно-практической конференции «Стоматология XXI века». – Москва, 2008. – С. 245-247.

9. Айвазов, Г. Т. Исследование качества жизни пациентов стоматологического профиля: медицинские и социальные аспекты / Г. Т. Айвазов, А. В. Фомина // Российский стоматологический журнал. – 2021. – Т. 25. – № 1. – С. 73-84. – DOI: 10.17816/1728-2802-2021-25-1-73-84.

10. Алешина, О. А. Оценка состояния ортодонтической помощи населению в аспекте междисциплинарного подхода лечения пациентов с зубочелюстными аномалиями / О. А. Алешина // Медико-фармацевтический журнал «Пульс». – 2020. – Т. 22. – № 6. – С. 31-34.

11. Алимский, А. В. Изучение возрастной динамики распространённости аномалий зубочелюстной системы среди детского населения / А. В. Алимский, А. Я. Долгоаршинных // Ортодонтия. – 2007. – № 2. – С. 10-12.

12. Алимский, А. В. Медико-социальные и организационные аспекты обращаемости и оказания ортодонтической помощи / А. В. Алимский // Экономика и менеджмент в стоматологии. – 2011. – № 3. – С. 38.

13. Алимский, А. В. Мотивация обращаемости населения за стоматологической помощью в частные структуры / А. В. Алимский, И. А. Лемберг, И. М. Рабинович // Клиническая стоматология. – 2009. – № 1(49). – С. 74-76.

14. Алимский, А. В. Обращаемость населения за стоматологической помощью в медико-санитарные части (социологический аспект) / А. В. Алимский, О. И. Галкин // Стоматология для всех. – 2010. – № 1. – С. 30-33.

15. Алимский, А. В. Оценка динамики стоматологической заболеваемости, объема и качества проводимой санации среди детского населения г. Караганды / А. В. Алимский, А. Я. Долгоаршинных // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2009. – Т. 8. – № 1(28). – С. 67-69.

16. Арзуманян, А. Г. Анализ распространенности и структуры зубочелюстных аномалий среди детей школьного возраста / А. Г. Арзуманян, А. В. Фомина // Вестник новых медицинских технологий. – 2019. – Т. 26. – № 3. – С. 5-8. – DOI: 10.24411/1609-2163-2019-16239.

17. Арзуманян, А. Г. Изучение распространенности и структуры зубочелюстных аномалий среди детей и подростков (обзор литературы) / А. Г. Арзуманян, А. В. Фомина // Вестник новых медицинских технологий. – 2019. – Т. 26. – № 1. – С. 14-18. – DOI: 10.24411/1609-2163-2019-16232.

18. Арсенина, О. И. Цифровые технологии для эффективного лечения пациентов с дистальной окклюзией и мышечно-суставной дисфункцией / О. И. Арсенина, А. В. Комарова, Н. В. Попова // Ортодонтия. – 2022. – Т. 99. – № 3(99). – С. 28-33.

19. Арсюкова, О. К. Сравнительная характеристика нуждаемости в ортодонтическом лечении среди учащихся бюджетных учреждений и воспитанников детских домов и школ-интернатов города Москвы / О. К. Арсюкова // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2022. – № 1. – С. 138-143.

20. Атоева, М. А. Экологические аспекты развития зубочелюстных аномалий у детей / М. А. Атоева // Новый день в медицине. – 2020. – № 1(29). – С. 144-146.

21. Аюпова, Ф. С. Комплексная реабилитация детей с зубочелюстными аномалиями в условиях муниципальных образований Краснодарского края / Ф. С. Аюпова, С. Н. Алексеенко, А. Р. Восканян // Клиническая стоматология. – 2016. – № 4(80). – С. 64-67.

22. Аюпова, Ф. С. Распространённость и структура зубочелюстных аномалий у детей (обзор литературы) / Ф. С. Аюпова, А. Р. Восканян // Ортодонтия. – 2016. – № 3(75). – С. 2-6.

23. Бавыкина, Т. Ю. Совершенствование принципов оказания стоматологической помощи / Т. Ю. Бавыкина, А. А. Перязев // Актуальные вопросы совершенствования медицинской помощи и профессионального медицинского образования : Сборник тезисов VI Междисциплинарного медицинского форума, Белгород, 10–11 марта 2021 года / под редакцией Н.И. Белоусова, Н.И. Жернаковой, О.А. Ефремовой. – Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2021. – С. 21-22.

24. Багненко, Н. М. Распространенность зубочелюстных аномалий у детей школьного возраста в Ленинградской области / Н. М. Багненко, А. С. Багненко, Г. А. Гребнев // Российская стоматология. – 2015. – Т. 8. – № 4. – С. 57-70.

25. Бароян, М. А. Местные изменения в зубочелюстной системе при дефектах зубных рядов / М. А. Бароян, И. Н. Яшина // Морфология. – 2020. – Т. 157. – № 2-3. – С. 28-29.

26. Беделов, Н. Н. Встречаемость зубочелюстных аномалий среди молодежи / Н. Н. Беделов, К. А. Керимханов // Стоматологическая весна в Белгороде – 2022 : Сборник трудов Международной научно-практической конференции в рамках международного стоматологического фестиваля «Площадка безопасности стоматологического пациента», посвященного 100-летию Московского государственного медико-стоматологического университета им. А.И. Евдокимова, Белгород, 09 июня 2022 года. – Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2022. – С. 32-34.

27. Богатырева, И. В. Клинико-морфофункциональное обоснование лечения скелетной формы дистальной окклюзии методом ортодонтического камуфляжа : специальность 3.1.7. «Стоматология» : диссертация ... кандидата медицинских наук / Богатырева Ирина Витальевна; ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). – Москва, 2026. – 126 с.

28. Взаимосвязь зубочелюстных аномалий и речевых нарушений у детей / М. К. Асанова, О. Ю. Полещук, К. Н. Каладзе, С. Л. Тымченко // Научный вестник Крыма. – 2020. – № 6(29). – С. 23.

29. Взаимосвязь и взаимовлияние уровня стоматологического здоровья и средовых факторов / И. В. Фирсова, Д. Е. Суетенков, Н. В. Давыдова, Н. М. Олейникова // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2011. – Т. 7. – № 1. – С. 239-245.

30. Влияние гипертонуса жевательной мускулатуры на формирование окклюзии / А. А. Уварова, А. В. Глазкова, Т. В. Будина [и др.] // Стоматология. – 2023. – Т. 102. – № 3. – С. 45-49.

31. Влияние отдельных факторов риска на развитие аномалий зубочелюстной системы у детей / С. В. Чуйкин, С. А. Гунаева, Г. Г. Акатьева [и др.] // Стоматология. – 2019. – Т. 98. – № 6. – С. 79-82. – DOI: 10.17116/stomat20199806179.

32. Воронецкая, В. А. Проект «школьный стоматологический кабинет, как основной организационно-структурный инструмент первичной профилактики стоматологических заболеваний детского населения» / В. А. Воронецкая // Уроки пандемии COVID-19 для здравоохранения и общества. – Москва : Издательский дом «Научная библиотека», 2022. – С. 376-394.

33. Встречаемость различных типов лица в норме, а также при нейтральном и дистальном прикусах / Ю. М. Малыгин, С. С. Тайбогарова, М. Ю. Малыгин, Н. И. Велиева // Институт стоматологии. – 2017. – № 1(74). – С. 90-91.

34. Выявление значимых факторов риска развития зубочелюстных аномалий у детей с использованием метода многомерной статистики / Е. Г. Денисова, М. П. Погребная, Г. П. Гунькина [и др.] // Стоматология для всех. – 2015. – № 1. – С. 22-23.

35. Галиуллин, А. Н. Распространенность зубочелюстных аномалий у детей дошкольного возраста в крупном мегаполисе / А. Н. Галиуллин, М. Н. Хадыева, Г. А. Хусаинова // Современные проблемы науки и образования. – 2018. – № 6. – С. 130.

36. Гвоздева, Ю. В. Клинико-функциональные изменения в зубочелюстной системе у детей с различной степенью выраженности орофациальных дисфункций / Ю. В. Гвоздева // Успехи современного естествознания. – 2010. – № 4. – С. 83-84.

37. Гингивит у детей / Т. Ф. Косырева, Н. С. Тутуров, А. С. Бирюков [и др.]. – Москва : Российский университет дружбы народов (РУДН), 2020. – 45 с. – ISBN 978-5-209-10095-9.

38. Гиоева, Ю. А. Особенности осанки детей 12-15 лет с дисфункцией височно-нижнечелюстного сустава / Ю. А. Гиоева, Л. С. Персин, И. А. Ягублу // Лечение и профилактика. – 2014. – № 1(9). – С. 73-79.

39. Гонтарев, С. Н. Распространенность зубочелюстных аномалий и дефектов зубных рядов у детей и подростков Белгородского региона. Оценка состояния ортодонтической помощи населению / С. Н. Гонтарев, О. А. Саламатина // Актуальные проблемы медицины. – 2011. – Т. 105. – № 10.

40. Горлачева, Т. В. Качество жизни минчан в возрасте 12–23 лет, имеющих разную степень нуждаемости в ортодонтическом лечении / Т. В. Горлачева, Т. Н. Терехова // Современная стоматология. – 2021. – № 4(85). – С. 66-69.

41. Григорьев, М. А. Ключевые проблемы профилактики приобретенных зубочелюстных аномалий в человеческой популяции / М. А. Григорьев // Актуальные вопросы совершенствования методологии социальной и профилактической медицины : материалы XV межрегиональной научно-практической конференции, Иркутск, 25–26 апреля 2019 года / под ред. А. Е. Агапитова. Том 2. – Иркутск: Иркутский государственный медицинский университет Минздрава России, 2019. – С. 71-76.

42. Давыдов, Б. Н. Клиническое обоснование необходимости междисциплинарного подхода к лечению стоматологических заболеваний у детей с хронической патологией верхних отделов пищеварительного тракта / Б. Н. Давыдов, О. А. Гаврилова, И. Я. Пиекалнитс // Стоматология. – 2015. – № 1(94). – С. 54-56.

43. Данилова, М. А. Влияние перинатальных факторов риска на формирование зубочелюстных и речевых нарушений у детей с церебральным параличом / М. А. Данилова, В. А. Бронников, Е. А. Залазаева // Вятский медицинский вестник. – 2017. – № 2(54). – С. 88-92.

44. Данилова, Н. Б. Проведение профилактических мероприятий врачами-стоматологами в рамках медицинских осмотров студенческой молодежи Санкт-Петербурга / Н. Б. Данилова, Н. А. Соколович, С. Г. Павлова // Современные проблемы подростковой медицины: сборник трудов VI научно-практической конференции. – Санкт-Петербург, 2022. – С. 335-349.

45. Диагностика и лечение дисфункций височно-нижнечелюстного сустава с использованием цифровых технологий / Т. Ф. Косырева, Н. С. Тутуров, И. Х. Катбех [и др.] // Стоматология для всех. – 2020. – № 3(92). – С. 56-61.

46. Дмитриева, Н. Г. Взаимосвязь состояния опорно-двигательной системы с зубочелюстными аномалиями и стоматологическим статусом / Н. Г. Дмитриева // Актуальные вопросы применения 3D-технологий: сборник научных трудов Всероссийской межвузовской научно-практической конференции, посвященной 80-летию профессора М. З. Миргазизова. – Казань, 2015. – С. 130-135.

47. Евневич, К. А. Структурный анализ зубочелюстных деформаций и нуждаемость в комплексном лечении пациентов с заболеваниями пародонта / К. А. Евневич // Современная наука. – 2022. – № 9. – С. 186-188.

48. Западаева, С. В. Возможности реализации профилактического направления в системе школьной стоматологии: специальность 14.00.21 «Стоматология» : диссертация … кандидата медицинских наук / Западаева Светлана Васильевна; ФГУ «Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии Росмедтехнологий». – Москва, 2009. – 113 с.

49. Зволинская, А. М. Нарушение осанки детей и подростков как фактор развития неправильного прикуса / А. М. Зволинская // Современная стоматология. – 2018. – № 1(90). – С. 90.

50. Значение оценки качества жизни у пациентов с зубочелюстными аномалиями в процессе ортодонтического лечения / А. С. Архангельская, Ю. Т. Джангильдин, Ж. Р. Гарданова [и др.] // Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии. – 2017. – № 11. – С. 66-71.

51. Изучение взаимосвязи нарушений опорно-двигательного аппарата с патологиями прикуса у детей / С. А. Беляков, С. Ю. Косюга, Е. С. Богомолова [и др.] // Стоматология для всех. – 2016. – №4. – С. 53-55.

52. Изучение психоневрологического статуса, речевых и двигательных нарушений у детей с вредными привычками / И. А. Рублева, А. Б. Слабковская,

Л. С. Персин [и др.] // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2009. – Т. 8. – № 4(31). – С. 27-29.

53. Изучение функционального состояния жевательного аппарата у пациентов с патологией твердых тканей зубов некариозного происхождения по данным электромиографии / Р. А. Фадеев, Н. В. Прозорова, К. Н. Маркасов [и др.] // Институт стоматологии. – 2017. – № 1 (74). – С. 41-43.

54. Иорданишвили, А. К. Стоматологическое здоровье и зубочелюстные аномалии: взгляд из прошлого и современность / А. К. Иорданишвили // Ортодонтия. – 2021. – № 1(93). – С. 10-18.

55. Иргалиева, В. Р. Пути улучшения ортодонтической помощи подростковому населению города Набережные Челны / В. Р. Иргалиева // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. – 2017. – № 2. – С. 65-66.

56. Исмаилов, А. И. Профилактика стоматологических заболеваний у лиц с умственной отсталостью : специальность 14.00.21 «Стоматология» : автореферат диссертации … кандидата медицинских наук / Исмаилов Аскер Исмаил оглы; Московский государственный медико-стоматологический университет. – Москва, 2008. – 24 с.

57. Ишмуратова, А. Ф. Распространенность зубочелюстных аномалий у подростков / А. Ф. Ишмуратова // Общественное здоровье и здравоохранение. – 2011. – № 2(30). – С. 18а-22а.

58. Ишмурзин, П. В. Влияние ортодонтического лечения на показатели качества жизни пациентов с дисфункцией ВНЧС / П. В. Ишмурзин // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2012. – Т. 11. – № 1(40). – С. 41-43.

59. Кадукова, Ю. В. Санитарно-просветительская работа среди родителей как профилактика зубочелюстных аномалий у детей / Ю. В. Кадукова // Забайкальский медицинский вестник. – 2019. – №1. – С. 187-192.

60. Камалова, Г. Р. Оценка нуждаемости в ортодонтическом лечении детей и подростков г. Лянтор / Г. Р. Камалова // Проблемы стоматологии. – 2012. – № 3. – С. 57-58.

61. Клинические осложнения при использовании модификации аппарата Гербста в комбинации слингвальной брекет-системой / Д. Вихманн, Ю. Ву, Р. Швестка-Полли [и др.] // Ортодонтия. – 2016. – № 1(73). – С. 46-57.

62. Корхова, Н. В. Эпидемиология зубочелюстных аномалий у детей и подростков, проживающих в Минской области / Н. В. Корхова, М. А. Жилина, О. Л. Самойло // Фундаментальная наука в современной медицине : материалы сателлитной дистанционной научно-практической конференции студентов и молодых учёных. – Минск, 2016. – С. 160-167.

63. Косюга, С. Ю. К вопросу о взаимообусловленности соматических заболеваний и зубочелюстных аномалий у детей / С. Ю. Косюга // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 5. – С. 280.

64. Крихели, Н. И. Адгезивные системы: от техники тотального протравливания к универсальным адгезивам / Н. И. Крихели // Клиническая стоматология. – 2022. – Т.25. – №2. – С. 6-11.

65. Куликов, Г. В. Повышение эффективности диагностики и лечения окклюзионных нарушений у пациентов с воспалительными заболеваниями пародонта : специальность 14.01.14 «Стоматология»: автореферат диссертации … кандидата медицинских наук / Куликов Геннадий Владимирович ; ФГБОУ ВО Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова Министерства здравоохранения Российской Федерации. – Москва, 2019. – 25с.

66. Курбанов, О. Р. Распространенность зубочелюстных аномалий среди школьников крупного республиканского центра / О. Р. Курбанов // Актуальные проблемы стоматологии: сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Махачкала, 2021. – С. 245-252.

67. Курочкина, В. В. Результаты оценки качества жизни лиц с зубочелюстными аномалиями / В. В. Курочкина // 75-я итоговая научная конференция студентов РостГМУ. – Ростов-на-Дону, 2021. – С. 82-83.

68. Леонтьев, В. К. Профилактика стоматологических заболеваний / В. К. Леонтьев. – Москва: Медицина, 2006. – 416 с.

69. Лечение стоматологических заболеваний у детей / Т.Ф. Косырева, В. В. Сафрошкина, О. М. Давидян [и др.] // Здоровье и образование в XXI веке. – 2011. – Т. 13. – № 2. – С. 263.

70. Лобовкина, Л. А. Современные технологии реставрации зубов / Л. А. Лобовкина. – Москва: МЕДпресс-информ, 2009. – 102 с.

71. Локтионова, М. В. Оценка с помощью поверхностной электромиографии влияния расположения окклюзионных накладок на мышечный тонус / М. В. Локтионова, Х. Набахат, С. Д. Игнатьев // Стоматология для всех. – 2026. – № 2 (115). – С. 63-65. – DOI: 10.35556/idr-2026-2(115)63-65.

72. Лучинский, М. А. Физическое развитие детей с зубочелюстными аномалиями, проживающих в различных условиях окружающей среды / М. А. Лучинский // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-1. – С. 73-75.

73. Мансур, Ю. П. Влияние ортодонтического лечения на качество жизни взрослых пациентов с зубочелюстными аномалиями / Ю. П. Мансур, И. А. Саямов, Л. И. Тельфах // Наука и научный потенциал – основа устойчивого развития общества: сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. – Уфа, 2018. – С. 19-23.

74. Маркин, А. С. Распространенность зубочелюстных аномалий у лиц в возрасте 16–25 лет проживающих в г. Самара / А. С. Маркин // Известия Самарского научного центра РАН. – 2016. – Т. 18. – № 1. – С. 121-124.

75. Мельник, В. С. Распространенность и структура зубочелюстных аномалий у детей и подростков районных центров Закарпатья / В. С. Мельник // Вестник стоматологии. – 2019. – Т. 33. – № 3(108). – С. 38-42.

76. Методы лечения пациентов со скелетными формами дистальной окклюзии зубных рядов с помощью зубоальвеолярной компенсации. Роль цифровых технологий и подход к лечению / Н. В. Попова, О. И. Арсенина, С. И.

Абакаров, А. В. Попова // Стоматология. – 2024. – Т. 103. – № 5. – С. 24-36. – DOI: 10.17116/stomat202410305124.

77. Миргазизов, М. З. Особенность и ценность рентгеноцефалометрии по системе профессора М. З. Миргазизова / М. З. Миргазизов // Актуальные вопросы применения 3D-технологий в современной стоматологической практике. – 2015. – С. 15-21.

78. Мировой опыт внедрения профилактических программ в стоматологии / С. Б. Улитовский, Л. Ю. Орехова, О. В. Калинина [и др.] // Пародонтология. – 2024. – Т. 29. – № 1. – С. 13-23.

79. Митин, Н. Е. Исследование мотивационных предпосылок к стоматологическому лечению для улучшения качества жизни / Н. Е. Митин // Стоматология для всех. – 2015. – № 4. – С. 46-47.

80. Михальченко, А. В. Структура зубочелюстных аномалий у жителей г. Волгограда / А. В. Михальченко // Актуальные проблемы и перспективы развития стоматологии в условиях Севера : сборник статей межрегиональной научно-практической конференции. – Якутск: Издательский дом СВФУ, 2019. – С. 141-144.

81. Модификация аппарата Персина для лечения пациентов с дистальной окклюзией / И. В. Бароева, М. А. Колесов, Л. С. Персин, А. Б. Слабковская // Ортодонтия. – 2014. – № 4(68). – С. 44-50.

82. Наумова, В. Н. Патогенетические механизмы и современные методы лечения вторичных деформаций и аномалий зубных рядов у взрослых / В. Н. Наумова // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2019. – Т. 19. – № 1(69). – С. 11-14.

83. Наумова, В. Н. Распространенность зубочелюстных аномалий у лиц молодого возраста с учетом типа лица / В. Н. Наумова // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2017. – Т. 16. – № 2(61). – С. 49-52.

84. Ниятова, З. Е. Удовлетворенность родителей качеством оказания психологической поддержки ребенка на стоматологическом приеме / З. Е. Ниятова // Современные проблемы науки и образования: сборник статей II Международной научно-практической конференции. – Пенза, 2021. – С. 176-182.

85. Нуждаемость детей регионов Крыма с разным уровнем медико-социальных условий в ортодонтическом лечении / К. А. Колесник, И. Г. Романенко, Н. С. Бабушкина [и др.] // Стоматология. – 2018. – Т. 97. – № 4. – С. 55-57.

86. Об улучшении качества стоматологической помощи в условиях смены экономического уклада / И. Ю. Худоногов, А. С. Иванов, А. Д. Чумаян [и др.] // Dental Forum. – 2020. – № 4(79). – С. 64-65.

87. Оптимизация режима работы стоматологических медицинских организаций для улучшения доступности стоматологической помощи населению / А. В. Алимский, А. В. Гуськов, С. И. Морозова [и др.] // Клиническая стоматология. – 2015. – № 1(73). – С. 60-62.

88. Ортодонтическое лечение аномалий прикуса у детей с применением эластокорректора / О. И. Арсенина, А. В. Комарова, Н. В. Попова [и др.] // Актуальные проблемы и перспективы развития стоматологии в условиях Севера : сборник статей межрегиональной научно-практической конференции, посвящённой 25-летию стоматологического отделения Медицинского института ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова». – Якутск, 2021. – С. 330-333.

89. Ортодонтическое лечение как этап подготовки к рациональному зубному протезированию / О. И. Арсенина, С. И. Абакаров, Н. В. Попова [и др.] // Стоматология. – 2023. – Т. 102. – № 2. – С. 54-62.

90. Османова, Ф. И. Оценка факторов окружающей среды на заболеваемость населения северных районов республики Дагестан / Ф. И. Османова // Институт стоматологии. – 2021. – № 1(90). – С. 48-49.

91. Особенности строения альвеолярного отростка при зубочелюстных аномалиях / Н. С. Дробышева, С. Ш. Барзукаева, А. Б. Слабковская [и др.] // Dental Forum. – 2014. – № 2. – С. 49-54.

92. Особенности формирования зубочелюстной системы у детей-спортсменов / М. В. Егорова, Е. С. Иванова, Т. А. Бокова [и др.] // Профилактическая медицина. – 2020. – Т. 23. – № 6. – С. 69-73.

93. Оценка влияния силы окклюзионного взаимодействия на механическое поведение стоматологических композитов, используемых в качестве окклюзионных накладок: конечно-элементный анализ / Х. Набахат, С. Д. Игнатьев, М. В. Локтионова, А. С. Утюж, Ю. С. Козлова // Институт стоматологии. – 2026. – № 2 (111). – С. 108-111.

94. Оценка восприятия формы центральных резцов верхней челюсти как важного элемента микроэстетики улыбки / К. И. Рожкова, А. Б. Слабковская, Л. С. Персин [и др.] // Клиническая стоматология. – 2019. – № 1(89). – С. 16-19.

95. Оценка изменений параметров качества жизни детей 14-15 лет с хроническим катаральным гингивитом после реализации комплекса лечебно-профилактических мероприятий / Л. П. Кисельникова, Т. Е. Зуева, В. Н. Романовская, А. А. Огарева // Стоматология. – 2022. – Т. 101. – № 1. – С. 53-58.

96. Оценка потребности в ортодонтическом лечении детей, оставшихся без попечения родителей / С. К. Ахмедова, А. Б Слабковская, Р. Р. Магомедов [и др.] // Российский стоматологический журнал. – 2022. – Т. 26. – № 1. – С. 49-56.

97. Оценка психологического статуса и индекса эстетики лица у пациента с гнатической формой аномалии окклюзии до и после комбинированного лечения (клинический случай) / Е. А. Скатова, Н. С. Дробышева, А. В. Коваленко [и др.] // Стоматология для всех. – 2011. – № 3. – С. 54-57.

98. Оценка психоэмоционального статуса пациентов с патологической стираемостью зубов на фоне патологии прикуса у лиц молодого возраста / О. И. Адмакин, А. А. Мамедов, А. М. Дыбов, А. В. Глазкова // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2022. – № 3. – С. 148-152.

99. Панкратова, И. В. Состояние пародонта в процессе ортодонтического лечения / И. В. Панкратова // Ортодонтия. – 2019. – № 2. – С. 22.

100. Патент на изобретение № 2784289 Российская Федерация, МПК A61C 71/00 (2006.01). Способ количественной объективной и субъективной оценки качества ортодонтического лечения : № 2021132713 : заявл. 10.11.2021 : опубл. 23.11.2022 / Арсенина О. И., Попова Н. В., Гаврилова М. В. [и др.] // Бюл. № 33.

101. Патент на изобретение № 2845115 Российская Федерация. Способ лечения пациентов со скелетной формой дистального прикуса : № 2025102091 : заявл. 31.01.2025: опубл. 13.08.2025 / Богатырева И. В., Локтионова М. В., Севбитов А. В., Чжоу Лин, Набахат Хамед, Гуськов А. В., Олейников А. А. // Patents.Google: официальный сайт. – URL: https://patents.google.com/patent/RU2845115C1/ru?oq=2845115.

102. Персин, Л. С. Ортодонтия. Диагностика и лечение зубочелюстных аномалий: руководство для врачей / Л. С. Персин. – Москва: Медицина, 2004. – 360 с.

103. Персин, Л. С. Ортодонтия. Современные методы диагностики аномалий зубов, зубных рядов и окклюзии: учебное пособие / Л. С. Персин, А. Б. Слабковская, Е. А. Картон. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2017. – 154 с.

104. Пирогова, Е. Ю. Факторы риска и признаки формирующихся аномалий зубочелюстной системы у детей в периоде сменного прикуса / Е. Ю. Пирогова, М. А. Данилова, С. В. Захаров // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2011. – Т. 10. – № 3(38). – С. 53-57.

105. Потребность и трудоемкость стоматологического лечения у работающего населения с общесоматической патологией / Т. Н. Новоземцева, В. Э. Тихонов, З. А. Шаипова [и др.] // Журнал научных статей Здоровье и образование в XXI веке. – 2017. – Т. 19. – № 11. – С. 81-85.

106. Потрясова, А. М. Оптимизация методов диагностики и лечения пациентов с асимметричным положением нижней челюсти : специальность 14.01.14 «Стоматология» : диссертация ... кандидата медицинских наук / Потрясова Александра Михайловна; Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет). – Москва, 2022. – 121 с.

107. Поштару, К. Г. Характер головной боли напряженного типа у детей с зубочелюстными аномалиями / К. Г. Пошатру, Н. В. Панкратова, М. А. Постников // Вестник медицинского института «РЕАВИЗ». – 2018. – № 4(34). – С. 52-60.

108. Проблемные вопросы оценки гигиенического состояния полости рта и их клиническое решение / М. Т. Александров, В. Н. Олесова, Е. Ф. Дмитриева [и др.] // Стоматология. – 2020. – Т. 99. – № 4. – С. 21-26.

109. Проблемы и перспективы развития детской стоматологической службы / А. Н. Осыко, Я. П. Боловина, С. В. Ставская, М. В. Вологина // Корреляционное взаимодействие науки и практики в новом мире : сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 25-26 декабря 2020 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2020. – С. 112-116.

110. Психолого-педагогические аспекты подготовки детского врача-стоматолога: значимость учета врачом особенностей восприятия детьми внешности своих сверстников / М. Е. Остренкова, А. Б. Слабковская, Н. В. Морозова, С. К. Ахмедова // Интеграция медицинского и фармацевтического образования, науки и практики : Сборник статей I Международного научно-педагогического форума, посвященного 80-летию ФГБОУ ВО КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого Минздрава России, Красноярск, 02–04 февраля 2022 года / Гл. редактор И.А. Соловьева. – Красноярск, 2022. – С. 480-489.

111. Распространенность зубочелюстных аномалий и деформаций среди детей Брестской области, обратившихся за стоматологической помощью / С. П. Рубникович, Ю. Л. Денисова, Е. В. Кузьменко [и др.] // Стоматолог. Минск. – 2019. – № 4 (35). – С. 8-13.

112. Распространенность зубочелюстных аномалий и деформаций среди населения школьного возраста г. Витебска / С. П. Рубниковича, Е. В. Кузьменко, Ю. Л. Денисова [и др.] // Стоматолог (Минск). – 2018. – № 4(31). – С. 39-43.

113. Распространенность зубочелюстных аномалий и нуждаемость в ортодонтическом лечении 15-летних подростков Архангельской области / А. А. Симакова, М. А. Горбатова, А. М. Гржибовский [и др.] // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2021. – Т. 21. – № 4(80). – С. 251.

114. Распространенность и интенсивность зубочелюстных аномалий у воспитанников детских домов / О. А. Маланова, Н. С. Морозова, В. М. Гринин [и

др.] // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2023. – Т. 23. – № 4(88). – С. 329-335.

115. Распространенность и структура зубочелюстных аномалий у детей и подростков г. Минска / И. В. Москалева, А. В. Россинская, Н. Н. Гаспарян [и др.] // Медицинский журнал. – 2016. – № 4. – С. 109-112.

116. Распространенность и структура зубочелюстных аномалий у подростков коренного малочисленного населения Ханты-Мансийского автономного округа – Югры / С. Н. Лебедев, В. Р. Галимуллина, М. О. Нагаева, Ю. Е. Тимофеева // Проблемы стоматологии. – 2019. – Т. 15. – № 1. – С. 93-98.

117. Распространенность и структура зубочелюстных аномалий у школьников в условиях дифференцированной доступности стоматологической помощи / В. В. Беляев, О. А. Гаврилова, И. В. Беляев [и др.] // Верхневолжский медицинский журнал. – 2020. – Т. 19. – № 3. – С. 28-32.

118. Саврасова, Е. В. Клинико-лабораторное обоснование применения универсальной адгезивной системы при эстетической реставрации зуба : специальность 3.1.7. «Стоматология» : диссертация ... кандидата медицинских наук / Саврасова Екатерина Валерьевна; ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации. – Москва, 2024. – 139 с.

119. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020663410 Российская Федерация. Анкета оценки проведенного ортодонтического лечения : № 2020660967 : заявл. 28.09.2020 : опубл. 27.10.2020 / Тихонов В. Э., Митина Е. Н., Калиновский С. И. [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Минздрава России.

120. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025616142 Российская Федерация. Программа для оценки удовлетворенности результатами лечения пациентов с дистальной окклюзией – программа для ЭВМ : № 2024692074: заявл. 23.12.2024: опубл. 13.03.2025 г. / Богатырева И. В.,

Локтионова М. В., Севбитов А. В., Чжоу Лин, Набахат Х. Федеральная служба по интеллектуальной собственности. – Бюллетень № 3.

121. Симакова, А. А. Клинический опыт использования эластопозиционера при лечении пациентов с зубочелюстными аномалиями / А. А. Симакова // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2021. – Т. 21. – № 2. – С. 139-144.

122. Симонова, К. В. Мониторинг изменений распространенности зубочелюстных аномалий среди коренного и пришлого населения регионов ДВФО / К. В. Симонова, А. В. Чабан, А. А. Антонова // Дальневосточный медицинский журнал. – 2012. – № 3. – С. 51-53.

123. Ситдикова, О. Ф. Частота встречаемости зубочелюстных аномалий среди курсантов Уфимского Юридического Института Министерства Внутренних дел Российской Федерации / О. Ф. Ситдикова, М. Ф. Кабирова // Инновационная стоматология : Сборник научных трудов, посвященный 75-летию победы в Великой отечественной войне. – Уфа : Башкирский государственный медицинский университет, 2020. – С. 251-262.

124. Смоляр, Н. И. Значимость дентального эстетического индекса (DAI) для диагностики зубочелюстных аномалий у детей интернатных заведений / Н. И. Смоляр, Н. Л. Чухрай, Н. Б. Фур // Вестник стоматологии. – 2016. – № 4(97). – С. 55-59.

125. Соболева, Н. Н. О проблеме доступности бесплатной стоматологической помощи детям в Иркутской области / Н. Н. Соболева, О. М. Ермакова // Актуальные проблемы стоматологии детского возраста : Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции, Иркутск, 03 декабря 2021 года. – Иркутск: ИНЦХТ, 2021. – С. 245-252.

126. Сравнительный анализ механических свойств полимерных композиционных материалов, используемых в качестве окклюзионных накладок при ортодонтической коррекции скелетной аномалии второго класса / Х. Набахат, С. Д. Игнатьев, М. В. Локтионова, Ц. Ма, А.С. Утюж, В. В. Локтионов // Институт стоматологии. – 2026. – № 1 (110). – С. 114-117.

127. Стоматологическое здоровье пациентов детского и подросткового возраста с сахарным диабетом 1 типа: обзор литературы / М. М. Щербакова, О. И. Адмакин, Н. С. Морозова [и др.] // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2024. – Т. 24. – № 1(89). – С. 85-95.

128. Структура зубочелюстных аномалий у детей и подростков Кузбасса / М. В. Сергеева, Е. А. Киселева, К. С. Киселева, А. Г. Кострицин // Dental Forum. – 2019. – № 2(73). – С. 19-20.

129. Структура и распространенность зубочелюстных аномалий у детей Могилевской области / А. О. Сакадынец, Н. П. Коротыш, Е. В. Шакура [и др.] // Фундаментальная наука в современной медицине : материалы сателлитной дистанционной научно-практической конференции студентов и молодых ученых / под ред. А. В. Сикорского, О. К. Дорониной, Т. В. Тереховой. – Минск : БГМУ, 2016. – 2016. – С. 252-257.

130. Сурдо, Э. С. вредные привычки у детей с сенсорной депривацией зрения / Э. С. Сурдо, В. Г. Галонский, Н. В. Тарасова // Сибирско-азиатский стоматологический форум. Инновационные подходы к образованию, науке и практике в стоматологии : Труды III Всероссийской научно-практической конференции с Международным участием, Красноярск, 29–31 мая 2019 года / под ред. В.В. Алямовского, С.А. Овчинниковой, Н.В. Тарасовой. – Красноярск: Литера-Принт, ИП Азарова Н.Н., 2019. – С. 267-276.

131. Таклас, Н. Психологический статус пациентов с зубочелюстными аномалиями / Н. Таклас, А. Б. Слабковская, Л. С. Персин // Ортодонтия. – 2012. – № 1(57). – С. 9-14.

132. Тисовская, Ю. А. Использование вестибулярных пластинок «MUPPY» с бусинкой в практике логопедической работы / Ю. А. Тисовская. – Москва: Валлекс М, 2013. – 24 с.

133. Тихонов, В. Э. Оптимизация организации и оказания ортодонтической помощи детям и подросткам в субъекте Российской Федерации : специальности 3.1.7. «Стоматология»; 3.2.3. «Общественное здоровье, организация и социология здравоохранения, медико-социальная экспертиза» : диссертация ... доктора

медицинских наук / Тихонов Владимир Эммануилович; ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет). – Рязань, 2024. – 347 с.

134. Фадеев, Р. А. Оптимизация лечения пациентов с зубочелюстными аномалиями, осложненными дисфункцией височно-нижнечелюстного сустава / Р. А. Фадеев, В. В. Паршин, Н. В. Прозорова // Актуальные вопросы фундаментальной, клинической медицины и фармации : сборник научных статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 25-летию образования клинических кафедр Института медицинского образования Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, 28–29 ноября 2019 года / Под редакцией В.Р. Вебера, Р.А. Сулиманова. – Великий Новгород: Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, 2020. – С. 103-110.

135. Фадеев, Р. А. Применение количественной оценки зубочелюстно-лицевых аномалий врачом и пациентом для выбора и коррекции тактики лечения / Р. А. Фадеев, А. Н. Ланина, П. В. Ли // Институт стоматологии. – 2019. – № 3(84). – С. 34-36.

136. Федорова, А. В. Встречаемость зубочелюстных аномалий и факторов их развития у детей Санкт-Петербурга и Ленинградской области / А. В. Федорова, Л. Н. Солдатова // Известия Российской военно-медицинской академии. – 2020. – Т. 39. – № S3-5. – С. 226-230.

137. Фомина, А. В. Взаимосвязь стоматологического здоровья детей-инвалидов с нарушениями слуха и зрения / А. В. Фомина, Н. В. Шовкун // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 2021. – Т. 29. – № 1. – С. 90-95.

138. Чернова, О. П. Взаимосвязь нарушений звукопроизношения с зубочелюстными аномалиями у детей дошкольного возраста / О. П. Чернова // Перспективы развития миофункциональной терапии в медицине : материалы

международного конгресса : Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет). – Москва: Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), 2018. – С. 155-158.

139. Ширяева, Т. В. Оценка морфометрических параметров зубочелюстной системы у пациентов с дистальной окклюзией до и после ортодонтического лечения двухчелюстным аппаратом комбинированного действия : специальность 3.1.7. «Стоматология» : диссертация ... кандидата медицинских наук / Ширяева Татьяна Вячеславовна; Российский университет медицины. – Москва, 2023. – 149 с.

140. Юшманова, Т. Н. Комплексная оценка стоматологического статуса у 12-летних детей Архангельской области / Т. Н. Юшманова, Ю. М. Мишутин, О. Н. Рачкова // Наука – практике : Материалы научной сессии ЦНИИС, посвященной 35-летию института, Москва, 03 октября 1997 года. – Москва: Без Издательства, 1998. – С. 99-102.

141. 2008 JCO study of orthodontic diagnosis and treatment procedures. Part 1 / R.G. Keim, E. L. Gottlieb, A. H. Nelson [et al.] // J Clin Orthod. – 2008. – Vol. 42. – P. 625-640.

142. A qualitative study of teenagers' decisions to undergo orthodontic treatment with fixed appliance / U. Trulsson, M. Strandmark, B. Mohlin [et al.] // J Orthod. – 2002. – Vol. 29. – P. 197-204.

143. Alex, G. Universal adhesives: the next evolution in adhesive dentistry? / G. Alex // Compend Contin Educ Dent. – 2015. – Vol. 36(1). – P. 15-26.

144. An electromyographic investigation of masticatory muscles symmetry in normo-occlusion subjects / V. F. Ferrario, C. Sforza, A. Colombo, V. Ciusa // Journal of Oral Rehabilitation. – 2000. – Vol. 27. – № 1. – P. 33-40. – DOI: 10.1046/j.1365-2842.2000.00490.x.

145. Araujo, A. M. Adaptive condylar growth and mandibular remodelling changes with bionator therapy / A. M. Araujo, P. H. Buschang, A. C. M. Melo // Eur J Orthod. – 2004. – Vol. 26(5). – P. 515-522.

146. Assessment by nano-indentation of the hardness and elasticity of the resin-dentin bonding area / B. Van Meerbeek, M. Braem, P. Lambrechts [et al.] // J Dent Res. – 1993. – Vol. 72 (10). – P. 1434-1442.

147. Baumrind, S. The reliability of head film measurements. 1. Landmark identification / S. Baumrind, R. C. L. Frantz // Am J Orthod. – 1971. – Vol. 60(2). – P. 111-127.

148. Behrents, R. G. Growth of the aging craniofacial skeleton: monograph № 17 / R. G. Behrents. – University of Michigan, 1985. – 145 p.

149. Bin Hasan, M. M. Self-etching adhesive systems in operative dentistry: a literature review / M. M. Bin Hasan, N. Sharmin // Res Rev J Dent Sci. – 2017. – Vol. 5(2). – P. 23-32.

150. Bonding effectiveness of a new 'multi-mode' adhesive to enamel and dentine / M. Hanabusa, A. Mine, T. Kuboki [et al.] // J Dent. – 2012. – Vol. 40(6). – P. 475-484.

151. Buonocore, M. G. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces / M. G. Buonocore // J Dent Res. – 1955. – Vol. 34(6). – P. 849-853.

152. Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges / B. Van Meerbeek, J. De Munck, Y. Yoshida [et al.] // Oper Dent. – 2003. – Vol. 28 (3). – P. 215-235.

153. Changes in temporomandibular joint morphology in class II patients treated with fixed mandibular repositioning / M. Al-Saleh, N. Alsufyani, C. Flores-Mir [et al.] // Orthod Craniofac Res. – 2015. – Vol. 18(4). – P. 185-201.

154. Clark, W. J. More on the Clark Twin Block / W. J. Clark // Am J Orthod Dentofacial Orthop. – 1990. – Vol. 97. – № 3. – P. 30.

155. Classification review of dental adhesive systems: From the IV generation to the universal type / E. Sofan, A. Sofan, G. Palaia [et al.] // Ann Stomatol (Roma). – 2017. – Vol. 8(1). – P. 1-17.

156. Clinical effectiveness of contemporary adhesives: a systematic review of current clinical trials / M. Peumans, P. Kanumilli, J. De Munck [et al.] // Dent Mater. – 2005. – Vol. 21. – P. 864-881.

157. Comparative assessment of orthodontic clear aligner versus fixed appliance for anterior retraction: a finite element study / Q. Xia, W. Wang, C. Wang [et al.] // BMC Oral Health. – 2024. – Vol. 24. – № 1. – Art. 80. – DOI: 10.1186/s12903-023-03704-6.

158. Creekmore, T. D. Frankel appliance therapy: orthopedic or orthodontic? / T. D. Creekmore, L. J. Radney // Am J Orthod. – 1983. – Vol. 83. – P. 89-108.

159. Dejak, B. A comparison of stresses in molar teeth restored with inlays and direct restorations, including polymerization shrinkage of composite resin and tooth loading during mastication / B. Dejak, A. Młotkowski // Dental Materials. – 2015. – Vol. 31. – № 3. – P. e77-e87. – DOI: 10.1016/j.dental.2014.11.016.

160. Drace, J. E. Defining the normal temporomandibular joint / J. E. Drace, D. R. Enzmann // Radiology. – 1990. – Vol. 177. – P. 67-71.

161. Effectiveness of early orthodontic treatment with the twin-block appliance / K. O'Brien, J. Wright, F. Conboy [et al.] // Am J Orthod Dentofacial Orthop. – 2003. – Vol. 124. – P. 234-243.

162. Effectiveness of treatment for class II malocclusion with the herbst or twin-block appliances / K. O'Brien, J. Wright, F. Conboy [et al.] // Am J Orthod Dentofacial Orthop. – 2003. – Vol. 124. – P. 128-137.

163. Evaluation of molar and incisor bite force in indigenous compared with white population in Brazil / S. C. H. Regalo, C. M. Santos, M. Vitti [et al.] // Archives of Oral Biology. – 2008. – Vol. 53. – № 3. – P. 282-286. – DOI: 10.1016/j.archoralbio.2007.10.003.

164. Ferracane, J. L. Resin composite – state of the art / J. L. Ferracane // Dental Materials. – 2011. – Vol. 27. – № 1. – P. 29-38. – DOI: 10.1016/j.dental.2010.10.020.

165. Frankel, R. The treatment of Class II, Division 1 malocclusion with functional correctors / R. Frankel // Am J Orthod. – 1969. – Vol. 55. – P. 265-275.

166. Fusayama, T. Total etch technique and cavity isolation / T. Fusayama // J Esth Dent. – 1992. – Vol. 4(4). – P. 105-109.

167. Geng, J. P. Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature / J. P. Geng, K. B. Tan, G. R. Liu // The Journal of Prosthetic Dentistry. – 2001. – Vol. 85. – № 6. – P. 585-598. – DOI: 10.1067/mpr.2001.115251.

168. Geurtsen, W. Biocompatibility of resin-modified filling materials / W. Geurtsen // Crit Rev Oral Biol Med. – 2000. – Vol. 11(3). – P. 333-355.

169. Goossens, A. Contact allergic reactions on the eyes and eyelids / A. Goossens // Bull Soc Belge Ophtalmol. – 2004. – № 292. – P. 11-17.

170. Hägg, U. Dentofacial orthopaedics in relation to chronological age, growth period and skeletal development / U. Hägg, H. Pancherz // Eur J Orthod. – 1988. – Vol. 10. – P. 169-176.

171. Headgear versus function regulator in the early treatment of Class II, division 1 malocclusion / J. Ghafari, F. S. Shofer, U. Jacobsson-Hunt [et al.] // Am J Orthod Dentofacial Orthop. – 1998. – Vol. 113. – P. 51-61.

172. Herbst appliance anchored to miniscrews in the upper and lower arches vs standard Herbst / A. Manni, M. Migliorati, C. Calzolari [et al.] // Am J Orthod Dentofacial Orthop. – 2019. – Vol. 156. – P. 617-625.

173. Howe, R. P. The bonded Herbst appliance / R. P. Howe // J Clin Orthod. – 1982. – Vol. 16. – P. 663-667.

174. Hydrolytic stability of self-etch adhesives bonded to dentin / S. Inoue, K. Koshiro, Y. Yoshida [et al.] // J Dent Res. – 2005. – Vol. 84. – P. 1160-1164.

175. Immediate bonding properties of universal adhesives to dentine/ M.A. Muñoz, I. Luque, V. Hass [et al.] // J Dent. – 2013. – Vol. 41. – P. 404-411.

176. In vitro degradation of resin-dentin bonds analyzed by microtensile bond test / M. Hashimoto, H. Ohno, H. Sano [et al.] // Biomaterials. – 2003. – Vol. 24. – P. 3795-3803.

177. Interfacial chemistry of the dentin/adhesive bond / P. Spencer, Y. Wang, M. P. Walker [et al.] // J Dent Res. – 2000. – Vol. 79 (7). – P. 1458-1463.

178. Johnston, L. E. Functional appliances: a mortgage on mandibular position / L. E. Johnston // Aust Orthod J. – 1996. – Vol. 14. – P. 154-157.

179. Kanomi, R. Mini-implant for orthodontic anchorage / R. Kanomi // J Clin Orthod. – 1997. – Vol. 31. – P. 763-767.

180. Limitations in bonding to dentin and experimental strategies to prevent bond degradation / Y. Liu, L. Tjäderhane, L. Breschi [et al.] // J Dent Res. – 2011. – Vol. 90 (8). – P. 953-968.

181. Livieratos, F. A. A comparison of one-stage and two-stage nonextraction alternatives in matched Class II samples / F. A. Livieratos, L. E. Jr. Johnston // Am J Orthod Dentofacial Orthop. – 1995. – Vol. 108. – P. 118-131.

182. Manchorova-Veleva, N. A. Clinical Impact of Dental Adhesives on Postoperative Sensitivity in Class I and II Resin-Composite Restorations / N. A. Manchorova-Veleva, S. B. Vladimirov, D. A. Keskinova // Folia Med (Plovdiv). – 2015. – Vol. 57 (3-4). – P. 243-249.

183. McNamara, J. A. Jr. A comparison of the Herbst and Fränkel appliances in the treatment of Class II malocclusion / J. A. Jr. McNamara, R.P. Howe, T. G. Dischinger // Am J Orthod Dentofacial Orthop. – 1990. – Vol. 98. – P. 134-144.

184. McNamara, J. A. Jr. Rolf Fränkel, 1908-2001 (in memoriam) / J. A. Jr. McNamara // Am J Orthod Dentofacial Orthop. – 2002. – Vol. 121. – P. 238-239.

185. Mechanical properties and filler fraction of dental composites / M. Braem, W. Finger, V. E. Van Doren [et al.] // Dental Materials. – 1989. – Vol. 5. – № 5. – P. 346-348. – DOI: 10.1016/0109-5641(89)90128-0.

186. Mills, C. M. Treatment effects of the twin block appliance / C. M. Mills, K. J. McCulloch // Am J Orthod Dentofacial Orthop. – 1998. – Vol. 114. – P. 15-24.

187. Moorrees, C. F. A. Orthodontics and dentofacial orthopedics: past, present and future. Part 2 / C. F. A. Moorrees // Kieferorthopädie. – 1998. – Vol. 12. – P. 127-140.

188. Moss, M. L. The primary role of functional matrices in facial growth / M. L. Moss // Am J Orthod. – 1969. – Vol. 55. – P. 566.

189. Moszner, N. Chemical aspects of self-etching enamel-dentin adhesives: a systematic review / N. Moszner, U. Salz, J. Zimmermann // Dent Mater. – 2005. – Vol. 21. – P. 895-910.

190. Nakabayashi, N. The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates / N. Nakabayashi, K. Kojima, E. Masuhara // J Biomed Mater Res. – 1982. – Vol. 16(3). – P. 265-273.

191. Nguyen, V. A. The effectiveness of anterior unilateral bite turbos in correcting incisal plane cant and asymmetric overbite: a prospective clinical study / V. A. Nguyen, T. A. Nguyen, T. B. N. Doan // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15. – Art. 15772. – DOI: 10.1038/s41598-025-01035-w.

192. Pacha, M. M. A comparison of the efficacy of fixed versus removable functional appliances in children with Class II malocclusion / M. M. Pacha, P. S. Fleming, A. Johal // Eur J Orthod. – 2016. – Vol.38. – P. 621-630.

193. Pancherz, H. Treatment of Class II malocclusions by jumping the bite with the Herbst appliance / H. Pancherz // Am J Orthod. – 1979. – Vol. 76. – P. 423-442.

194. Perdigão, J. Current perspectives on dental adhesion: (1) Dentin adhesion – not there yet / J. Perdigão // Jpn Dent Sci Rev. – 2020. – Vol. 56(1). – P. 190-207.

195. Perdigão, J. Universal or multi-mode adhesives: why and how? / J. Perdigão, A. D. Loguercio // J Adhes Dent. – 2014. – Vol. 16. – P. 193-194.

196. Perillo, L. Permanence of skeletal changes after function regulator (FR-2) treatment / L. Perillo, L. E. Jr. Johnston, A. Ferro // Am J Orthod Dentofacial Orthop. – 1996. – Vol. 109. – P. 132-139.

197. Petrovic, A. Control processes in the postnatal growth of the condylar cartilage of the mandible / A. Petrovic, J. Stutzmann, C. Oudet // Rev Iberoam Orthodontics. – 1986. – Vol. 6(1). – P. 11-58.

198. Proffit, W. R. Contemporary Orthodontics / W. R. Proffit. – St. Louis: Mosby, 1999. – 742p.

199. Resin monomer 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA) is a potent inducer of apoptotic cell death in human and mouse cells / A. Paranjpe, L. C. Bordador, M. Y. Wang [et al.] // J Dent Res. – 2005. – Vol. 84(2). – P. 172-177.

200. Ruf, S. Temporomandibular joint growth adaptation in Herbst treatment / S. Ruf, H. Pancherz // Eur J Orthod. – 1998. – Vol. 20. – P. 375-388.

201. Scanning electron microscopy of cut tooth surfaces and identification of debris by use of the electron microprobe / J. Eick, R. A. Wilko, C. H. Anderson [et al.] // J Dent Res. – 1970. – Vol. 49. – P. 1359-1368.

202. Selective enamel etching in cervical lesions for self-etch adhesives: A systematic review and meta-analysis / A. Szesz, S. Parreiras, A. Reis [et al.] // J Dent. – 2016. – Vol. 53. – P. 1-11.

203. Sezinando, A. Looking for the ideal adhesive – A review / A. Sezinando // Rev Port Estomatol Med Dent Cir Maxilofac. – 2014. – Vol. 55(4). – P. 194-206.

204. State of the art etch-and-rinse adhesives / D. H. Pashley, F. R. Tay, L. Breschi [et al.] // Dent Mater. – 2011. – Vol. 27 (1). – P. 1-16.

205. Strategies to prevent hydrolytic degradation of the hybrid layer – a review / L. Tjäderhane, F. D. Nascimento, L. Breschi [et al.] // Dent Mater. – 2013. – Vol. 29 (10). – P. 999-1011.

206. Studies on dental self-curing resins (17). Adhesion of PMMA with bovine enamel or dental alloys / M. Takeyama, S. Kashibuchi, N. Nakabayashi [et al.] // J Japan Soc Dent Appar Mater. – 1978. – Vol. 19(47). – P. 179-185.

207. Supanich, P. Dental arch dimensional changes in deep bite adults treated with orthodontic fixed appliances in conjunction with maxillary incisor vs. canine bite turbos during the levelling and aligning phase: a randomized clinical trial / P. Supanich, U. Thongudomporn, S. Viteporn // Clinical Oral Investigations. – 2025. – Vol. 29. – № 1. – Art. 46. – DOI: 10.1007/s00784-024-06145-9.

208. Swift, E. Jr. Bonding to enamel and dentin: a brief history and state of the art / E. Jr. Swift, J. Perdigão, H. O. Heymann // Quintessence Int. – 1995. – Vol. 26. – P. 95-110.

209. Tay, F. R. Have dentin adhesives become too hydrophilic? / F. R. Tay, D. H. Pashley // J Can Dent Assoc. – 2003. – Vol. 69(11). – P. 726-731.

210. Tay, F. R. Single step adhesives are permeable membranes / F. R. Tay, D. H. Pashley // J Dent. – 2002. – Vol. 30. – P. 371-382.

211. The role of HEMA in one-step self-etch adhesives / K. L. Van Landuyt, J. Snauwaert, M. Peumans [et al.] // Dent Mater. – 2008. – Vol. 24. – P. 1412-1419.

212. Three-dimensional skeletal mandibular changes associated with Herbst appliance treatment / B. Q. Souki, M. M. Pithon, R. C. Figueiredo [et al.] // Orthod Craniofac Res. – 2017. – Vol. 20. – P. 111-118.

213. Toth, L. R. Treatment effects produced by the twin-block appliance and the FR-2 appliance of Fränkel / L. R. Toth, J. McNamara // Am J Orthod Dentofacial Orthop. – 1999. – Vol. 116. – P. 597-609.

214. Treatment effects of the edgewise Herbst appliance / R. VanLaecken, C. A. Martin, T. Dischinger [et al.] // Am J Orthod Dentofacial Orthop. – 2006. – Vol. 130. – P. 582-593.

215. Treatment timing for twin-block therapy / T. Baccetti, L. Franchi, L. Ratner Toth, J. A. McNamara // Am J Orthod Dentofacial Orthop. – 2000. – Vol. 118. – P. 159-170.

216. Yamauchi, J. Adhesive agents for hard tissue containing phosphoric acid monomers / J. Yamauchi, N. Nakabayashi, E. Masuhara // ACS polymer preprints. – 1979. – Vol. 2(1). – P. 594-595.

217. Yoshida, Y. Chemical analyses in dental adhesive technology / Y. Yoshida, S. Inoue // Jpn Dent Sci Rev. – 2012. – Vol. 48(2). – P. 141-152.