

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ПРИВОЛЖСКИЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНИЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

ФИЛИМОНОВ АНТОН АНДРЕЕВИЧ

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДИКИ ПРОФИЛАКТИКИ ПОБОЧНОГО
ДЕЙСТВИЯ ЭЛАЙНЕРОВ ПРИ ОРТОДОНТИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ

3.1.7. - Стоматология

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:

Гажва Светлана Иосифовна

Доктор медицинских наук, профессор,

заслуженный работник высшей школы РФ

Нижний Новгород – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	13
1.1. Распространенность зубочелюстных аномалий.....	13
1.2. Возникновение побочных эффектов в процессе ортодонтического лечения.....	18
1.3. Изменения микробиома рта у пациентов проходящих ортодонтическое лечение.....	24
1.4. Физико-механические свойства материалов и их возможности в конструировании индивидуальных элайнеров.....	29
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.....	33
2.1. Дизайн исследования.....	33
2.2. Материалы и методы исследования.....	35
2.2.1. Ретроспективный анализ медицинской документации для выявления распространенности зубочелюстных аномалий и различных побочных эффектов при проведении ортодонтического лечения.....	35
2.2.2. Изучение структуры качественного микроэлементного состава интактной эмали и при наличии очагов деминерализации.....	39
2.2.3. Определение адгезивной активности микробиома рта к конструкционным материалам для изготовления элайнеров.....	46
2.2.4. Исследование физико-механических показателей конструкционных материалов для изготовления элайнеров.....	52
2.2.5. Разработка способа лечения зубочелюстных аномалий с виртуальным 3D-моделированием зоны патологического очага в структуре элайнера.....	55
2.2.6. Клинические исследования для разработки методики профилактики побочного действия элайнеров при ортодонтическом	

лечения.....	61
2.2.7. Статистическая обработка полученных данных.....	66
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	69
3.1. Результаты ретроспективного анализа медицинской документации для выявления распространенности зубочелюстных аномалий и различных побочных эффектов при проведении ортодонтического лечения.....	69
3.2. Результаты изучения структуры качественного микроэлементного состава интактной эмали и при наличии очагов деминерализации.....	83
3.3. Результаты микробиологического исследования адгезивной активности микробиома рта к конструкционным материалам для изготовления элайнеров.....	89
3.4. Результаты физико-механических исследований на конструктивных материалах, используемых в изготовлении элайнеров.....	95
3.5. Результаты разработки способа лечения зубочелюстных аномалий с виртуальным 3D-моделированием зоны патологического очага в структуре элайнера.....	106
3.6. Результаты клинических исследований для разработки методики профилактики побочного действия элайнеров при ортодонтическом лечении.....	113
ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ.....	131
ВЫВОДЫ.....	143
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	145
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	146
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	148
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	170
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	171
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	173
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	175

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Зубочелюстные аномалии представляют собой широко распространённую патологию, охватывающую значительную долю населения мира, что подтверждается данными Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и крупными эпидемиологическими исследованиями - распространённость аномалий положения отдельных зубов достигает 30-50 % в различных популяциях. Высокая медико-социальная значимость проблемы обусловлена не только эстетическим дискомфортом, который негативно влияет на психоэмоциональное состояние пациентов и их качество жизни, но и функциональными нарушениями, способными приводить к расстройствам жевания, речи, окклюзии и другим клинически значимым последствиям [7, 22, 31, 50, 51].

Растущий спрос на ортодонтическое лечение подчёркивает необходимость совершенствования методик коррекции с одновременной минимизацией рисков для здоровья полости рта — это особенно важно в условиях повышения доступности ортодонтических услуг и расширения целевой аудитории [29, 49, 52, 89].

В последнее время ортодонтическое лечение с помощью элайнеров заняло лидирующую позицию в практике врачей ортодонтотв. Их востребованность возрастает в силу наличия положительных эффектов. Высокая эстетичность из-за отсутствия заметных визуальных элементов, удобство в использовании за счёт временного снятия конструкции, возможность цифрового моделирования посредством использования алгоритмов 3D- визуализации и пониженная травматичность для мягких тканей по сравнению с брекет-системой увеличивают спрос на данный способ ортодонтической коррекции. По данным различных научных публикаций, только в России за последние 5 лет произошло троекратное

увеличение количества пациентов, проходящих лечение с помощью прозрачных кап [32, 39, 93].

Однако, стоит учитывать тот факт, что клиническое применение элайнеров сопряжено с комплексом различных побочных эффектов. Например, длительное ношение элайнеров может приводить к механической травматизации слизистой оболочки рта, что повышает риск развития таких осложнений, как гингивит и катаральный стоматит. Эти состояния не только ухудшают качество жизни пациентов, но и могут осложнить процесс ортодонтической коррекции, тем самым, вынуждая прервать или корректировать его схему. Ключевым фактором, определяющим состояние эмали и слизистой оболочки рта при ортодонтическом лечении, выступает адгезивная активность микроорганизмов: микробиом формирует биоплёнки не только на поверхности эмали, но и на поверхности элайнеров, продуцируя органические кислоты [2, 3, 10, 56].

Эти вещества не только ускоряют деминерализацию эмали, но и оказывают отрицательное влияние на слизистую оболочку, подавляют местный иммунитет, а также создают благоприятные условия для воспалительных процессов [17, 19, 116]. Адгезивные свойства микробиома рта напрямую коррелируют с вероятностью возникновения различных побочных явлений, а использование ортодонтических конструкций, в том числе и элайнеров, усугубляет эту ситуацию. Таким образом, контроль адгезивной активности микроорганизмов в совокупности со строгим соблюдением гигиенических протоколов во время ортодонтической коррекции важны для сохранения целостности структуры эмали, профилактики заболеваний слизистой оболочки рта и обеспечения непрерывности аппаратного лечения.

Современные элайнеры изготавливаются из разнообразных материалов, отличающихся различными физико-механическими и химическими характеристиками. Эти различия оказывают существенное влияние как на клиническую эффективность коррекции аномалий положения отдельных зубов, так и на вероятность возникновения различных побочных эффектов. Исходя из этого, можно отметить тот факт, что выбор материала для элайнеров требует

комплексного подхода, учитывающего не только ортодонтические критерии, но и риски воздействия на ткани полости рта [28, 66, 85].

Несмотря на высокую распространенность элайнеров, четкого научного обоснования профилактики их побочных эффектов до настоящего времени не имеется. Данный факт обусловлен наличием различных причин, в том числе отсутствием стандартных протоколов лечения, с учетом индивидуальных факторов риска, а доказательная база строится исключительно на эмпирическом опыте отдельных клиницистов [1, 55, 56].

Поиск решения проблемы возникновения различных побочных эффектов в период ортодонтической коррекции с помощью элайнеров является актуальным, а масштабность проблемы напрямую связана с ростом популярности данной технологии. Так же стоит отметить, что современные стандарты качества медицинской помощи требуют минимизации рисков для пациента при сохранении высокой клинической и экономической эффективности лечения.

Степень разработанности темы. До сих пор единое научное мнение, связанное со снижением риска развития побочных эффектов при ортодонтической коррекции с применением элайнеров не сформировано, а в информационных базах данных E-Library, Scopus, Web of Science и в опубликованных статьях данная тема является дискуссионной. Разрозненные исследования, где описаны особенности использования элайнеров, сопоставлены их преимущества и недостатки, требуют дальнейшего изучения.

Научные публикации, доступные сегодня, чаще актуализируют лишь отдельные фрагменты данной темы без целостного представления о путях ее решения. Вместе с тем, исследования, посвященные побочным эффектам при ортодонтическом лечении с помощью элайнеров и путям их устранения, уже служат теоретической базой, необходимой для дальнейшего анализа и создания новых методов.

Цель исследования. Повышение эффективности ортодонтического лечения пациентов с аномалиями положения отдельных зубов и снижение риска развития

побочных явлений путем разработки и внедрения элайнеров с комбинированным лечебно-профилактическим эффектом.

Задачи исследования.

1. Провести ретроспективный анализ медицинской документации для определения распространенности зубочелюстных аномалий и выявления побочных явлений на этапах ортодонтического лечения.

2. Определить химический профиль эмали до и после реминерализации с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния в условиях эксперимента.

3. Изучить адгезивную активность микробиома рта к конструкционным материалам, используемым для изготовления элайнеров и уточнить их физико-механические свойства.

4. Разработать методику изготовления элайнеров с лечебно-профилактическим эффектом и предложить способ лечения зубочелюстных аномалий с их использованием (Патент № 2815154).

5. Усовершенствовать алгоритм ортодонтического лечения аномалий положения отдельных зубов и оценить его лечебную эффективность и профилактическую направленность.

Научная новизна исследования.

1. На основании ретроспективного анализа медицинской документации получены новые данные о распространенности зубочелюстных аномалий, а также уточнены виды побочных явлений при проведении ортодонтической коррекции.

2. Впервые определен химический профиль эмали до и после реминерализации с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния, который послужил фундаментальной основой для разработки персонифицированных элайнеров с реминерализующим эффектом.

3. Впервые, в условиях эксперимента, изучена адгезивная активность микрофлоры полости рта к конструкционным материалам, используемым для изготовления элайнеров, а также уточнены их физико-механические свойства на статический изгиб и растяжение.

4. Впервые разработана методика изготовления элайнеров с реминерализующим эффектом и предложен способ восстановления деминерализованной эмали на этапах ортодонтического лечения аномалий положения отдельных зубов (Патент № 2815154).

5. Усовершенствован алгоритм ортодонтического лечения, снижающий риск возникновения побочных явлений в структуре эмали, путем разработки и внедрения усовершенствованных элайнеров с направленным минерализующим действием.

Теоретическая и практическая значимость работы. С научной и практической точек зрения данное исследование ценно тем, что в нем предложена обновленная методика ортодонтического лечения на базе усовершенствованных элайнеров. Встроенный в конструкцию капы дополнительный микрорезервуар для внесения в него реминерализующего вещества дает возможность решать задачу нивелирования аномалий положения отдельных зубов с одновременным устранением очагов деминерализации в структуре их твердых тканей у пациентов, проходящих ортодонтическое лечение.

Одним из главных теоретических результатов явилось создание метода компьютерного моделирования дополнительного очага над участком поражения в структуре эмали на виртуальных трехмерных моделях зубных рядов. Данный способ обладает адресной доставкой реминерализующих средств и вместе с тем подтверждает, что лечебная стратегия подбирается индивидуально, а ортодонтическая коррекция дополняется воздействием на поверхностные слои эмали.

В области стоматологического лечения, ориентированного на индивидуальные особенности пациента, работа подтверждает практическую ценность цифровых инструментов и виртуальных решений, которые повышают результативность лечения стоматологических заболеваний, возникающих под влиянием множества причин. В предложенном подходе ортодонтическое вмешательство сочетается с лечебным эффектом, направленным на устранение участков деминерализации эмали, а итогом сочетания служит более надежная и

действенная коррекция нарушений соотношения зубных рядов и аномалий положения отдельных зубов. Вследствие этого в настоящее время данный метод приобретает заметное значение для ортодонтической практики.

Методология и методы исследования. Данная работа представляет собой сравнительное, управляемое, лабораторно-экспериментальное, клиническое исследование с элементами проспективного анализа и интегративного междисциплинарного подхода. Лица с 15 до 36 лет обоего пола с аномалиями положения отдельных зубов разной степени тяжести в сочетании с очаговой деминерализацией эмали принимали участие в исследовании, а стоматологический и ортодонтический статусы были объектами нашего профессионального внимания. В исследовании использовались следующие методы: аналитический, статистический, клинический, микробиологический, физико-механический. Диссертационная работа базируется на принципах доказательной медицины, а полученные результаты статистически значимы.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Побочными эффектами на этапах ортодонтического лечения зубочелюстных аномалий являются чаще всего кариес зубов, гингивит, травматические повреждения слизистой оболочки рта, сколы твердых тканей зубов, степень выраженности которых зависит от возраста, вида аномалии с преобладанием процессов деминерализации в каждом возрастном периоде.

2. Разработана методика изготовления элайнеров с лечебно-профилактическим эффектом и предложен способ лечения зубочелюстных аномалий (Патент № 2815154).

3. Конструкционный материал на основе полиуретантерефталата (Zendura), обладающий минимальной адгезивной активностью микробиома рта к его поверхности ($0,517 \text{ у.е}$) с оптимальными значениями показателей при растяжении ($23,1 \pm 4,9 \text{ МПа}$ и $698 \pm 79 \text{ МПа}$) и трехточечном-изгибе ($1530 \pm 72 \text{ МПа}$) рекомендован для изготовления персонифицированных элайнеров и их применения в клинической практике.

4. Разработанный алгоритм лечения аномалий положения отдельных зубов с использованием усовершенствованных элайнеров повышает эффективность ортодонтического лечения, снижает риск возникновения побочных явлений на фоне стабильного уровня гигиены полости рта.

Степень достоверности и апробация результатов. О достоверности результатов данной работы свидетельствует четко поставленная цель, междисциплинарный подход решения поставленных задач.

Основные положения диссертации доложены и обсуждены на таких научно-практических конференциях с международным участием как: «Современные тренды в стоматологии. Реалии и перспективы.» (г. Нижний Новгород, 2024); X Белорусском международном стоматологическом конгрессе (г. Минск, Республика Беларусь, 2024); 53 Всероссийской научно-практической конференции СтАР «Стоматология XXI века» (г. Москва, 2025).

Ход выполнения работы был под четким контролем и многократно выносился на обсуждение кафедры Стоматологии ФДПО ФГБОУ ВО «ПИМУ» МЗ РФ.

Обсуждение диссертации (апробация) состоялась 12. 05. 2026 г. на заседании проблемной комиссии Института стоматологии ФГБОУ ВО «ПИМУ» МЗ РФ при участии сотрудников кафедр: терапевтической, ортопедической стоматологии и ортодонтии, пропедевтической стоматологии, хирургической стоматологии и ЧЛХ, стоматологии детского возраста и стоматологии ФДПО ФГБОУ ВО «ПИМУ» МЗ РФ.

Внедрение результатов исследования. Результаты научно-исследовательской работы внедрены в учебный процесс кафедры стоматологии ФДПО ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава России и используются в рамках циклов профессиональной переподготовки, повышения квалификации, тематического усовершенствования по специальности «Ортодонтия», а также в рамках специалитета для студентов института стоматологии. Кроме того, они внедрены в лечебный процесс университетской клиники «ПИМУ», ГАУЗ НО «ОСП» и стоматологических филиалов ООО «Садко».

Личный вклад автора. Проведен самостоятельный анализ отечественных и зарубежных публикаций, составивших список литературы, включающий в себя 158 источников.

Научная работа построена из нескольких взаимосвязанных этапов. Каждый этап служит поиску решения проблемы коррекции зубочелюстных аномалий при одновременном наличии патологических изменений в структуре их твердых тканей. Ретроспективный анализ медицинских карт (043-1/у) позволил уточнить данные о частоте встречаемости зубочелюстных аномалий и выявить нежелательные эффекты, сопровождающие ортодонтическую коррекцию. В экспериментальном исследовании были получены данные о состоянии интактной эмали и с наличием очагов деминерализации, параллельно, посредством спектроскопии комбинационного рассеяния (Рамановская спектрометрия), была определена результативность реминерализующей терапии в зонах поражения поверхностных слоев эмали. Так же в условиях эксперимента были установлены адгезивные свойства микроорганизмов к конструкционным материалам, предназначенным для изготовления элайнеров, и были сопоставлены их физико-механические характеристики. На базе полученных данных был создан способ лечения зубочелюстных аномалий (Патент № 2815154), а также пересмотрена и усовершенствована схема ортодонтического лечения аномалий положения отдельных зубов с использованием усовершенствованных элайнеров с дополнительным микрорезервуаром для адресной доставки реминерализующего вещества.

Научные работы и публикации по теме диссертации. В рамках диссертационного исследования опубликовано 4 научных статьи (все 4 в журналах, входящих в перечень рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Минобрнауки РФ, а так же из них 2 работы - в изданиях, индексируемых международной библиографической базой данных Scopus). Патент на изобретение № 2815154 от 11. 03. 2024 г. «Способ лечения зубочелюстных аномалий» [41].

Объем и структура диссертации. Диссертационное исследование не нарушает правил его построения, а соответствующие разделы изложены

традиционно, включая в себя: обзор отечественных и зарубежных источников специальной литературы, объектов, материалов и методов, отражающих дизайн исследования. Анализ полученных данных отражен в главе «Результаты исследования», с последующим обсуждением в одном из разделов диссертационного исследования «Обсуждение полученных результатов». Выводы, практические рекомендации и приложения являются завершающими в структуре научной работы. Она изложена на 176 страницах, иллюстрирована 89 рисунками, дополнена 25 таблицами, список литературы содержит 158 источников (67 - отечественных, 91 - зарубежных)

ГЛАВА 1

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Степень распространенности аномалий зубочелюстной системы

В стоматологической практике ЗЧА рассматривают не только как локальное нарушение прикуса или положения зубных рядов, но и как состояние, способное затрагивать телесное благополучие, эмоциональную сферу, участие в общественной жизни и общий уровень жизни пациента. На функциональном уровне нарушения отражаются на согласованной работе жевания, речевого аппарата и дыхания, из-за чего повседневные действия нередко утрачивают прежнюю полноту. При заметных внешних проявлениях возникают психологический дискомфорт, социальное отдаление и снижение уверенности в себе; раннее выявление аномалий и комплексная коррекция приобретают особую клиническую ценность. Поскольку ЗЧА воздействуют сразу на несколько жизненных сфер, обращение за специализированной помощью на раннем этапе, установление диагноза без задержки и продуманная терапия дают возможность улучшить отдаленный прогноз, повысить качество жизни пациентов и снизить вероятность вторичных осложнений [5, 6].

Сопоставление крупного массива научных публикаций указывает на широкий разброс частоты выявления аномалий зубочелюстной системы. Расхождение итогов исследований связано не с одной причиной, а с совокупностью методических и организационных обстоятельств, в разных регионах и у разных исследовательских групп используют неодинаковые подходы и диагностические ориентиры. Дополнительную трудность создает отсутствие унифицированных международных правил учета и типологизации подобных нарушений, поэтому надежные сопоставительные исследования затруднены [7, 22, 29, 49].

Проведённый библиографический обзор сосредоточен на частотных характеристиках ЗЧА и опирается на корпус научных статей. В поле рассмотрения находятся новейшие результаты по диагностике и терапии, наряду с обстоятельствами, повышающими вероятность появления и последующего развития аномалий.

При общей оценке для ЗЧА в целом характерна высокая выявляемость, но конкретные показатели меняются от страны к стране под влиянием этнической, генетической и экологической среды. Хорватский материал дает 24,1 %, у обследованных пациентов ЗЧА были установлены, и данное значение, по-видимому, связано с генетическим фоном и особенностями питания местного населения. Иной уровень отмечен в Саудовской Аравии, где частота ретенции зубов поднимается до 64,1 %; вероятным источником такого уровня считают наследственную предрасположенность и специфические культурные практики, затрагивающие здоровье зубочелюстной системы. Для Италии указан показатель 25,7 % [129, 131].

Результаты международной выборки, составленной из участников из разных государств, показывают выявление ЗЧА у 36,0 % обследованных, что указывает на распространённость проблемы в разных странах. Для территории США зафиксирована доля 40,88 %. У молодого поколения фиксируют рост частоты аномалий, а учёные связывают рост с перестройкой пищевого поведения и снижением объёма физической активности [89, 151].

В РФ распространённость ЗЧА отличается выраженной региональной неоднородностью. В Ставропольском крае аномалии выявлены у 61,55% обследованных, тогда как в Тверской области показатель равен 87,4%. Такой разрыв связан с одновременным влиянием наследственных характеристик популяций, экологического фона, климатического режима, свойств питьевой воды, доступности помощи стоматологического профиля и уровня осведомлённости населения о гигиене ротовой полости [14, 31, 47, 52].

Для российской стоматологической практики тема зубочелюстных аномалий по-прежнему сохраняет высокую значимость; при составлении профилактических и терапевтических мер нужно учитывать особенности конкретного региона.

Сверхкомплектные зубы обнаружены у 8,1 % обследованных в Саудовской Аравии; наличие сверхкомплектных зубов нередко приводит к перемещению соседних зубов и, в дальнейшем, к нарушению прикуса. При отсутствии одного зуба либо сразу нескольких говорят о гиподонтии или адентии, подобные случаи отмечены у 7,5 % пациентов в Хорватии и у 6,8 % в Италии, а происхождение нередко связывают с генетическими нарушениями становления зубочелюстной системы. Самой распространенной аномалией остается ретенция зубов, в Саудовской Аравии она диагностирована у 64,1 %, в Иране - у 21,8 %, в Италии - у 12,0 %, в США - у 7,29 % [89, 151].

Данные, полученные в Иране, показывают, что дилацерация, то есть аномалия формы корня зуба, была выявлена у 27,7 % обследованных; данное отклонение заметно усложняет проведение эндодонтического лечения. В Ставропольском крае дистальный прикус обнаружен у 25,56 % пациентов, а клиническая картина нередко дополняется функциональными нарушениями, из-за чего возникает потребность в комплексной ортодонтической помощи. Возрастной фон нарушений развития и соотношения зубочелюстного аппарата характеризуется последовательным ростом частоты выявления, у 4-6-летних детей такие нарушения выявляют примерно в 40,9 % случаев, в 6-9 лет - уже в 81,3 %, а в подростковом интервале 12-16 лет показатель находится в пределах от 61,55 до 87,4 %; такая картина связана с естественным возрастным созреванием зубочелюстного комплекса и совокупностью неблагоприятных внешних влияний, травм, вредных привычек и соматических заболеваний [5, 14, 31, 47, 51, 52].

Собранные данные свидетельствуют о том, что зубочелюстные аномалии прогрессируют с возрастом. Раннее выявление патологии критически значимо: своевременно начатое лечение предотвращает переход в тяжелые формы и снижает вероятность сложных хирургических вмешательств в дальнейшем. Диагностика на начальных этапах существенно повышает результативность терапии, уменьшает

риск осложнений (дисфункции височно-нижнечелюстного сустава, хронического болевого синдрома, эстетических нарушений) [49].

Раннее выявление аномалий позволяет применять минимально инвазивные методы лечения и коррекции, пока патология еще не перешла в запущенную стадию.

Современные методы диагностики, такие как конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ) и магнитно-резонансная томография височно-нижнечелюстного сустава, а также цифровое 3D-моделирование, позволяют выявлять зубочелюстные аномалии на ранних стадиях, до появления клинических симптомов. Это значительно увеличивает шансы на успешное лечение и снижает риск осложнений в будущем. Применение цифровых технологий дает возможность разрабатывать индивидуальные планы ортодонтического лечения, учитывая уникальные анатомические особенности каждого пациента [41].

В работах, выполненных на материале Хорватии и Италии, статистически значимой разницы между мужской и женской группами по частоте аномалий зубочелюстной системы не установлено. Иная картина отмечена в Саудовской Аравии, задержка прорезывания зубов там фиксируется чаще у мужчин, тогда как добавочные зубные единицы сверх обычного набора диагностируются преимущественно у женщин. Подобные расхождения могут объясняться наследственными особенностями либо эндокринной регуляцией. У мужчин иранские исследователи выявили более выраженную встречаемость транспозиции зубов, что позволяет рассматривать этническую составляющую как один из вероятных механизмов возникновения зубочелюстных аномалий. Эти данные указывают на выраженную роль пола в развитии разных разновидностей зубочелюстных аномалий; вместе с тем достоверные выводы здесь возможны лишь после более крупных исследований и с параллельным учетом биологических, психологических и социальных факторов [89, 151].

Чтобы объяснить различия в частоте зубочелюстных аномалий у представителей разных полов без упрощений, приходится учитывать два круга обстоятельств, внутреннюю физиологическую основу и влияние среды жизни и

поведения. В первом случае наибольшую роль играют эндокринная специфика и особенности темпов роста челюстных структур; во втором - характер рациона, поведенческие установки и доступность помощи стоматолога. Полное понимание упомянутых механизмов доступно лишь при совместном рассмотрении проблемы специалистами из разных научных областей.

К числу дополнительных источников риска относятся неблагоприятное течение беременности, сопровождаемое гипоксией плода и токсикозами, родовые травмы, ранняя утрата молочных зубов, из-за чего нарушается прорезывание постоянных, ротовое дыхание и эндокринные расстройства [5, 36]. В детском возрасте особую роль играют длительное сосание пальца или пустышки и неправильное положение языка в покое и во время глотания, так как подобные поведенческие особенности приводят к появлению аномалий окклюзии и требуют ранней коррекции. На фоне соматических заболеваний - рахита, гипотиреоза и хронических инфекций – распространенность ЗЧА достигает 74,6 %, что связано с нарушением метаболических процессов и замедлением развития челюстных костей.

При обследованиях удельный вес лиц с зубочелюстными аномалиями составляет от 24,1 до 87,4 % и варьирует по регионам; подобные расхождения связаны с различиями в диагностических подходах, неодинаковым генетико-экологическим составом популяций и разным уровнем организации стоматологической помощи и профилактики в ряде стран [5, 22, 29, 129, 151].

ЗЧА сохраняют статус широко распространенного нарушения, которое требует непрерывного профессионального внимания. Их высокая частота в разных возрастных и географических группах указывает на необходимость выявления на раннем этапе, лечения, выстроенного с учетом особенностей конкретного пациента, комплекса профилактических мер и расширения информированности населения о состоянии зубочелюстной системы. В качестве ориентиров на последующую работу нужно обозначить поиск самых весомых факторов риска, а учет территориальной и этнической неоднородности обязателен. Для детской и подростковой группы требуется выстроить действенные меры предупреждения.

Лечебный этап целесообразно совершенствовать с опорой на новые технические решения, среди них элайнеры и новейшие брекет-системы. Отдельного изучения заслуживают отдаленные итоги терапии, а именно ее влияние на уровень жизни пациентов.

1.2. Возникновение побочных эффектов в процессе ортодонтического лечения

Среди возможных неблагоприятных последствий ортодонтической терапии с применением элайнеров - деминерализация эмали. По данным исследований, деминерализация эмалевого слоя, связанная с таким лечением, способна создавать условия для развития кариеса, появления белых меловидных пятен, ранних проявлений кариеса, а еще для возникновения иных стоматологических нарушений. Подобные изменения отрицательно сказываются на качестве жизни пациента и нередко требуют дополнительного лечения. При сочетанном действии ряда сопряженных причин описываемое явление развивается следующим образом, при наличии во рту ортодонтических конструкций поддержание нормального уровня гигиены ротовой полости заметно усложняется, из-за чего в участках, недоступных для полноценного очищения, скапливается зубной налет; одновременно пищевая среда и микробная флора переводят pH слюны в более кислый диапазон, а в отдельных зонах возрастает содержание органических кислот, вырабатываемых кариесогенными микроорганизмами, прежде всего *Streptococcus mutans* и *Lactobacillus spp.*; под действием перечисленных условий снижается минеральная плотность эмали и нарушается равновесие между деминерализацией и реминерализацией, поэтому возникает необходимость подробного изучения и создания комплексных профилактических мер [19, 26, 62].

В качестве источников взяты работы последних лет, опубликованные в отечественных и международных журналах; на основе указанных работ оцениваются способы предупреждения и терапии снижения минерализации эмали

у лиц, получающих ортодонтическую помощь. Отдельный блок посвящён лекарственным стратегиям - средствам для реминерализации и препаратам с фтором, и техническим решениям, новым методам контроля состояния эмаливого слоя и изменению ортодонтических конструкций.

В ходе проспективного клинического исследования с участием 60 человек в возрасте от 18 до 35 лет Федорова А. В., Солдатов Л. Н., Солдатов В. С. и Иорданишвили А. К. проводили оценку результативности комплекса реминерализующих средств, составленного из зубной пасты «R.O.C.S. PRO Brackets & Ortho» и геля «R.O.C.S. Medical Minerals», у лиц, получающих ортодонтическое лечение с применением элайнеров. На протяжении 3 месяцев использование указанного комплекса сопровождалось заметным улучшением гигиены полости рта. По сравнению с контрольной группой индекс зубного налета Квигли-Хейна оказался ниже на 35,0 %, что указывает на более благоприятные условия для профилактики деминерализации зубов. Одновременно ТЭР-тест зафиксировал рост кислотоустойчивости эмали на 28,0 %, что отражает восстановление ее минеральной плотности и усиление сопротивляемости воздействию кислот. О 40-процентном снижении индекса РМА указывает улучшение состояния тканей пародонта и ослабление воспалительной активности. По мнению авторов, весь комплекс отличается высокой действенностью и предназначен для использования на протяжении всего периода ортодонтического лечения, поскольку систематическое использование указанных средств заметно уменьшает вероятность деминерализации и других заболеваний за счет синергетического действия кальция, фосфора, магния и ксилита [42, 58, 60].

В работе, выполненной Сайпеевой М. М. и её коллегами, реминерализующее действие PRESIDENT PROFI REM «MINERALS GEL» оценивали у 45 подростков 12-17 лет, проходивших лечение элайнерами, причём дизайн исследования представлял собой рандомизированное контролируемое исследование. При таком наборе данных ИГР-У снизился на 32,0 %, РМА - на 38,0 %, а ТЭР - на 25,0 %, что указывает на более благоприятное гигиеническое состояние полости рта и на

снижение вероятности эмалевых повреждений, связанных с деминерализацией [34].

На фоне длительного ортодонтического лечения подобные сдвиги приобретают особую значимость. В смешанной слюне отмечен рост показателя pH, а содержание кальция увеличилось на 18,0 %, что указывает на возвращение минерального равновесия и запуск естественной реминерализации в полости рта. По данным OHIP-14 средний балл снизился на 27,0 %, что соответствует более высокому качеству жизни пациентов. Одновременно пациенты сообщают о меньшем дискомфорте и о большей уверенности в эстетическом результате [97].

Для прозрачных элайнеров Liu Z. и его команда создали IMSCA - интегрированную мультиплексную сенсорную систему, рассчитанную на такую клиническую задачу. При работе *in situ* она прицельно регистрирует деминерализацию эмали. Система улавливает сдвиги концентрации ионов кальция в расширенном диапазоне, благодаря чему измерения сохраняют надежность в разных клинических ситуациях. Высокая селективность и устойчивость системы тоже подтверждены, коэффициент вариации не поднимается выше 5% за шесть месяцев, что сохраняет долговременную достоверность результатов. Проверка *in vitro* показала биологическую безопасность IMSCA, а уровень жизнеспособности клеток оказался выше 95%, поэтому систему можно использовать в стоматологии [110].

По данным исследований, IMSCA дает возможность выявить раннюю потерю минералов в эмалевом слое на две-три недели раньше, чем распознавание при визуальном осмотре; такой запас времени дает шанс заранее начать профилактику и снизить потребность во вмешательствах инвазивного характера [102, 110].

Для прозрачных ортодонтических капп с фторсодержащим слоем исследование Yan J. и коллег показало выраженное подавление *S. mutans*, в условиях *in vitro* колонизация снизилась на 65,0 %. За 14 дней каппы сохраняли поступление фторида, а после выдерживания в 1,0 % растворе NaF запас вещества увеличивался. При таком режиме в полости рта удерживался благоприятный

уровень фторида, а эмаль получала дополнительное укрепление за счет образования фторapatита. Рентгенофазовое исследование показало, что в искусственной слюне элайнеры стимулируют образование гидроксиapatита; при кислотной нагрузке потеря минералов эмали сокращалась на 40%, что дает основание считать технологию перспективным средством профилактики деминерализации и щадящего лечения [108].

При сопоставлении гигиенического статуса 80 пациентов, получавших лечение с помощью брекет-систем и элайнеров, установлено, что у носителей съемных ортодонтических конструкций значения индекса ОНI-S более благоприятны, чем у пациентов с несъемными аппаратами ($p < 0,05$). Различие объясняется тем, что съемные системы дают возможность без труда очищать и зубы, и сами элайнеры, тогда как фиксированные элементы брекетов затрудняют доступ к поверхности эмали; поэтому при выборе ортодонтического аппарата нужно учитывать гигиенический аспект, поскольку недостаточный уход за полостью рта входит в число ведущих причин деминерализации эмали, в особенности у пациентов с низкой мотивацией к поддержанию гигиены [11].

Для пациентов, получающих ортодонтическое лечение элайнерами, А. В. Фёдорова и Л. Н. Солдатова создали усовершенствованную систему индексной оценки гигиенического состояния полости рта. В состав системы включены не только общепринятые показатели ИГР-У, РМА и КПУ, но и дополнительные индексы, по которым оценивают состояние ортодонтических конструкций, уровень загрязнения элайнера и степень износа материала. Раздельная проверка чистоты зубов, пародонтальных тканей и самих элайнеров дает более цельное представление о состоянии полости рта и о влиянии ортодонтической конструкции на местную регуляцию. По итогам такого наблюдения врач получает возможность беспристрастно судить о результативности персонального гигиенического комплекса и, когда возникает потребность, вносить коррективы в лечение, например, советовать дополнительные средства ухода либо пересматривать график использования элайнеров [42, 56, 60, 67].

Лечебную схему, по экспертной оценке Xia L. с коллегами (2023), подбирают адресно, учитывают наследственную склонность, состав микробного сообщества и буферную способность слюны к сдерживанию кислотности. До того, как на эмали заметны клинические изменения, оправдано упреждающее вмешательство, поскольку ранний этап требует мер, направленных на недопущение деминерализации. Белые пятна служат клиническим ориентиром начальной утраты минералов; раннее распознавание белых пятен открывает путь к щадящей реминерализующей терапии с применением гелей на основе наногидроксиапатита. В период ортодонтического лечения, как подчеркивают авторы консенсуса, ведение таких пациентов должно строиться на согласованных действиях стоматолога-ортодонта, терапевта и гигиениста, с участием диетолога, чтобы обеспечить наилучший результат, в частности за счет коррекции пищевых привычек [102].

Zakrzewski W. и его коллеги указывают на то, что использование нанотехнологий придает ортодонтическим материалам более выраженные полезные качества, в том числе способность подавлять микроорганизмы. При сокращении патогенной микрофлоры в ротовой полости вероятность деминерализации эмали уменьшается. Тем самым нанотехнологический подход расширяет возможности как для более результативной ортодонтической терапии, так и для предупреждения болезней полости рта [117].

В научных работах просветительским модулям для людей, применяющих элайнеры, отводится заметная роль, через них формируется знание гигиенических норм, без него трудно поддерживать стоматологическое здоровье. При освоении пациентом приемов ухода за ротовой полостью во время ортодонтической коррекции вероятность потери минеральной плотности эмали заметно снижается. Дополняют картину пищевые советы, сокращение доли сладкой пищи и напитков, а еще включение продуктов, богатых кальцием и фосфором, повышают стойкость эмали и уменьшают риск ее деструкции [34, 39].

Во время ортодонтического лечения одной из неблагоприятных реакций становится утрата минералов гидроксиапатитов в структуре эмали. Клинический

арсенал сегодняшнего дня дает возможность сдерживать такой процесс, реминерализующие средства возвращают минеральное равновесие и приводят его к норме. Помимо этого, новые материалы, включённые в конструкцию брекет-систем нынешнего поколения, ощутимо уменьшают риск активного накопления зубного налёта. Дополнительную защиту дают системы наблюдения нового поколения, они без задержки распознают даже едва заметные исходные сдвиги в состоянии эмали уже в самом начале патологического процесса. На всем протяжении ортодонтической коррекции здоровое и прочное состояние эмали поддерживается за счет согласованного применения медикаментозной терапии, усовершенствованных ортодонтических систем, рассчитанных на уменьшение угрозы повреждения эмалевого слоя, и планового наблюдения за тканями зубов во время регулярных осмотров. При таком подходе вероятность деминерализации заметно уменьшается, а эмаль сохраняется в благополучном и стабильном состоянии [19, 26].

По сравнению с брекет-системами элайнеры обладают более выигрышными функциональными свойствами. Конструкция, допускающая самостоятельное снятие, упрощает гигиенический уход за полостью рта и снижает вероятность развития заболеваний пародонта. При индивидуальном изготовлении, с учетом анатомических особенностей пациента, лечебный процесс проходит результативнее, а положение зубов - более выверенным. Оптическая характеристика материала снижает заметность элайнеров на зубах, что особенно существенно для пациентов из социально значимых возрастных групп и профессиональных сфер [39, 55, 56, 57].

На нынешнем этапе элайнеры получили распространение как востребованный вариант ортодонтической коррекции, однако использование элайнеров связано с неблагоприятными последствиями для эмалевого слоя и микробного баланса слизистой оболочки рта. Когда эмаль теряет минералы, возрастает риск кариозного поражения и иных патологий твердых зубных структур; смещение микробиома способно провоцировать воспаление. Поэтому

названные угрозы нуждаются в углублённом изучении и подборе мер для снижения риска [19, 34, 42, 58].

1.3. Изменения микробиома рта у пациентов проходящих ортодонтическое лечение

Ортодонтическая терапия служит коррекции отклонений в развитии зубочелюстного комплекса. Размещение аппаратов в полости рта способно нарушать баланс микробного сообщества. Перестройка микробиома повышает вероятность кариеса, гингивита и пародонтита, после чего лечение может становиться более трудным и менее результативным. Обзорная статья объединяет исследования о влиянии ортодонтических аппаратов на микробиом, рассматривает механизмы отмеченных сдвигов и оценивает способы предупреждения связанных осложнений [8, 11, 125].

Брекеты, элайнеры и другие аппараты, предназначенные для коррекции окклюзии, заметно ослабляют самопроизвольное очищение ротовой полости, из-за усложнённой формы и выступающих деталей слюна хуже распределяется по эмали и слизистой оболочке, формируются участки задержки. При таком устройстве обычные средства гигиены справляются с удалением налёта недостаточно полно, вследствие чего биоплёнка последовательно нарастает как на твёрдых тканях зубов, так и на самих ортодонтических конструкциях. По мере нарастания биоплёнки в ротовой полости нарушается микробное равновесие, обычные представители флоры утрачивают прежние позиции, тогда как преимущество получают условно-патогенные и патогенные бактериальные формы. При неполноценной работе естественных механизмов очищения данные микроорганизмы переходят в режим более интенсивного обмена веществ, используют углеводные остатки пищи и образуют органические кислоты, повреждающие зубную эмаль. Одновременно ими синтезируются эндотоксины и экзотоксины, запускающие воспалительный ответ в тканях пародонта, и создаются микробные консорциумы, сохраняющие устойчивость к антисептикам и

антибиотикам. При длительном ношении ортодонтических аппаратов и несоблюдении жестких правил гигиены риск кариеса, гингивита, пародонтита, эрозии эмали и возникновения локальных хронических инфекционных очагов заметно возрастает; подобные очаги могут неблагоприятно сказываться на здоровье пациента [1, 8, 11, 66].

Ортодонтическое лечение лучше оценивать не как изолированное вмешательство в пределах зубочелюстной системы, а как фактор, способный затрагивать организм в целом. Такой вывод опирается на представление о том, что ротовая полость находится в тесной системной взаимосвязи с иными биотопами тела, прежде всего с кишечником, о чем пишут Kunath В. J. с соавторами. Даже ограниченные изменения микробиома рта могут находить отражение в общем состоянии здоровья [150].

Через три месяца ношения брекет-системы у пациентов выявлен статистически достоверный рост численности *Streptococcus mutans*, *Lactobacillus spp.*, *Porphyromonas gingivalis* и *Fusobacterium nucleatum*; данные виды рассматриваются как ведущие причинные агенты кариозного процесса и пародонтита, поэтому ускоренное размножение указанных микроорганизмов способно заметно осложнять состояние ротовой полости в ходе ортодонтической коррекции [3, 56].

При полном клиническом рассмотрении состояния микробного сообщества врачу нужно учитывать не только проявления на уровне отдельного участка и всего организма, но и личные характеристики человека, среди которых возраст, качество гигиенического ухода и сопутствующие патологии. После установки ортодонтических аппаратов поведение микробной среды у разных людей складывается по-разному и связано с особенностями конкретного организма. У пациентов с иммунной недостаточностью либо хроническими заболеваниями такой вариант чаще приводит к нарушению стабильного состава микрофлоры [66].

Ортодонтические конструкции несъемного типа формируют протяженные участки, удобные для прикрепления бактерий; особенно выражена подобная картина в зоне замковых элементов и под ортодонтическими дугами, где

задерживается налет и активно размножаются патогенные микробы. По истечении трех месяцев использования брекет-систем у обследованных выявлено снижение гигиенической оценки API, показатель вырос с 25 % до 59 % ($p < 0,001$). Чаще регистрировались жалобы на галитоз (63 %), а на отложения и кровоточивость десневого края - у 48 %. При использовании брекет-систем исследования показывают рост биопленочной массы и числа микробов патогенного и условно-патогенного характера; затем возрастает риск кариеса и гингивита. Подобные наблюдения позволяют говорить о заметном ухудшении здоровья ротовой полости у пациентов с фиксированными ортодонтическими аппаратами, поэтому на всем протяжении лечения необходим особенно тщательный гигиенический контроль [2, 11, 13, 42].

Даже будучи съемными и допускающими очистку вне полости рта, элайнеры остаются фактором, изменяющим состав микробиома. В зоне соприкосновения с эмалью они ослабляют естественное омывание зубов слюной и формируют анаэробную среду, создающую условия для усиленного размножения отдельных бактериальных видов. Santonocito S. и Polizzi A. отмечают, что элайнеры характеризуются меньшей инвазивностью, но безопасный итог их использования связывают со строгим соблюдением режима ношения и гигиенических требований. Даже при использовании съемных конструкций пренебрежение такими предписаниями может обернуться нарушением микробиоты и запуском патологических процессов [134].

При добросовестном соблюдении гигиенического режима ротовой полости элайнеры меньше воздействуют на микробиом, чем брекет-системы, неприятный запах изо рта и кровоточивость десен встречались реже – 17,0 % и 10,0 % соответственно [15].

При подборе ортодонтической конструкции учитывают не только внешнюю приемлемость и рабочую эффективность, но и влияние на микробный состав ротовой полости. Когда у пациента повышена вероятность кариеса либо пародонтита, предпочтение нередко отдают элайнерам; такой вариант оправдан лишь при готовности строго соблюдать правила гигиены. При сохранении

указанных условий уход за ротовой полостью не теряет приоритета, а визиты к стоматологу должны проходить регулярно, чтобы контролировать состояние микробиома [15, 56].

Ортодонтическая коррекция сопровождается заметным сдвигом в ротовом микробном сообществе, доля *Streptococcus mutans* возрастает, а для данного вида характерна ведущая роль в запуске кариеса и его этиологическом становлении [2, 8, 10].

При нарушении микробного равновесия *Candida albicans* может запускать развитие кандидоза слизистой оболочки [1, 19]. Одновременно на первый план выходит увеличение численности *Porphyromonas gingivalis* и *Fusobacterium nucleatum*; их обнаружение, как правило, связывают с воспалительной реакцией в тканях пародонта. Для *Lactobacillus spp.* характерен более высокий темп наращивания численности, что ускоряет кариозный процесс и сопровождается утратой минеральной плотности эмали.

У лиц с иммунодефицитом чрезмерное разрастание *Candida albicans* несет выраженную клиническую опасность. В исследовании, проведенном Сохрокова Д. М. с соавторами, показано, у элайнеров из материала Spark *Candida albicans* накапливается статистически значимо сильнее, чем у «Wave Ligne» и «FlexiLigner». Практический вывод состоит в приоритете биоматериалов, слабо взаимодействующих с патогенными агентами. При подборе подходящего материала для ортодонтических конструкций вероятность грибковых инфекций и осложнений, связанных с дисбиозом, заметно уменьшается [2].

В период ортодонтической коррекции нередко формируется целый спектр нежелательных последствий. При снижении минеральной насыщенности эмали на ее поверхности появляются светлые матовые участки, а затем они нередко служат ранним указанием на кариозный процесс. При утрате равновесия микробным сообществом ротовой полости воспалительные поражения десен, то есть гингивит и пародонтит, получают возможность для дальнейшего усиления. Отдельную клиническую проблему создает увеличение доли *Candida albicans*, так как данное явление ведет к развитию кандидоза слизистой оболочки. На фоне дисбаланса

микробиома и активного размножения патогенных микроорганизмов формируется стойкий дурной запах, исходящий из ротовой полости [11, 13, 34].

Во время ортодонтической коррекции состав микробного сообщества полости рта меняется, хотя степень выраженности у разных пациентов неодинакова. Выбор брекет-систем или элайнеров связан с уровнем самостоятельного очищения полости рта. На восприимчивость микробиома в индивидуальном порядке воздействуют гигиенические навыки, характер питания и уровень психологического напряжения. Профилактика поддерживает равновесие микробиоты и снижает риск заболеваний [50].

Снижение рисков в данной области достигается лишь при опоре на комплекс мер. Перед началом лечения выполняют микробиологический скрининг, дающий возможность судить о его исходном состоянии и заранее выявлять возможные угрозы. Затем, по полученным сведениям, составляют индивидуальные гигиенические протоколы с учетом особенностей пациента и вида конструкции [11].

Динамическое наблюдение за состоянием микробиома рта позволяет заранее замечать неблагоприятные сдвиги и вовремя подстраивать схему лечения. Биоматериалы нового поколения с ослабленной способностью к сцеплению с болезнетворными микроорганизмами почти не нарушают микробное сообщество и тем самым уменьшают риск осложнений. Пробиотики дополнительно помогают удерживать равновесие микробиоты и не дают развиваться дисбиозу [10, 66].

В перспективе научный поиск сосредоточится на разработке «биосовместимых» ортодонтических конструкций, взаимодействие которых с микробиомом будет максимально щадящим и одновременно снизит вероятность развития заболеваний. Баланс микробной среды при наличии таких конструкций удерживают таргетные подходы к коррекции; за счет данного решения лечение становится безопаснее, осложнений возникает меньше, а его результаты оказываются лучше. Наряду с положительным эффектом в исследованиях выявляются и неблагоприятные последствия ношения элайнеров, меняется микробиом, ухудшается гигиеническое состояние, происходит деминерализация

эмали. Поскольку съемные конструкции вмешиваются в естественную работу ротовой полости, они меняют распределение слюны и тем самым создают условия для активного размножения патогенных микроорганизмов [10, 66].

1.4. Физико-механические свойства материалов и их возможности в конструировании индивидуальных элайнеров

В 2024 году А. В. Рыбаков с соавторами представил исследование, где пространственная организация элайнеров - ортодонтических приспособлений, применяемых для выравнивания зубных рядов, была рассмотрена через призму физико-математического моделирования. Авторы стремились определить, в какой мере в различных клинических случаях требуется корректировка данной конструктивной схемы. Для проверки такого предположения были построены цифровые модели челюстей 30 пациентов, чьи персональные данные были обезличены, после чего проведено подробное изучение моделей. Собранный массив сведений послужил опорной базой для дальнейших научных изысканий. В цифровом формате модели элайнеров создавали в программе «Autodesk Meshmixer», применяя специализированную обработку, экструзию на 1 мм и выравнивание нависающих кромок; что позволило обеспечить высокую точность моделирования и учесть анатомические особенности строения челюстей [61].

При оценке элайнеров установлено, на сопротивляемость деформациям заметно влияют пространственная компоновка элементов и объем использованного материала. При отсутствии учета возникающих деформаций в расчетной модели направление нагрузок на зубы смещается, а запланированная линия ортодонтической коррекции нарушается. Высокой физической стабильностью среди рассмотренных решений отличались конструкции с прямым краем, поэтому в ряде клинических случаев такая схема оказывается уместнее. Иная картина у фестончатого варианта, усложненный контур по краю легче поддается изменению формы и способен ослаблять результативность лечения [61].

Персонализированное изготовление элайнеров по детальным цифровым моделям челюстей дает возможность достигать высокой точности коррекции; дополнительно почти незаметное ношение устраняет эстетические недостатки, характерные для брекетов, и поддерживает психологический комфорт пациента. Съёмная конструкция облегчает уход за полостью рта, снижая вероятность кариеса и заболеваний десен; И. А. Дегтев и соавторы (2021) в обзорной статье рассматривают материалы для термоформования элайнеров и способы работы с ними, выделяя достоинства по сравнению с традиционными брекет-системами [28].

В 2024 году Bhadrinath Srinivasan и соавторы подготовили систематизированный обзор, где рассмотрели материалы для изготовления элайнеров с акцентом на физические и механические параметры. Итоговую картину получили после критического разбора 24 публикаций, что позволило свести разрозненные сведения в единое представление об актуальных материалах для ортодонтической практики. Сопоставление выявило заметную неоднородность между образцами, по твердости, оптическим параметрам, жесткости и пределу текучести различия оказались ощутимыми. Материал для конкретного клинического случая подбирают с учетом того, что его свойства могут меняться под действием термоформирования, внутриротового старения и условий, имитирующих полость рта. Для полиуретановых систем характерны более высокие показатели твердости и жесткости по отношению к ряду иных полимеров. Одновременно для них свойственны усиленные ползучесть и релаксация напряжений, из-за чего долговечность и результативность элайнеров могут снижаться [137].

В условиях, максимально близких к клинической практике, находились исследовательские образцы прозрачных ортодонтических элайнеров. Продолжительное воздействие среды полости рта не сопровождалось заметным снижением химической устойчивости образцов, показатель сохранялся на хорошем уровне. Иная картина была у свойств, связанных с визуальным восприятием изделия, оптические параметры менялись статистически заметно, а цвет и прозрачность ухудшались. Следом эстетическая привлекательность конструкции

уменьшалась. При эксплуатации на поверхности использованных образцов выявились микротрещины, искажения и биопленка. Параллельно у полимера возросло водопоглощение, а геометрические параметры утратили прежнюю стабильность, что указывает на контакт материала с влажной средой ротовой полости. После чего зафиксировано достоверное уменьшение модуля упругости и снижение твердости, ограничивающие функциональные свойства элайнеров. Совокупность указанных признаков ведет к выводу о потребности в дальнейшем изучении взаимодействия материалов с ротовой средой [19, 28].

При рассмотрении термопластов, из них изготавливают прозрачные ортодонтические элайнеры, многие авторы сопоставляли, каким образом старение отражается на физических, химических и механических свойствах материалов, и как перечисленные параметры меняются при длительном воздействии факторов, воспроизводящих условия полости рта. Итоги таких наблюдений показывают, что механическая и физическая устойчивость элайнеров в ходе старения в целом сохраняется, тогда как химические характеристики способны заметно изменяться; поэтому оценка должна опираться на долгосрочное поведение материалов, а не только на исходные параметры [93, 101, 137].

В центре нынешней исследовательской повестки находятся ML-решения, предназначенные для вычислительной настройки элайнеров. С помощью искусственного интеллекта удастся с большей точностью моделировать отклик материала в разных клинических ситуациях, причем при расчете учитываются уникальные анатомические параметры каждого пациента. Одновременно научные группы обращаются к новым полимерным материалам, у которых улучшены физико-химические характеристики, а данный фактор рассматривается как основа для роста результативности и увеличения срока службы элайнеров [93, 101, 137].

Сейчас элайнеры сохраняют заметное место в ортодонтической терапии, практика подтверждает устойчивую востребованность. Высокая востребованность объясняется тем, что способ коррекции обеспечивает очень высокую точность при исправлении нарушений смыкания зубных рядов и расположения зубов, а в нынешней стоматологической практике подобная точность имеет особую

ценность. Параллельно научная литература по теме развивается сразу в нескольких направлениях. В фокусе исследований находятся формализованные геометрические и вычислительные основания создания конструкции, далее - химические и физические параметры материалов, от которых зависит поведение полимерных материалов, а также то, каким образом среда полости рта влияет на рабочие свойства полимерных материалов. Расширить клиническое применение элайнеров и повысить качество терапии удастся лишь при дальнейшем проведении активных исследований, нацеленных на создание новых материалов и совершенствование конструктивной конфигурации; именно такой научный вектор способен заметно увеличить срок службы подобных систем и улучшить конечные результаты лечения, расширив спектр клинических ситуаций, где они подходят для использования [93, 101, 137].

Совершенствование конфигурации конструкций может опираться на вычислительное моделирование; для своевременного выявления неблагоприятных изменений используют диагностический инструментарий; лечебную тактику индивидуализируют с учетом особенностей микробиома и анатомических параметров пациента; помимо этого, влияние использования элайнеров на состояние жёстких и мягкотканых структур ротовой полости нуждается в подтверждении по итогам длительных клинических наблюдений [13, 19, 39, 55].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**2.1. Дизайн исследования**

Научное исследование проводилось в несколько этапов. Каждый из них являлся фрагментом работы, направленным на решение конкретной задачи и достижение поставленной цели.

Первый этап представлял собой теоретическое исследование, проведенное на кафедре стоматологии ФДПО ФГБОУ ВО «ПИМУ» МЗ РФ, где анализировались отечественные и зарубежные литературные источники, отобранные из научных баз данных Pubmed, eLibrary и Scopus. Параллельно осуществлялся ретроспективный анализ медицинской документации 840 пациентов с аномалиями зубочелюстной системы в возрасте от 3 до 47 лет, которые обращались за ортодонтической консультацией на базе «Института стоматологии» ФГБОУ ВО «ПИМУ» МЗ РФ.

Второй этап представлял собой лабораторно-экспериментальное исследование, проводившееся на кафедре «Эпидемиологии, микробиологии и доказательной медицины», а так же в «НИИ экспериментальной онкологии и биомедицинских технологий» и в «Центре медицинских полимеров и функциональных материалов» ФГБОУ ВО «ПИМУ» МЗ РФ. При этом изучалась адгезивная активность различных микроорганизмов полости рта к конструкционным материалам для изготовления элайнеров, исследовались их стандартные физико-механические характеристики, а также анализировался качественный микроэлементный состав интактной эмали и эмали с очагами деминерализации.

В рамках третьего этапа проводилось клиническое исследование на базе кафедры «Стоматологии ФДПО» ФГБОУ ВО «ПИМУ» МЗ РФ. На данном этапе были сформированы группы пациентов, проходившие ортодонтическое лечение

зубочелюстных аномалий с использованием элайнеров для выявления негативных последствий использования съемных ортодонтических конструкций и снижения риска их возникновения.

Дизайн исследования представлен на рисунках 1а и 1б.

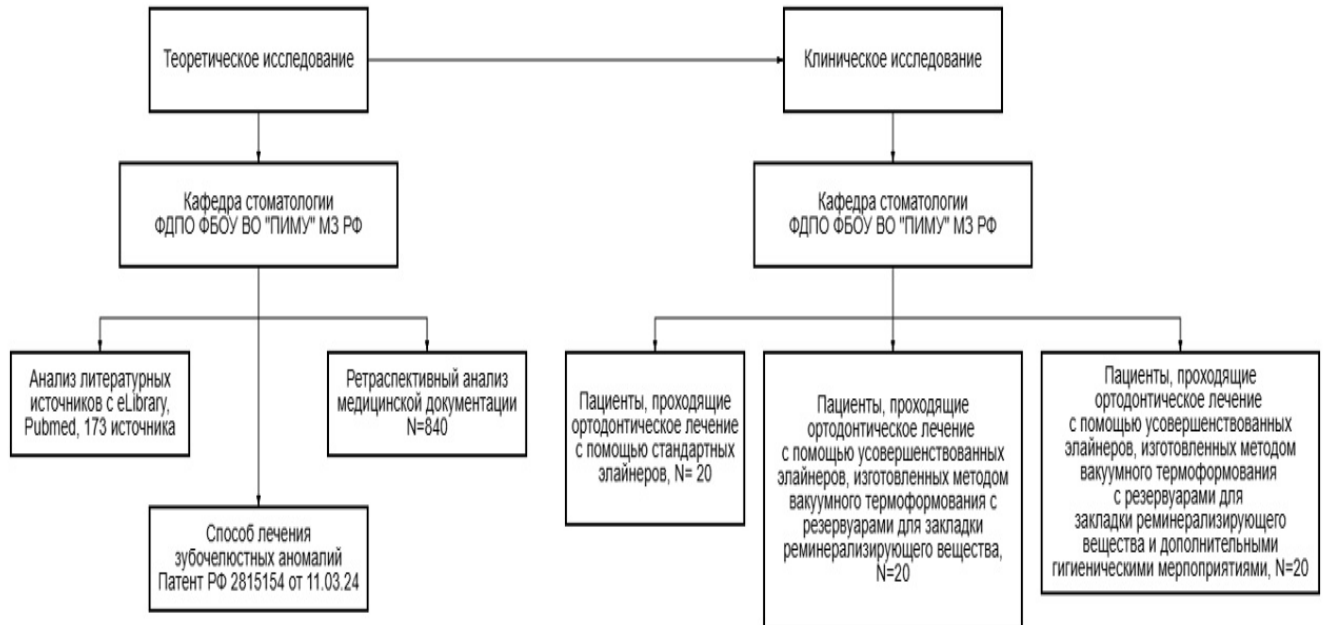


Рисунок 1а - Дизайн исследования

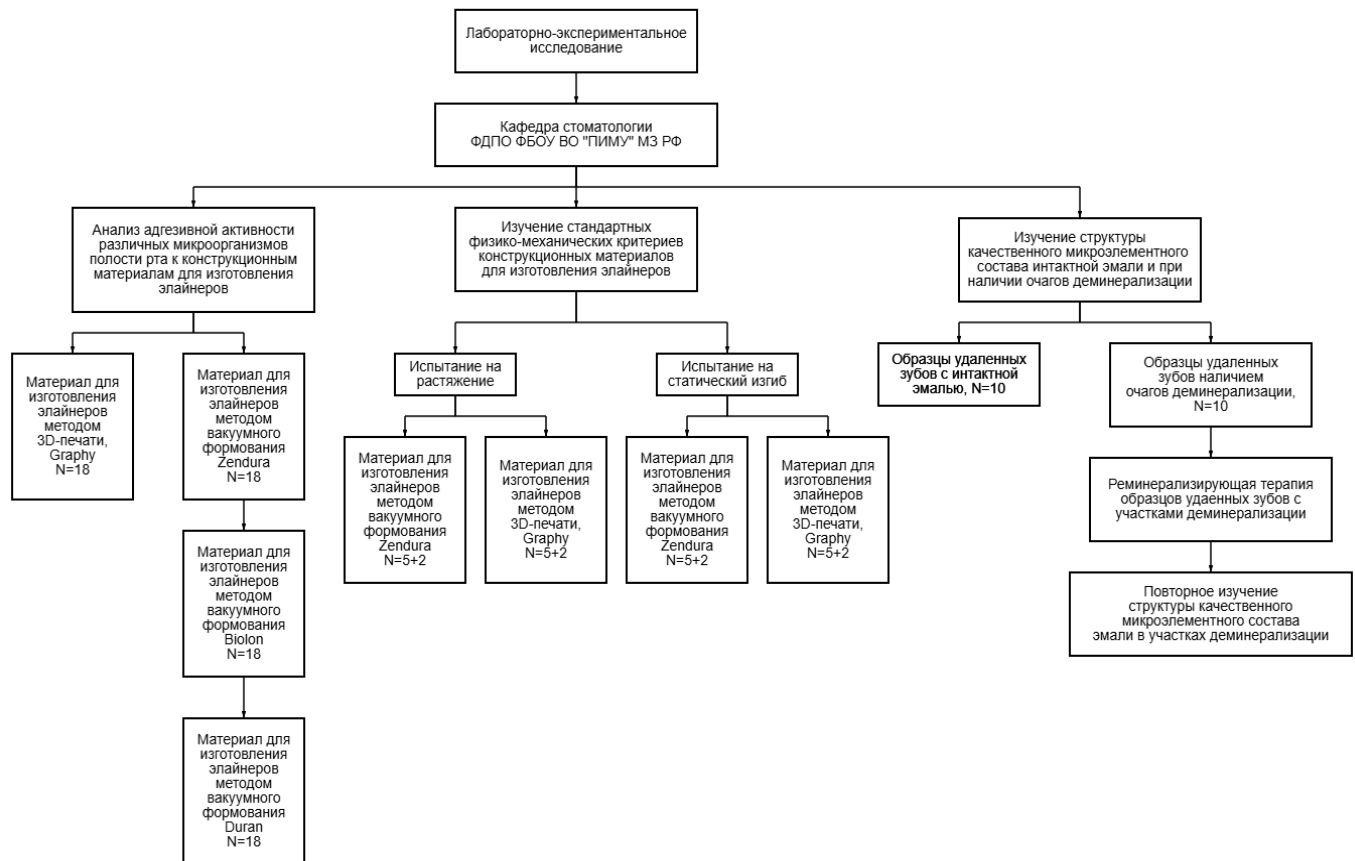


Рисунок 1б - Дизайн исследования

2.2. Материалы и методы исследования

2.2.1. Ретроспективный анализ медицинской документации для выявления распространенности зубочелюстных аномалий и различных побочных эффектов при проведении ортодонтического лечения

Ретроспективный анализ распространялся на медицинскую документацию 840 пациентов в возрасте от 3 до 47 лет, обращавшихся за ортодонтической консультацией на базе кафедры Стоматологии ФДПО ФГБОУ ВО «ПИМУ» МЗ РФ с 2023 по 2026 год. Материалами для изучения и обсуждения послужили медицинские карты ортодонтических пациентов учетной формы № 043-1/у, утвержденные приказом Минздрава России от 15.12.2014 г. № 834н. Карты содержали данные о демографических характеристиках пациентов, таких как возраст и пол, а также информацию о поставленных диагнозах и проводившемся

ортодонтическом лечении. Кроме того, фиксировались сведения о возникших побочных явлениях в процессе ортодонтической коррекции (Рисунок 2).

Наименование медицинской организации _____ Адрес _____	Код формы по ОКЗД _____ Код организации по ОКПО _____ Медицинская документация Учетная форма № 043-1/у утверждена приказом Минздрава России от 15.12. 2014 г. № 834н
---	--

Медицинская карта ортодонтического пациента
№ _____

1. Дата заполнения медицинской карты: число _____ месяц _____ год _____
2. Фамилия, имя, отчество _____
3. Пол: муж, жен.
4. Дата рождения: число _____ месяц _____ год _____
5. Место регистрации: субъект Российской Федерации _____
 район _____ город _____ населенный пункт _____
 улица _____ дом _____ квартира _____
 тел. _____
6. Местность: городская - 1, сельская - 2
7. Документ, удостоверяющий личность: _____ серия _____ № _____
8. Полис обязательного медицинского страхования: серия _____ № _____

Рисунок 2 - Медицинская карта ортодонтического пациента (№ 043-1у)

Объём анализируемой выборки ($N = 840$) был определён с учётом необходимости обеспечения статистической надёжности результатов исследования. В выборку последовательно включались пациенты без дополнительных ограничений по клиническим или демографическим признакам, что способствовало минимизации систематической ошибки выборки и обеспечило репрезентативность структуры обращаемости в ортодонтический приём.

Для структурирования материала были использованы три ключевых параметра. Во-первых, данные стратифицированы по гендерному признаку (категории: «м» - мужчины, «ж» - женщины), что позволило оценить возможные гендерные различия в распространённости ортодонтических аномалий. Во-вторых, пациенты распределены по четырём клинико-возрастным группам: 1) 3-6 лет - период формирования молочного прикуса, характеризующийся выявлением начальных признаков патологии, 2) 7-10 лет - этап физиологической смены зубов, ассоциирующийся с манифестацией многих аномалий прикуса, 3) 11-17 лет - период формирования постоянного прикуса, отличающийся ростом частоты тяжёлых деформаций челюстно-лицевой области, 4) лица старше 18-ти лет - группа

с завершённым ростом челюстей, где преобладают устойчивые, нередко осложнённые формы патологии (Таблица 1).

Таблица 1 - Клинико-возрастная выборка

№п/п	Возрастной диапазон(лет)
1	3-6
2	7-10
3	11-7
4	Старше 18-ти

Клиническая диагностика осуществлялась в соответствии с Международной классификацией болезней 10-го пересмотра (МКБ-10), при этом приоритетное внимание уделялось заболеваниям со следующими диагностическими кодами: К07.0 (аномалии размеров челюстей), К07.1 (аномалии челюстно-черепных соотношений), К07.2 (аномалии соотношений зубных дуг), К07.3 (аномалии положения отдельных зубов), К00.0 (адентия), К07.6 (болезни височно-нижнечелюстного сустава - ВНЧС) (Таблица 2).

Таблица 2 - Диагностические диагнозы по МКБ-10, приоритетные для анализа

Код МКБ-10	Клиническая патология
К07.0	Аномалии размеров челюстей
К07.1	Аномалии челюстно-черепных соотношений
К07.2	Аномалии соотношений зубных дуг
К07.3	Аномалии положения зубов
К00.0	Первичная адентия
К07.6	Болезни височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС)

Сначала для каждого пациента по дате рождения определяли возраст на контрольную дату с указанием дня; учет и месяца, и дня рождения снижал риск

ошибки при распределении по возрастным категориям. Затем формировали абсолютные и относительные показатели в процентах для половой структуры, возрастного состава, набора кодов МКБ-10 внутри каждой группы и сочетаний диагнозов. Завершающим шагом была корреляционная проверка, в ходе которой выявляли статистически убедительные ассоциации между кодами МКБ-10.

Методика опиралась на сочетание дескриптивного и корреляционного подходов, именно его использовали, чтобы установить структурные особенности выборки и проследить закономерности коморбидности клинических признаков. Расчётные операции выполняли в «MS Excel», а результаты выводили с помощью стандартных средств статистического программного пакета. Далее данные сопоставляли по возрастным группам у пациентов, прошедших курс ортодонтической коррекции, и у пациентов, не имевших такого лечения; в ходе сопоставления отдельно определяли долю случаев аномалий зубочелюстной системы, структуру кодов МКБ-10 и усреднённые показатели клинического состояния. Подобный подход дал возможность оценить, как возраст и наличие лечения отражаются на исследуемых характеристиках. Отдельно проводилась статистическая оценка частоты и выраженности нежелательных изменений, связанных с ортодонтическим лечением, в состоянии твёрдых тканей зуба и слизистой оболочки рта, причём разбор выполнялся по всем возрастным группам. В перечень параметров входили кариес в стадии белого мелового пятна (K02.0), рецессии десны (K06.0) и острый гингивит (K05.0), что позволяло выявлять возрастные особенности рисков (Таблица 3).

Таблица 3 - Диагностические диагнозы побочных эффектов по классификации МКБ-10, приоритетные для анализа

Код МКБ-10	Клиническая патология
K02.0	Кариес в стадии белого мелового пятна
K05.0	Острый гингивит
K06.0	Рецессии десны

2.2.2. Изучение структуры качественного микроэлементного состава интактной эмали и при наличии очагов деминерализации

Работа проводилась на базе НИИ экспериментальной онкологии и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «ПИМУ» МЗ РФ и направлена на исследование микроэлементного состава эмали, а также оценку результативности реминерализующего этапа. В ходе эксперимента использовались образцы зубов, а для анализа применялись инновационные технологии и современные методики. Исследование основывалось на анализе 20 зубов, удаленных по ортодонтическим показаниям у пациентов старше 18-ти лет (Таблица 4). Образцы тщательно отбирались с последующим формированием групп исследования. В первую вошли 10 зубов с интактной эмалью (Рисунок 3), которые служили контролем в проведенном исследовании. Вторую группу составили 10 зубов с участками деминерализации в эмали (Рисунок 4), где наблюдались структурные поражения в виде белых меловидных пятен, свидетельствующие о начальных стадиях патологических изменений.

Таблица 4 - Образцы удаленных зубов

Параметр	Группа 1 (контроль)	Группа 2 (исследуемая)
Количество зубов	10	10
Состояние эмали	Интактная эмаль	Эмаль с участками деминерализации



Рисунок 3 - Образцы удаленных зубов с интактной эмалью



Рисунок 4 - Образцы удаленных зубов с участками деминерализации эмали

Для решения поставленных задач использовали высокотехнологичный стенд «NTegra Spectra» производства ЗАО «НТ-МДТ», Россия (Рисунок 5).



Рисунок 5 - Высокотехнологичный стенд «NTegra Spectra»
(ЗАО «НТ-МДТ», Россия)

Стенд объединяет несколько компонентов. Инвертированный микроскоп Eclipse Ti2 (Рисунок 6), произведенный «Nikon Corporation» (Япония), обеспечил высокое качество визуализации образцов. Рамановский конфокальный спектрометр «Confotec NR500» от «SOL Instruments» (Беларусь) (Рисунок 7) позволил провести детальный анализ спектральных характеристик эмали.

Программное обеспечение «NovaSP» (ЗАО «НТ-МДТ», Россия) использовалось для управления процессом исследования и первичной обработки полученных данных.



Рисунок 6 - Инвертированный микроскоп «Eclipse Ti2»
(Nikon Corporation, Япония)



Рисунок 7 - Конфокальный спектрометр «Confotec NR500»
(SOL Instruments, Беларусь)

Микроскоп «Eclipse Ti2» оснащен высококачественным объективом «Plan Apo» 20× с числовой апертурой 0,75 производства «Nikon Corporation», Япония (Рисунок 8). Такая конфигурация обеспечивает увеличение и разрешение, достаточные для детального изучения структуры эмали. В состав оборудования также вошел набор лазеров с длинами волн 375 нм, 488 нм, 532 нм, 633 нм и 785 нм, благодаря чему условия спектроскопического анализа можно было гибко настраивать под конкретные исследовательские задачи.



Рисунок 8 - Объектив «Plan Apo» (Nikon Corporation, Япония)

Для исследования применялась CCD-камера «DU-401A-BVF», оснащенная охлаждением и изготовленная «Andor Technology Ltd.» (Великобритания) (Рисунок 9). Понижение температуры до -60 °C сокращает вклад теплового шума, благодаря чему итоговые данные получают заметно более высокое качество. Устройство имеет разрешение 1024 × 128 пикселей и работает в диапазоне 200-1000 нм, что дает возможность использовать широкий набор длин волн, нужных для исследования.



Рисунок 9 - Охлаждаемая CCD-камера «DU-401A-BVF»
(Andor Technology Ltd., Великобритания)

Для аналитической обработки спектров комбинационного рассеяния применяли «Spectragryph» - специализированный программный инструмент, созданный в Германии (Рисунок 10). Его функции позволяют разбирать исходные данные и получать подробное описание состояния эмали.



Рисунок 10 - Программное обеспечение «Spectragryph» (Германия)

Для выяснения микроэлементного состава эмали в работе применяли спектроскопию комбинационного рассеяния. Данный спектральный подход дает

возможность подробно описать молекулярное строение и состав зубной эмали. Во время исследования оценивали высоту, протяженность и взаимное соотношение главных максимумов спектра.

Спектральное исследование позволило выделить три параметра, показатель минерализации, по которому оценивают насыщенность эмали минеральными компонентами; показатель кристалличности, описывающий степень упорядочения кристаллической решетки; и показатель карбонизации, отражающий долю карбонатных групп. Особый интерес вызвали два выраженных сигнала, полоса фосфатных групп (PO_4^{3-}) на 959 см^{-1} и полоса карбонатных групп (CO_3^{2-}) на 1070 см^{-1} .

На первом этапе исследования каждый зуб из обеих групп изучали отдельно, что позволило установить исходные характеристики эмалевого слоя и собрать первичные спектральные показатели. После статистической обработки полученных данных были выявлены статистически значимые межгрупповые различия, после чего сформировали набор величин для дальнейшей работы. Затем удалённые зубы, имеющие признаки деминерализации, закрепили посредством специального зуботехнического гипса (Рисунок 11).



Рисунок 11 - Загипсованные образцы удаленных зубов

Чтобы исключить смещение образцов на любом этапе исследования, их предварительно загипсовали. Затем для образцов изготовили персональную капу из

полиуретантерефталата фирмы «Zendura». Такое решение позволяло наносить на эмаль реминерализующее средство и удерживать его в нужном интервале времени. В ходе эксперимента применяли «ROCS Medical Minerals» (Рисунок 12) - средство, предназначенное для восстановления минерального состава эмали.



Рисунок 12 - Гель для реминерализации эмали «ROCS Minerals»
(ROCS, Россия)

На загипсованных зубах сначала фиксировали капу, после чего всю систему помещали в искусственную слюну. Затем соблюдали повторяющийся режим, каждые 6 часов образцы извлекали из среды, капу снимали, а зубы вместе с конструкцией промывали под струей воды, тем самым воспроизводя гигиеническую обработку полости рта у пациента. Потом на внутреннюю поверхность капы снова вносили реминерализующий гель и возвращали ее на загипсованные зубы. Наблюдение длилось 7 дней. Такая схема была направлена на моделирование условий ротовой полости и давала возможность оценить, насколько результативно реминерализующее воздействие проявляется в обстановке, максимально близкой к клинической практике.

На завершающем этапе исследования образцы зубов вновь прошли спектроскопическое исследование; его применили затем, чтобы установить, какие сдвиги возникли в строении эмали после завершения реминерализующего курса. Сведения, относящиеся к стартовому и итоговому этапам, обработали статистическими средствами. Тем самым удалось беспристрастно судить о действенности методики реминерализации и зафиксировать изменения

минерального состава эмали. Чтобы ошибки были сведены к минимуму, измерительные процедуры и последующая работа с данными выполнялись при неукоснительном соблюдении технологических требований.

2.2.3. Определение адгезивной активности микробиома рта к конструкционным материалам для изготовления элайнеров

Работа была посвящена способности микробного сообщества закрепляться на поверхности конструкционных материалов. Процесс изучали в серии опытных работ, выполненных на базе кафедры Эпидемиологии, микробиологии и доказательной медицины ФГБОУ ВО «ПИМУ» МЗ РФ. Для получения сведений использовали актуальный микробиологический инструментарий вместе со статистической обработкой данных. Главное внимание уделяли взаимодействию микроорганизмов с материалами для производства элайнеров. В качестве основы для углубленного исследования сцепления материалов взяли образцы конструкционного назначения, используемые при производстве элайнеров (Таблица 5), материал, предназначенный для изготовления посредством 3D-печати, «Graphy Direct Aligner» (Graphy Aligners, Республика Корея) (Рисунок 13) и материалы для термоформовочной обработки - «Zendura» (Zendura, США) (Рисунок 14), «Biolon» (Biolon, Германия) (Рисунок 15) и «Duran» (Sheu Dental, Германия) (Рисунок 16).



Рисунок 13 - Материал для изготовления элайнеров методом 3D-печати «Graphy Direct Aligner» (Graphy Aligners, Республика Корея)



Рисунок 14 - Материал для изготовления элайнеров методом вакуумного термоформования «Zendura» (Zendura, США)



Рисунок 15 - Материал для изготовления элайнеров методом вакуумного термоформования «Biolon» (Biolon, Германия)



Рисунок 16 - Материал для изготовления элайнеров методом вакуумного термоформования «Duran» (Sheu Dental, Германия)

На зуботехническом этапе изготовления материалы «Biolon», «Duran» и «Zendura» подвергли термическому воздействию в сочетании с вакуумной обработкой; процедура была нужна, чтобы их химико-механические свойства оказались ближе к показателям уже готового элайнера. Что касается геометрии и количества, каждый образец привели к единому формату, диаметр составил 1 см, площадь - 0,79 см², а для каждого вида подготовили по 18 штук (Рисунок 17).

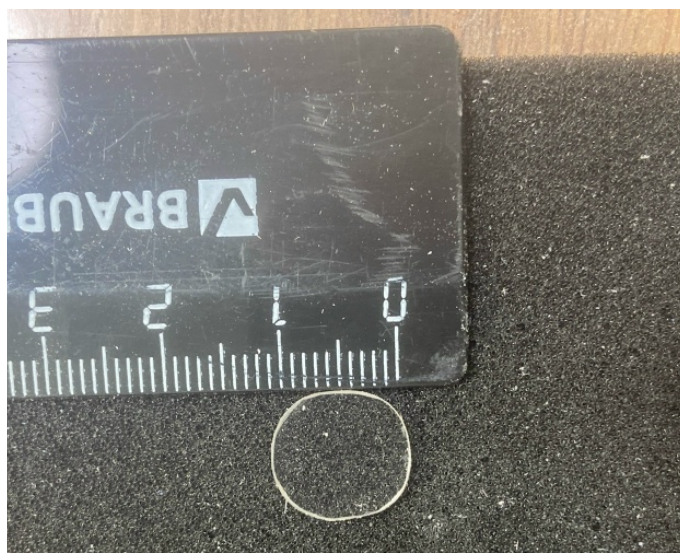


Рисунок 17 - Образцы материалов для проведения микробиологического исследования

Таблица 5 - Сравнительная таблица стандартизированных образцов материалов для изготовления элайнеров

Название материала	Технология изготовления	Страна	Диаметр	Площадь	Количество образцов
«Graphy»	3D-печать	Республика Корея	1 см	0,79 см ²	18 шт.
«Zendura»	Термоформование	США	1 см	0,79 см ²	18 шт.
«Biolon»	Термоформование	Германия	1 см	0,79 см ²	18 шт.
«Duran»	Термоформование	Германия	1 см	0,79 см ²	18 шт.

Дефицит разнообразия материалов для 3D-печати на внутреннем рынке объясняет ограничение количества образцов для различных технологий. Для анализа адгезивной активности отобраны штаммы бактерий и микромицетов: *Str. salivarius*, *Str. pyogenes*, *S. aureus*, *C. albicans*, *C. kruzei*. Выбор этих микроорганизмов продиктован их ролью в формировании микробиоценоза ротовой полости и участии в образовании биопленки. Штаммы *Str. salivarius*, *C. kruzei* и *C. albicans* первыми колонизируют слизистую оболочку и существенно влияют на образование биопленок. *S. aureus* способен формировать биопленки самостоятельно, а также запускать аналогичный механизм у других микроорганизмов. *Str. pyogenes* - патогенный вид бактерий, часто вызывающий инфекционные заболевания полости рта.

Суточные культуры микроорганизмов разводились в питательном бульоне с помощью денситометра (Biosan, Латвия) до показателя 0,5 по шкале McFarland, что соответствует концентрации 1×10^8 /мл (Рисунок 18).



Рисунок 18 - Денситометр (Biosan, Латвия)

Образцы помещали в 12-луночные планшеты и заливали 1 мл суспензии микроорганизмов. Инкубацию проводили в термостате при 37°C в течение 1, 3 и 6 часов (Рисунок 19). Выбор этих временных промежутков обусловлен двумя

факторами. Во-первых, более длительная инкубация ведет к чрезмерному увеличению числа колонизованных микроорганизмов, что затрудняет корректную оценку результатов и снижает чистоту эксперимента. Во-вторых, исследуемые материалы применяются в съемных ортодонтических конструкциях (элайнерах), которые пациенты регулярно снимают для гигиенического ухода, поэтому изучение адгезии в рамках реальных условий использования элайнеров представлялось наиболее обоснованным.



Рисунок 19 – Термостат

По истечении времени инкубации пластинки извлекали пинцетом и перекладывали в новые планшеты. После этого образцы трижды промывали физиологическим раствором, а затем фиксировали спиртом в течение 10 минут. Окрашивание проводили 1% раствором генцианвиолета на протяжении 5 минут, после чего промывали водой до полного удаления не связавшегося красителя (Рисунок 20).

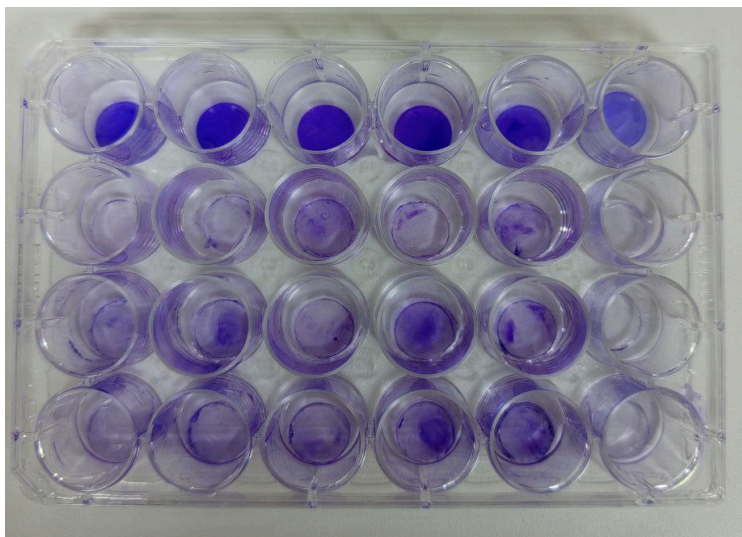


Рисунок 20 - Окрашивание образцов материалов 1% раствором генцианвиолета

На следующем этапе в каждую лунку добавляли 500 мкл 70% спирта для элюирования красителя и помещали планшеты на качающийся столик на 5 минут. Оптическую плотность измеряли на многофункциональном планшетном ридере «Synergy 2» (BioTek, США) при длине волны 570 нм (Рисунок 21).



Рисунок 21 - Многофункциональный планшетный ридер «Synergy 2»
(BioTek, США)

Результаты измерений выражены в условных единицах. Статистическую значимость различий между группами оценивали с помощью t-критерия

Стьюдента для независимых выборок, различия считали значимыми при $p < 0,05$. Для каждого временного интервала (1 час, 3 часа, 6 часов) рассчитывали среднее значение оптической плотности (M) и стандартное отклонение (σ).

В ходе исследования адгезивную активность микроорганизмов изучали экспериментально, идентификацию и характеристику микроорганизмов проводили микробиологическим методом, тест-культуры выращивали по культуральным технологиям. Полученные данные обрабатывали статистически, что позволило выявить значимые различия между группами.

Исследование проводилось для выявления взаимосвязи между способностью микроорганизмов прикрепляться к различным материалам. Для этого был проанализирован уровень адгезии разных типов бактерий к тестируемым образцам. Статистическая обработка данных помогла определить, какие материалы наиболее и наименее склонны к колонизации микроорганизмами. Информация о видах бактерий является основой для разработки критериев выбора материалов при изготовлении элайнеров. Целью работы так же является получение научно обоснованных рекомендаций по предотвращению развития побочных эффектов при использовании элайнеров. Это позволит снизить риск осложнений, связанных с образованием биоплёнок.

2.2.4. Исследование физико-механических показателей конструкционных материалов для изготовления элайнеров

В Центре медицинских полимеров и функциональных материалов при ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава России были проведены исследования физико-механических характеристик материалов, которые используются для производства элайнеров.

В условиях эксперимента изучались два вида материалов. Первый - фотополимерный «Graphy Direct Aligner» («Graphy Aligners», Республика Корея). Его применяют для прямой 3D-печати элайнеров. Второй - материал «Zendura» («Zendura», США) на основе полиуретантерефталата. Данный тип используется при изготовлении элайнеров методом вакуумного термоформования. При

изготовлении образцов, их подвергали термическому воздействию в сочетании с вакуумной обработкой; данная процедура необходима для приближения их физико-химических показателей к уже готовым элайнерам. Физико-механические характеристики материалов оценивались с помощью различных видов испытаний.

1) Испытания на растяжение проводились при комнатной температуре согласно стандартам ГОСТ 11262–2017 (ISO 527-2:2012) и ASTM D638. Образцы имели форму лопаток с общей длиной 75 мм, длиной узкой части $12,0 \pm 0,5$ мм, шириной узкой части $4,0 \pm 0,2$ мм и толщиной $0,75 \pm 0,5$ мм (Рисунок 22). Для каждого вида материала подготовили 5 основных и 2 дополнительных образца, провели по 5 измерений (Таблица 6).

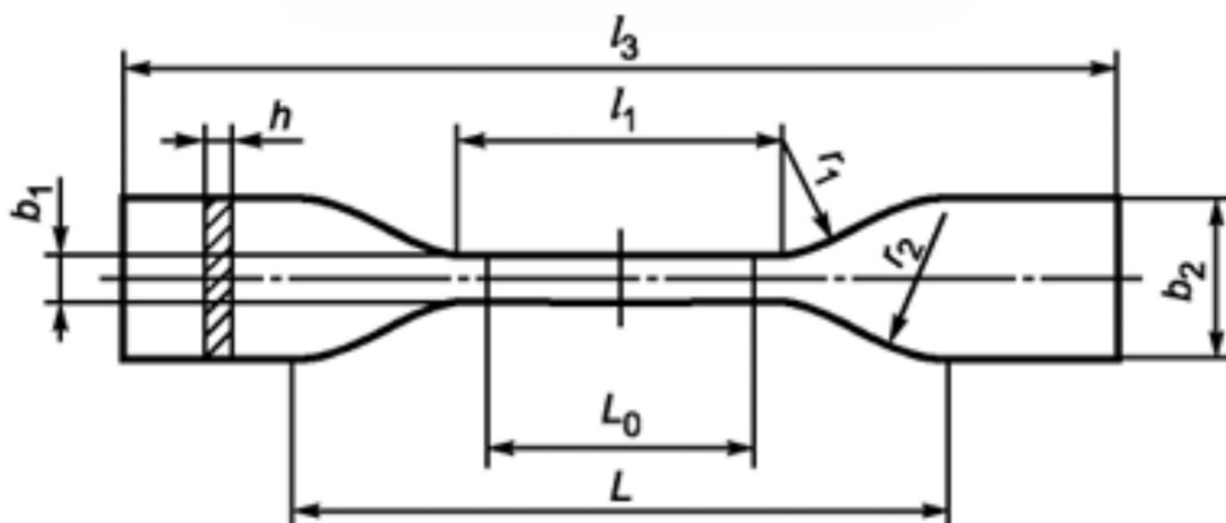


Рисунок 22 - Образцы материалов для испытания на растяжение

2) Испытания на трехточечный изгиб проводились по стандартам ГОСТ 4648–2014 и ASTM D790. Образцами служили пластины длиной $50,8 \pm 0,5$ мм, шириной $12,7 \pm 0,1$ мм и толщиной $0,75 \pm 0,1$ мм (Рисунок 23). Для каждого вида материала подготовили 5 основных и 2 дополнительных образца (Таблица 6). Каждый образец измеряли однократно, что дало по 5 результатов на материал.



Рисунок 23 - Образцы материалов для испытания на трехточечный изгиб

Результаты фиксировались в протоколах с основными показателями, фотографиями образцов до и после испытаний, выводами о соответствии материалов требованиям стандартов. Испытания позволили установить, насколько исследуемые материалы соответствуют техническим стандартам. Кроме того, удалось выявить сильные и слабые стороны исходя из их физико-механических характеристик.

Таблица 6 - Сравнение параметров испытаний

Характеристика	Испытание на растяжение	Испытание на трёхточечный изгиб
Применяемые стандарты	ГОСТ 11262–2017 (ISO 527-2:2012), ASTM D638	ГОСТ 4648-2014, ASTM D790
Форма образца	Лопатка	Пластина
Размеры образца	общая длина: 75 мм; длина узкой части: $12,0 \pm 0,5$ мм; ширина узкой части: $4,0 \pm 0,2$ мм; толщина: $0,75 \pm 0,5$ мм	длина: $50,8 \pm 0,5$ мм; ширина: $12,7 \pm 0,1$ мм; толщина: $0,75 \pm 0,1$ мм
Количество образцов	основных: 5; дополнительных: 2	основных: 5; дополнительных: 2

Собранные данные могут явиться основой рекомендаций по применению этих материалов. Так же они могут помочь снизить побочные эффекты от использования элайнеров при ортодонтическом лечении.

2.2.5. Разработка способа лечения зубочелюстных аномалий с виртуальным 3D-моделированием зоны патологического очага в структуре элайнера

В рамках научно-исследовательской деятельности кафедры Стоматологии ФДПО ФГБОУ ВО «ПИМУ Министерства здравоохранения Российской Федерации для оптимизации конструктивных характеристик элайнеров были применены различные материалы и технологии. Лабораторное производство элайнеров осуществлялось с использованием пластин из полиэтилентерефталата «Zendura», произведённых в США, размером 0,75×12,5 см (Рисунок 13). Для создания лабораторных шаблонов фиксации аттачментов применялись пластины «3A-Medes» из полиэтилентерефталата, изготовленные в Южной Корее, размером 0,5×12,5 см (Рисунок 24). Трёхмерную печать моделей зубных рядов выполняли с помощью жидкого фотополимерного материала «HarzLabs-Model Resin», произведённого в России (Рисунок 25).

Программное обеспечение включало итальянскую разработку «Maestro 3D Dental Studio V6» (Рисунок 26) и американскую программу «Autodesk Meshmixer» (Рисунок 27). Цифровое сканирование проводилось интраоральным трехмерным сканером «Trios 3Shape» датского производства (Рисунок 28). Термоформование элайнеров осуществлялось на немецком вакуумформере «Sheu Ministar» от компании «Sheu Dental» (Рисунок 29), а печать моделей выполнялась на трехмерном принтере «FormLabs Form 2» китайского производства (Рисунок 30).



Рисунок 24 - Пластины «3A-Medes» размером 050 x 125 мм
(«3A-Medes», Южная Корея)



Рисунок 25 - Жидкий фотополимерный материал «HarzLabs- Model Resin»
(«HarzLabs», Россия) для 3D печати моделей зубных рядов

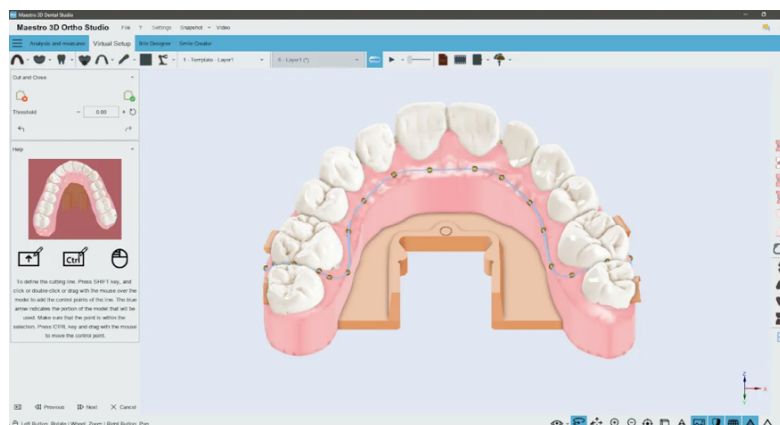


Рисунок 26 - Программное обеспечение «Maestro 3D Dental Studio V6»
(«Maestro 3D», Италия)



Рисунок 27 - Программное обеспечение «Autodesk Meshmixer»
(«Autodesk», США)



Рисунок 28 - Интраоральный 3D сканер «Trios 3Share» («3Shape», Дания)



Рисунок 29 - Вакуумформер «Sheu Ministar» («Sheu Dental», Германия)



Рисунок 30 - 3D- принтер «FormLabs Form 2» («Form Labs», Китай)

В ходе исследования для реализации цифрового протокола создания усовершенствованных элайнеров применялись различные методы и технологии. Интраоральное 3D-сканирование позволило получить STL-файлы, отражающие анатомическую структуру зубных рядов пациента (Рисунок 31). Резервуар для целенаправленной доставки реминерализующего агента в область патологического поражения твердых тканей зуба моделировался в программном комплексе «Autodesk Meshmixer» («Autodesk», США) (Рисунок 32). Этапы ортодонтического лечения проектировались в программном обеспечении «Maestro 3D Dental Studio V6» («Maestro 3D», Италия) (Рисунок 33). На основе полученных STL-файлов выполнялась 3D-печать с помощью принтера «FormLabs Form 2» («FormLabs», Китай) (Рисунок 34). Сами элайнеры изготавливались методом вакуумного термоформирования на оборудовании «Sheu Ministar» («Sheu Dental», Германия) (Рисунок 35). Финишная обработка готовых изделий проводилась механическим способом с применением зуботехнических фрез и полиров (Рисунок 36).



Рисунок 31 - Интраоральное 3D сканирование с целью получения STL-файлов зубных рядов пациента

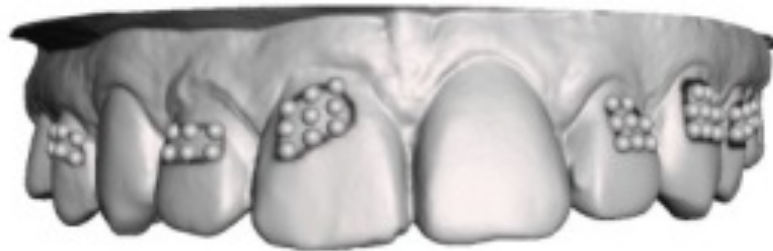


Рисунок 32 - 3D моделирование резервуара для направленной доставки реминерализующего средства в программном обеспечении «Autodesk Meshmixer» («Autodesk», США)

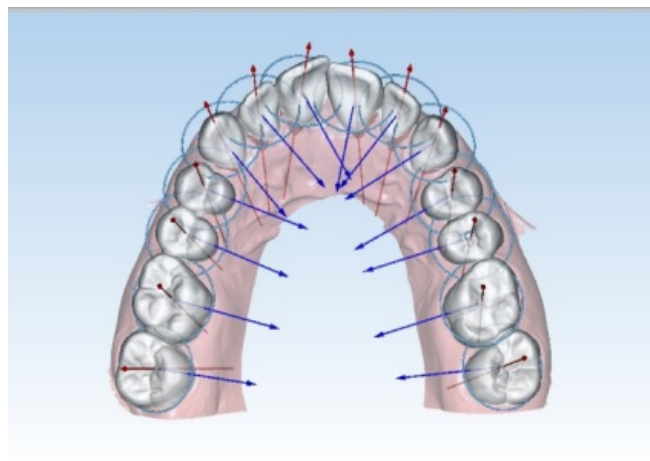


Рисунок 33 - 3D моделирование этапов ортодонтического лечения с помощью программы «Maestro 3D Dental Studio V6» («Maestro 3D», Италия)

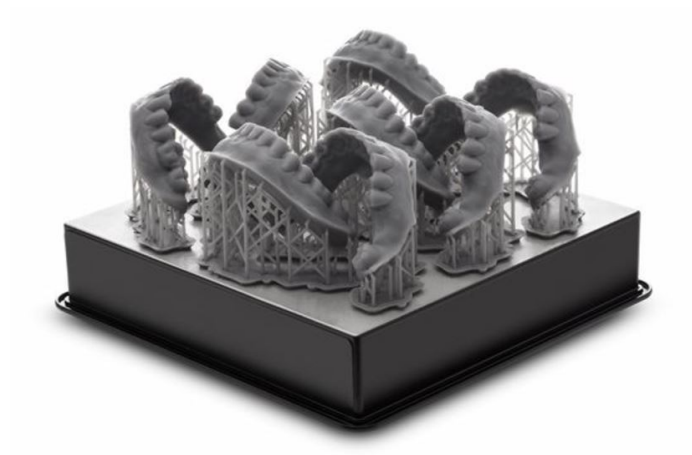


Рисунок 34 - 3D печать STL-файлов посредством применения 3D- принтера «FormLabs Form 2» («FormLabs», Китай)



Рисунок 35 - Вакуумное термоформирование элайнеров с использованием вакуумформера «Sheu Ministar» («Sheu Dental», Германия)



Рисунок 36 - Финишная техническая обработка полученных элайнеров

2.2.6. Клинические исследования для разработки методики профилактики побочного действия элайнеров при ортодонтическом лечении

Исследование направлено на снижение потенциальных негативных последствий применения элайнеров и на повышение общей эффективности ортодонтического лечения с помощью этих аппаратов.

Исследование строилось вокруг нескольких взаимосвязанных задач. Во-первых, определить объекты и группы наблюдения, подобрать методы изготовления элайнеров и критерии оценки лечения, разработать последовательность этапов, провести сравнительный анализ результатов в разных группах, а так же на основе полученных данных сформулировать выводы о наиболее эффективной методике профилактики побочного действия элайнеров.

Участниками стали пациенты, проходившие ортодонтическое лечение с применением различных типов элайнеров. Отбор велся по заранее установленным критериям включения, невключения и исключения, что обеспечило однородность выборки и достоверность результатов. Всего сформировали три сопоставимые по численности группы (по 20 человек в каждой), различавшиеся клиническим статусом и технологией изготовления элайнеров (Таблица 7).

Первая (контрольная) группа объединяла пациентов мужского и женского пола 15-36 лет с клинически подтверждённой аномалией положения отдельных зубов (K07.3), без признаков кариеса в стадии белого мелового пятна (K02.0), общесоматических и стоматологических противопоказаний к ортодонтическому лечению элайнерами. Критериями невключения служили возраст вне диапазона 15-36 лет и наличие кариеса в стадии белого мелового пятна (K02.0). Использование элайнеров ограничено при системных заболеваниях в стадии декомпенсации, они повышают риск травмирования слизистой полости рта; при психических расстройствах, затрудняющих выполнение лечебных назначений, соблюдение терапии тоже затруднено; основанием для отказа служат аллергическая непереносимость компонентов элайнеров, острые воспалительные процессы в полости рта, неудовлетворительное состояние гигиены полости рта без улучшения,

а еще выраженные нарушения строения челюстей, когда нужна специализированная помощь помимо выравнивания отдельных зубов.

Из исследования исключали участников, которые отказывались подключаться к эксперименту, не придерживались установленного графика использования элайнеров во время ортодонтической терапии, пренебрегали правилами гигиенического обслуживания ортодонтических устройств, либо не представили информирование добровольного согласия. Для данной группы пациентов применяли типовые элайнеры, полученные путем термоформования и лишённые дополнительных резервуаров. Такая конструкция дала возможность без дополнительных процедур отдельно оценить вклад самой конструкции в сохранность эмали (Рисунок 37).

Во вторую группу включили мужчин и женщин 15-36 лет, обследование подтвердило аномалию положения отдельных зубов (K07.3) и кариес в стадии белого мелового пятна (K02.0). Ограничений со стороны общего соматического состояния и стоматологического статуса, делающих невозможной ортодонтическую коррекцию с применением элайнеров, не выявлялось. Не допускались лица в возрасте вне диапазона 15-36 лет и пациенты без кариеса в стадии белого мелового пятна. Основанием для исключения служили декомпенсированные системные заболевания, психические расстройства, аллергия на материалы элайнеров, острые воспалительные заболевания полости рта, неудовлетворительный гигиенический статус, не поддающийся коррекции, и тяжёлые аномалии челюстей, требующие специализированного лечения.

В выборку не включали лиц при отказе от участия в эксперименте, несоблюдении предписанного режима ношения элайнеров в ходе ортодонтического лечения, игнорировании правил гигиенического ухода за ортодонтическими конструкциями либо отсутствии информированного добровольного согласия. Для данных пациентов использовали элайнеры, изготовленные стандартным вакуумным термоформованием. В конструкцию элайнеров встроили специальные полости для накопления лекарственных веществ, рассчитанные на реминерализацию. Указанная технология служила средством

оценки результативности реминерализующей терапии при обычной схеме изготовления (Рисунок 38).

К отбору в третью группу допускались лица мужского и женского пола в возрасте 15–36 лет. Основанием для такой принадлежности служили клинически подтверждённая аномалия положения отдельных зубов (K07.3) и кариес на стадии белого мелового пятна (K02.0). Общесоматические и стоматологические противопоказания к ортодонтическому лечению элайнерами отсутствовали. Диагноз кариеса в виде белого мелового пятна был верифицирован клинически. Из исследования исключали лиц младше 15 либо старше 36 лет; пациентов со следующими состояниями тоже не допускали, системные заболевания в стадии декомпенсации, усиливающие риск травмирования ротовой полости; психические нарушения, мешающие соблюдению режима терапии; аллергическая непереносимость материалов для изготовления элайнеров; острые воспалительные процессы ротовой полости; неудовлетворительное гигиеническое состояние ротовой полости, не поддававшееся коррекции; выраженные аномалии челюстей, требовавшие профильного лечения помимо выравнивания каждого зуба.

К участию не допускали лиц, заявлявших об отказе от эксперимента, не соблюдавших установленный порядок ношения элайнеров во время ортодонтического лечения, нарушавших правила гигиенического ухода за ортодонтическими конструкциями либо не предоставлявших информированное добровольное согласие. Лечебное воздействие у пациентов проводили с использованием элайнеров, изготовленных методом стандартного термоформования. Модифицированные элайнеры получили конструктивные элементы, рассчитанные на локальное удержание лекарственного препарата непосредственно в месте патологического очага. Одновременно для данной категории больных был установлен более строгий режим ухода за полостью рта и введены дополнительные варианты антисептической обработки самих капп. Благодаря подобному сочетанию удалось оценить совокупный результат, возникающий при использовании доработанных элайнеров вместе с усиленными гигиеническими и антисептическими мерами.

Таблица 7 - Характеристика групп исследования

№ групп	Характеристика группы	Количество пациентов
1	Пациенты, проходившие лечение с помощью элайнеров, изготовленных методом вакуумного термоформования без дополнительных резервуаров	20
2	Пациенты, проходившие лечение с помощью элайнеров, изготовленных методом вакуумного термоформования с дополнительным резервуарами	20
3	Пациенты, проходившие лечение с помощью элайнеров, изготовленными методом вакуумного термоформования с дополнительным резервуарами, усиленной гигиеной полости рта и дополнительной антисептической обработкой кап	20

Для обработки данных использован комплекс статистических методов. Описательная статистика, среднее значение (M), стандартное отклонение (SD) и медиана (Me).

Для сопоставления трех независимых выборок между группами применяли критерий Краскела-Уоллиса. Когда требовалось установить, насколько выражены различия при поочередном сравнении групп, применяли U-критерий Манна-Уитни. Изменения показателей в каждой группе отслеживал критерий Уилкоксона, и такой подход служил основой оценки эффективности лечения. Чтобы обнаружить связи между ведущими клиническими характеристиками, выполняли корреляционную оценку по Спирмену (rs). Все вычисления осуществлялись в SPSS Statistics; порог статистической значимости принимался как $p < 0,05$ по стандартам доказательной медицины.



Рисунок 37 - Элайнеры, изготовленные стандартным методом вакуумного термоформования



Рисунок 38 - Усовершенствованные элайнеры с дополнительными микрорезервуарами

Исследование проводилось в несколько этапов:

1) Отбор пациентов и их распределение по трём группам исследования. На данном этапе проводился тщательный отбор пациентов с учётом их стоматологического анамнеза, текущего состояния полости рта и показаний к ортодонтическому лечению с применением элайнеров.

2) Проведение первичного обследования, включающего применение индексной оценки состояния полости рта таких как ТЭР-тест, ИГР-У (Грин-Вермиллиона) и РМА, проведение объективного клинического осмотра, в ходе

которого оценивались общие показатели здоровья полости рта, состояние зубов и дёсен.

3) Проведение ортодонтического лечения с применением соответствующих типов элайнеров в каждой группе. На этом этапе пациенты проходили коррекцию в соответствии с назначенной методикой лечения.

4) Повторное обследование по завершении ортодонтического лечения, повторное выполнение ТЭР-теста, ИГР-У и РМА, оценка изменений состояния тканей полости рта после лечения, объективный клинический осмотр для выявления возможных осложнений и оценки эффективности ортодонтического вмешательства.

2.2.7. Статистическая обработка полученных данных

Сначала массив наблюдений распределили по категориям по фиксируемым признакам. Затем статистическая обработка затронула участников на основе фактически полученной ими терапии, назначение которой изначально проводили случайным образом. Сведения оформили в табличной форме, отдельные объекты исследования разместили по строкам, а характеристики каждого объекта – по столбцам. Последующая проверка выявила пробелы в данных, поэтому потребовалось либо скорректировать отдельные записи, либо исключить часть объектов из исследования.

Сначала выясняли, насколько наблюдаемые показатели согласуются с формой распределения. Затем им давали характеристику и вычисляли 95%-е доверительные интервалы. Затем отдельно рассматривали надежность количественных сведений, поскольку она связана с точностью измерений и с тем, какие методы и приборы применялись. На следующем этапе проводили сопоставление групп, чтобы установить их отклонения и взаимосвязи. Статистически значимыми такие отклонения или зависимости признавали лишь тогда, когда значение p для соответствующего критерия было меньше уровня значимости $\alpha = 0,05$.

Сначала установили распределение изучаемых данных. Чтобы выяснить, подчиняется ли числовой показатель закону нормального распределения, использовали процедуру проверки статистических гипотез. Проверка сводилась к выяснению принадлежности выборки генеральной совокупности с нормальным характером распределения изучаемой переменной. Инструментом оценки служил W-тест Шапиро - Уилка, считавшийся самым мощным и универсальным. После этого описали характеристики положения и вариативности ряда количественных признаков с лишь приближённым выполнением нормального распределения.

При работе с массивом сведений сопоставлялись верхние и нижние границы по каждому признаку; данная проверка позволила установить, не выходят ли показатели за пределы допустимого диапазона. Затем, опираясь на выборочные наблюдения, вычислялись 95% доверительные интервалы, нужные для вывода о среднем показателе всей совокупности. Исследуемые единицы распределялись по отдельным группам по значениям переменной. Характеристики неметрического типа излагались в поясняющей форме, чтобы результаты воспринимались проще. Для большей ясности и визуальной выразительности сведения оформлялись числовым способом.

Чтобы оценить масштаб расхождений между генеральными совокупностями, в исследовании использовали процедуру проверки статистических гипотез. Исходные сведения представили как абсолютные и относительные частоты. Сведения свели в таблицы сопряжённости, где одновременно были указаны числа и проценты. При сопоставлении групп учитывали число групп, связь между выборками по признаку зависимости либо независимости, а ещё тип распределения признаков.

При положительном результате теста Шапиро - Уилка сопоставление количественных показателей для двух независимых выборок проводили с помощью t-критерия Стьюдента либо U-теста Манна - Уитни. Для случаев, где требовалось оценить средние значения нормально распределённого признака сразу в более чем двух группах, использовали параметрическую однофакторную дисперсионную процедуру.

Сопоставление групп выполняли через апостериорные сравнения средних с применением q -критерия Ньюмена-Кейсла. При отклонении характера распределения признака от нормального закона обращались к проверке вариаций по Крускалу-Уоллису. Проверку таблиц сопряженности осуществляли с помощью критерия хи-квадрат. В случаях, когда в отдельных ячейках таблицы абсолютные частоты были меньше 10, применяли соответствующий критерий.

Для выявления зависимостей между переменными сначала находили значимые коэффициенты корреляции. Когда речь шла о прямой связи количественных признаков, выбирали коэффициент Пирсона; при отсутствии указанного условия переходили к коэффициенту Спирмена. В одной из ячеек таблицы при частоте ниже 5 использовали метод Фишера. При изменении значения одного признака менялась и степень связи.

Для статистической обработки использовали программы «Statistica 13.0» и «MedCalc» версии 20.009 на компьютере совместимом с «IBM PC» под управлением «WINDOWS».

РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**3.1. Результаты ретроспективного анализа медицинской документации для выявления распространенности зубочелюстных аномалий и различных побочных эффектов при проведении ортодонтического лечения**

Анализ гендерной структуры выборки ($N = 840$) выявил преобладание пациентов женского пола (55,0 %, $n = 462$) над пациентами мужского пола (45,0 %, $n = 378$), что может быть обусловлено следующими факторами, а именно: акцентированием женщинами внимания на эстетических характеристиках улыбки в социальном контексте, потенциально более высокой распространённостью определённых форм зубочелюстных аномалий среди женщин, а также особенностями структуры потока пациентов (Таблица 8; Рисунок 39). Выявленное гендерное соотношение требует дальнейшего изучения для разграничения вклада истинной распространённости патологии и особенностей обращаемости.

Возрастная структура выборки демонстрирует следующее распределение: группа с молочным прикусом (3-6 лет) – 15,0 % ($n = 126$), группа со сменным прикусом (7-10 лет) – 30,0 % ($n = 252$, наиболее многочисленная категория), подростковая группа (11-17 лет) – 25,0 % ($n = 210$), лица старше 18-ти лет – 30,0 % ($n = 252$) (Таблица 9; Рисунок 40). Пик обращаемости в возрастной категории 7-10 лет согласуется с клиническими данными: период смены зубов оптимален для выявления и коррекции аномалий прикуса. При этом родители чаще инициируют обращение к специалисту в связи с визуальными изменениями зубочелюстной системы. Сопоставимость долей взрослых (30,0 %) и подростков (25,0 %) объясняется ростом спроса на ортодонтическое лечение среди пациентов старше 18 лет, в том числе, благодаря применению таких малозаметных аппаратов, как

элайнеров и необходимостью коррекции тяжёлых деформаций, не устранённых в детском возрасте и приводящих к функциональным и эстетическим нарушениям.

Таблица 8 - Распределение пациентов по полу

Пол	Количество пациентов	Доля от общего числа (%)
Мужчины (м)	378	45%
Женщины (ж)	462	55%
Итого	840	100%

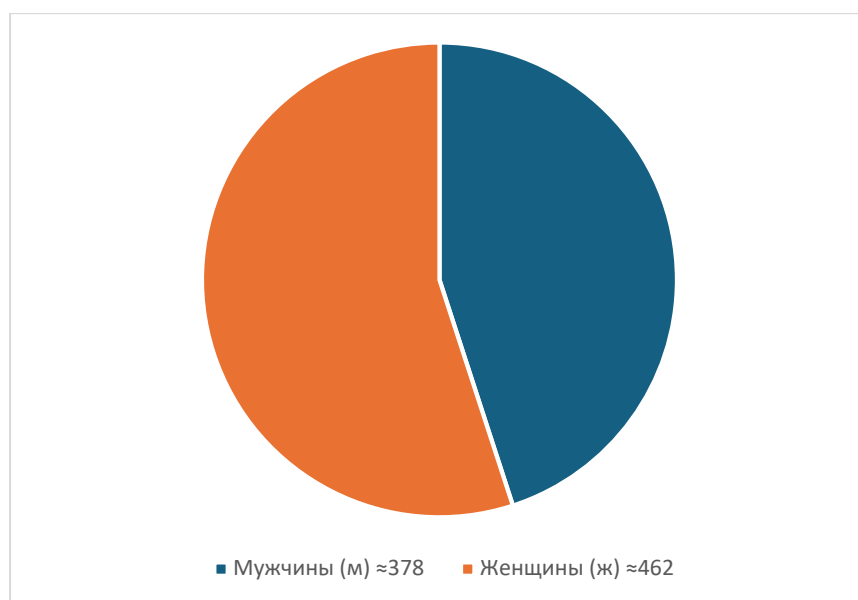


Рисунок 39 - Распределение пациентов по полу

Таблица 9 - Распределение пациентов по возрастным группам

Возрастная группа	Количество пациентов	Доля от общего числа (%)
3–6 лет	126	15%
7–10 лет	252	30%
11–17 лет	210	25%
Старше 18-ти лет	252	30%
Итого	840	100%

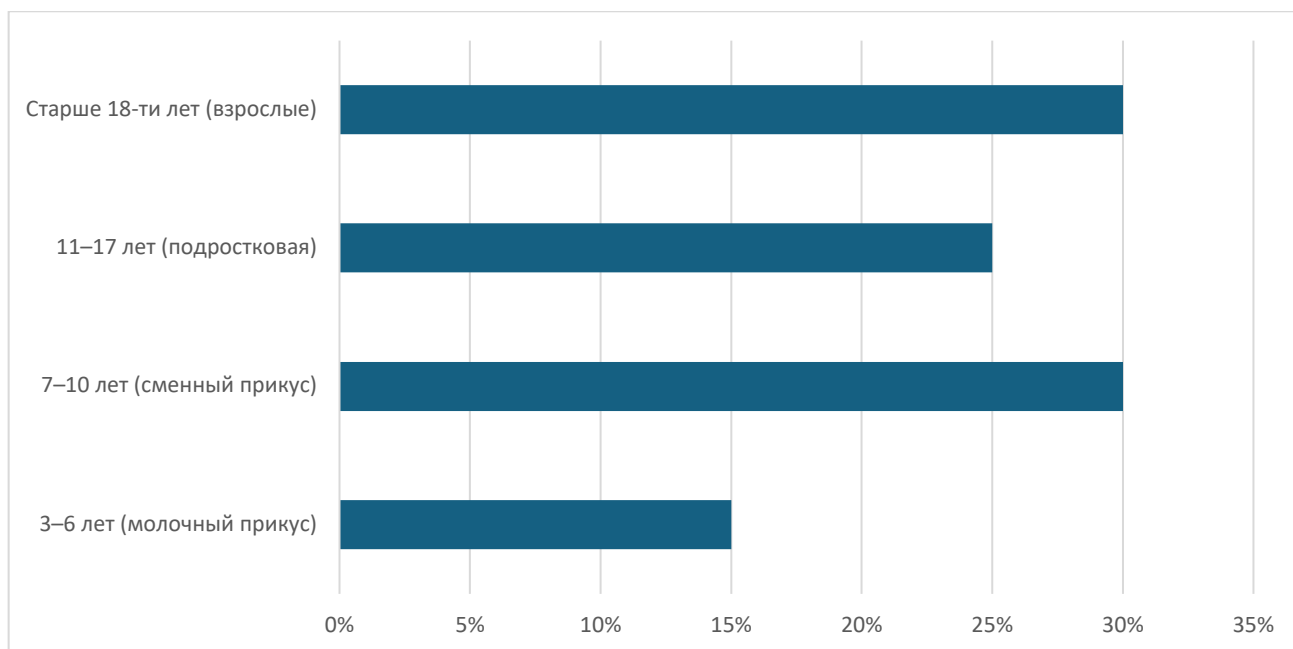


Рисунок 40 - Распределение пациентов по возрастным группам

В группе пациентов с молочным прикусом (3-6 лет) доминирует код МКБ-10 K07.3 (аномалии положения отдельных зубов) – 70,0 % случаев, у 40,0 % пациентов диагностировано сочетание K07.3 и K07.2 (аномалии соотношений зубных дуг). Редкие диагнозы (K07.0, K07.1) отмечены менее чем в 10 % случаев (Таблица 10; Рисунок 41). На этапе молочного прикуса выявляются начальные, не декомпенсированные формы патологии, а такие сочетания, как K07.3 и K07.2 рассматривается как предиктор развития тяжёлых аномалий в будущем, поскольку диспропорции зубных дуг в молочном прикусе могут приводить к скелетным деформациям в сменном и постоянном прикусе.

Таблица 10 - Частота основных диагнозов по МКБ-10 в возрастной группе 3–6 лет

Код МКБ-10	Диагноз	Частота (%)
K07.3	Аномалии положения отдельных зубов	70%
K07.2	Аномалии соотношений зубных дуг	40%
K07.0 / K07.1	Аномалии размеров челюстей/ челюстно-черепных соотношений	10%

Ранняя диагностика и коррекция изолированных аномалий положения зубов и диспропорций зубных дуг позволяют минимизировать риск прогрессирования патологии и снизить вероятность хирургических вмешательств.

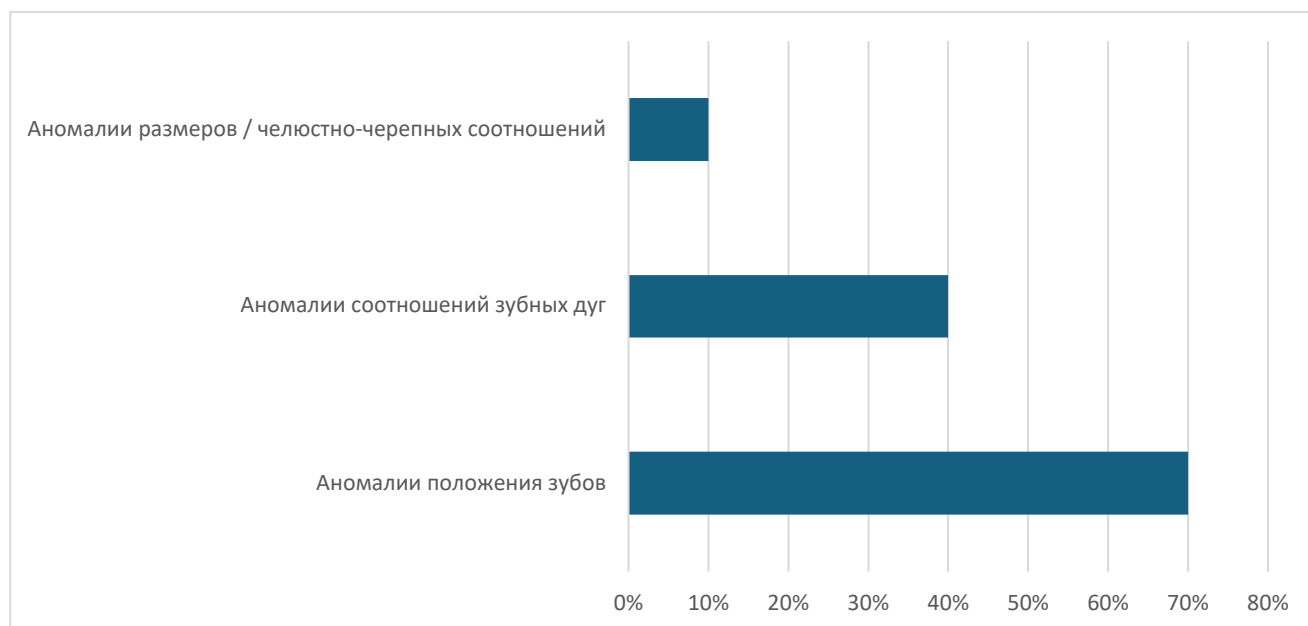


Рисунок 41 - Частота основных диагнозов по МКБ-10 в возрастной группе **3–6 лет**

В возрастной группе 7-10 лет лидируют коды K07.3 (аномалии положения отдельных зубов) – 85,0 %, K07.1 (аномалии челюстно-черепных соотношений) – 50,0 %, K07.2 (аномалии соотношения зубных дуг) – 60,0 %. Характерны сочетания K07.1 + K07.3 (35,0 %) и K07.2 + K07.3 (45,0 %). Период смены зубов является критическим для манифестации комплексных аномалий. Высокая частота K07.1 указывает на нарушения роста и развития челюстей, усугубляющиеся при отсутствии своевременной коррекции, а сопряжённость K07.1 с K07.3 подтверждает закономерную ассоциацию скелетных диспропорций (макро- и микрогнатия, асимметрии) с неправильным положением зубов. В данной возрастной категории целесообразно проводить активную профилактику и лечение, так как формирующаяся зубочелюстная система наиболее восприимчива к коррекции без радикальных вмешательств (Таблица 11; Рисунок 42).

Таблица 11 - Частота основных диагнозов по МКБ-10 в возрастной группе 7–10 лет

Код МКБ-10	Диагноз	Частота (%)
K07.3	Аномалии положения отдельных зубов	85%
K07.1	Аномалии челюстно-черепных соотношений	50%
K07.2	Аномалии соотношений зубных дуг	60%

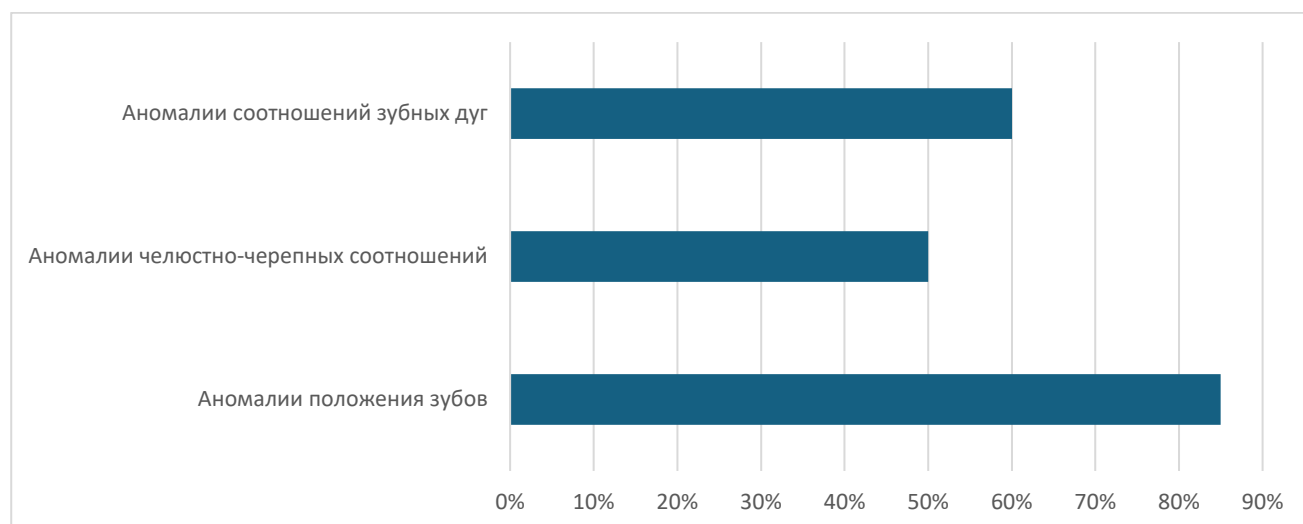


Рисунок 42 - Частота основных диагнозов по МКБ-10 в возрастной группе 7–10 лет

Для возрастного интервала 11-17 лет ведущими показателями являются K07.3 – 75,0 %, K07.1 – 65,0 % и K07.0 – 30,0 %. Отдельного внимания заслуживает сочетание K07.1 + K07.3, которое фиксируется в 50,0 % наблюдений; ещё 25,0 % приходится на триаду K07.0 + K07.1 + K07.3, относимую к тяжёлым мультифакторным деформациям. Рост доли K07.0 связан с тем, что к данному периоду завершается активная фаза роста челюстей. Тогда особенно заметны выраженные скелетные аномалии, в том числе ретрогнатия нижней челюсти и варианты, где скелетные и зубные деформации сочетаются между собой, из-за чего требуется совместное ведение специалистов разных профилей. Триада K07.0 + K07.1 + K07.3 подчёркивает системную природу патологии, аномалии размеров челюстей (K07.0) служат её основой, нарушения челюстно-черепных соотношений (K07.1) усиливают функциональные нарушения, а аномалии положения отдельных

зубов (K07.3) выступают как самое заметное клиническое звено (Таблица 12; Рисунок 43).

Таблица 12 - Частота основных диагнозов по МКБ-10 в возрастной группе 11–17 лет

Код МКБ-10	Диагноз	Частота (%)
K07.3	Аномалии положения зубов	75%
K07.1	Аномалии челюстно-черепных соотношений	65%
K07.0	Аномалии размеров челюстей	30%

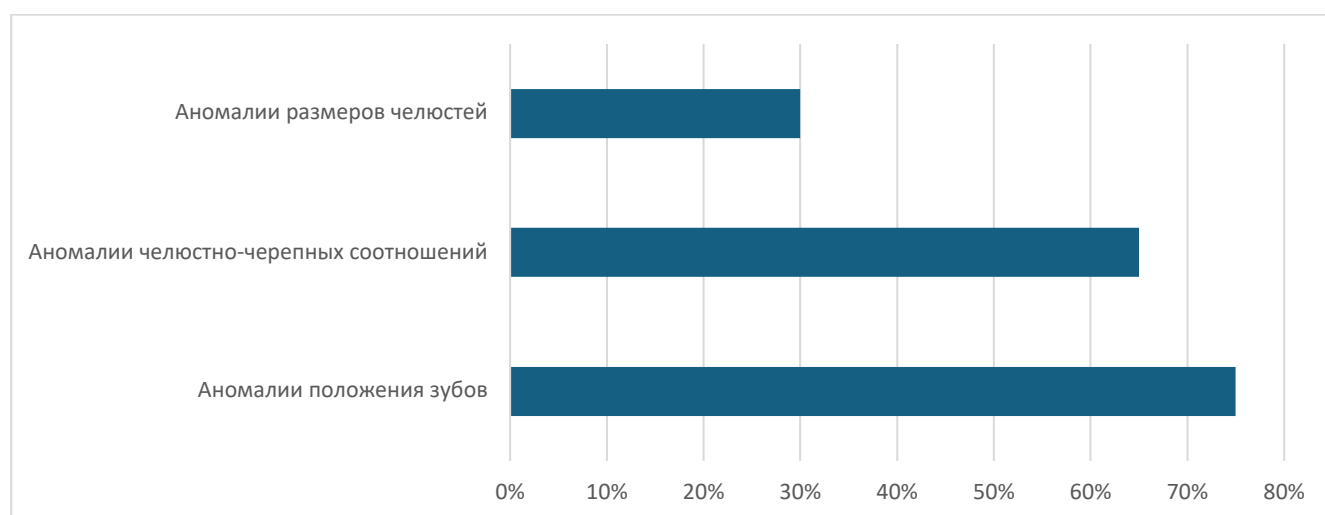


Рисунок 43 - Частота основных диагнозов по МКБ-10 в возрастной группе 11–17 лет

У пациентов старше 18 лет наибольший удельный вес приходится на K07.3 – 60,0 %, далее идет K07.0 – 40,0 %, а K07.6 (болезни ВНЧС) достигает 20,0 %. Такая выраженность K07.0 отражает наличие стойких нарушений, закрепившихся еще в детском возрасте и потому нередко требующих многоэтапной коррекции. Распространение K07.6 связано с тем, что дисфункция ВНЧС в ряде случаев формируется вторично на фоне длительно сохраняющихся деформаций, например при глубоком или перекрёстном прикусе. Напротив, более редкое выявление K07.1 и K07.2 у взрослых связано с тем, что в зрелом возрасте костные диспропорции имеют меньшую изменчивость. В целом у взрослых такой патологический процесс затрагивает не только зубные ряды, но и височно-нижнечелюстной сустав, поэтому

нужна развернутая диагностика, сочетание лечебных подходов и аккуратная оценка прогноза с учетом того, как долго аномалии сохраняются (Таблица 13; Рисунок 44).

Таблица 13 - Частота основных диагнозов по МКБ-10 в возрастной группе старше 18-ти лет

Код МКБ-10	Диагноз	Частота (%)
K07.3	Аномалии положения зубов	60%
K07.0	Аномалии размеров челюстей	40%
K07.6	Болезни височно-нижнечелюстного сустава	20%

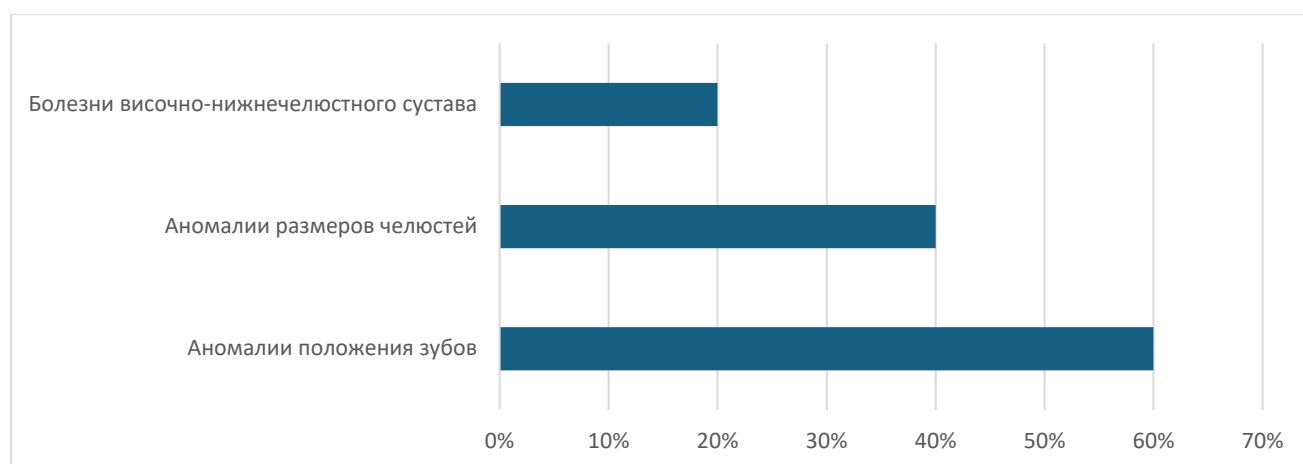


Рисунок 44 - Частота основных диагнозов по МКБ-10 в возрастной группе старше 18-ти лет

Анализ комбинаций диагнозов выявил следующие закономерности: код K07.3 присутствует в 90,0 % записей, что подтверждает его роль как базового клинического признака зубочелюстных нарушений, редко встречающихся изолированно. Тройная комбинация K07.0 + K07.1 + K07.3 диагностирована в 15,0 % случаев (преимущественно у подростков и взрослых) и ассоциируется с выраженной дисгармоничностью лицевого скелета, нарушением окклюзии, высоким риском дисфункции ВНЧС и жевательных мышц, требуя мультидисциплинарного подхода. Связь K07.1 с K07.3 (60,0 % случаев)

подтверждает системность патологического процесса: скелетные диспропорции способствуют развитию зубных аномалий, которые, в свою очередь, усугубляют функциональную недостаточность зубочелюстной системы (Таблица 14; Рисунок 45).

Таблица 14 - Частые комбинации диагнозов

Возрастная группа	Комбинация МКБ-10	Описание	Доля случаев (%)
3–6 лет	K07.3 + K07.2	Аномалии положения отдельных зубов + аномалии соотношения зубных дуг	40%
7–10 лет	K07.1 + K07.3	Аномалии челюстно-черепных соотношения + аномалии положения отдельных зубов	35%
11–17 лет	K07.0 + K07.1 + K07.3	Аномалии размеров челюстей + аномалии черепно-челюстных соотношений + аномалии положения отдельных зубов	25%
Старше 18-ти лет	K07.0 + K07.3 + K07.6	Аномалии размеров челюстей + аномалии положения отдельных зубов + болезни ВНЧС	15%

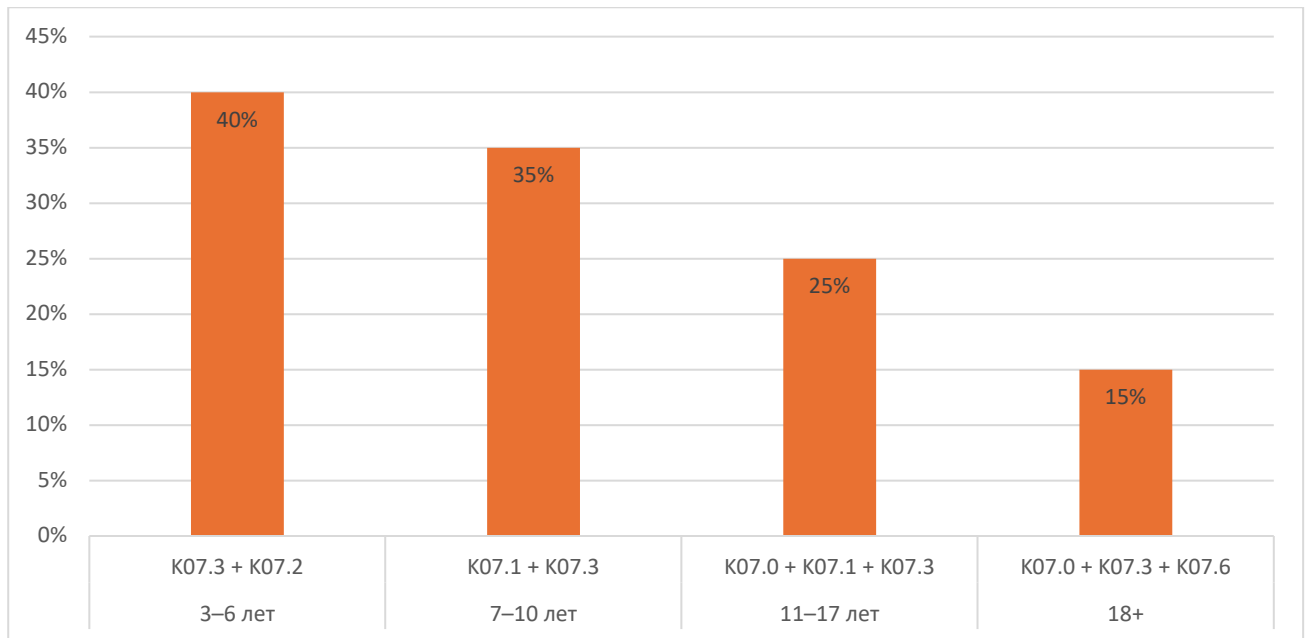


Рисунок 45 - Частые комбинации диагнозов

Анализ данных по ортодонтическому лечению выявил существенные различия в охвате терапией и частоте осложнений в структуре твердых тканей зубов в зависимости от возраста среди пациентов с кодом МКБ-10 K07.3 (Таблица 15; Рисунок 46).

Таблица 15 - Охват ортодонтическим лечением и частота возникновения осложнений у пациентов с диагнозом K07.3

Возрастная группа	Всего пациентов (n)	Пациенты с K07.3 (%) / абсолютное число	Получили лечение (%) / абсолютное число	Осложнения у пролеченных (%) / абсолютное число
3–6 лет	126	70% (88)	20% (18)	24% (4)
7–10 лет	252	85% (214)	72% (154)	67% (103)
11–17 лет	210	75% (158)	81% (128)	71% (91)
Старше 18-ти лет	252	60% (151)	47% (71)	72% (51)

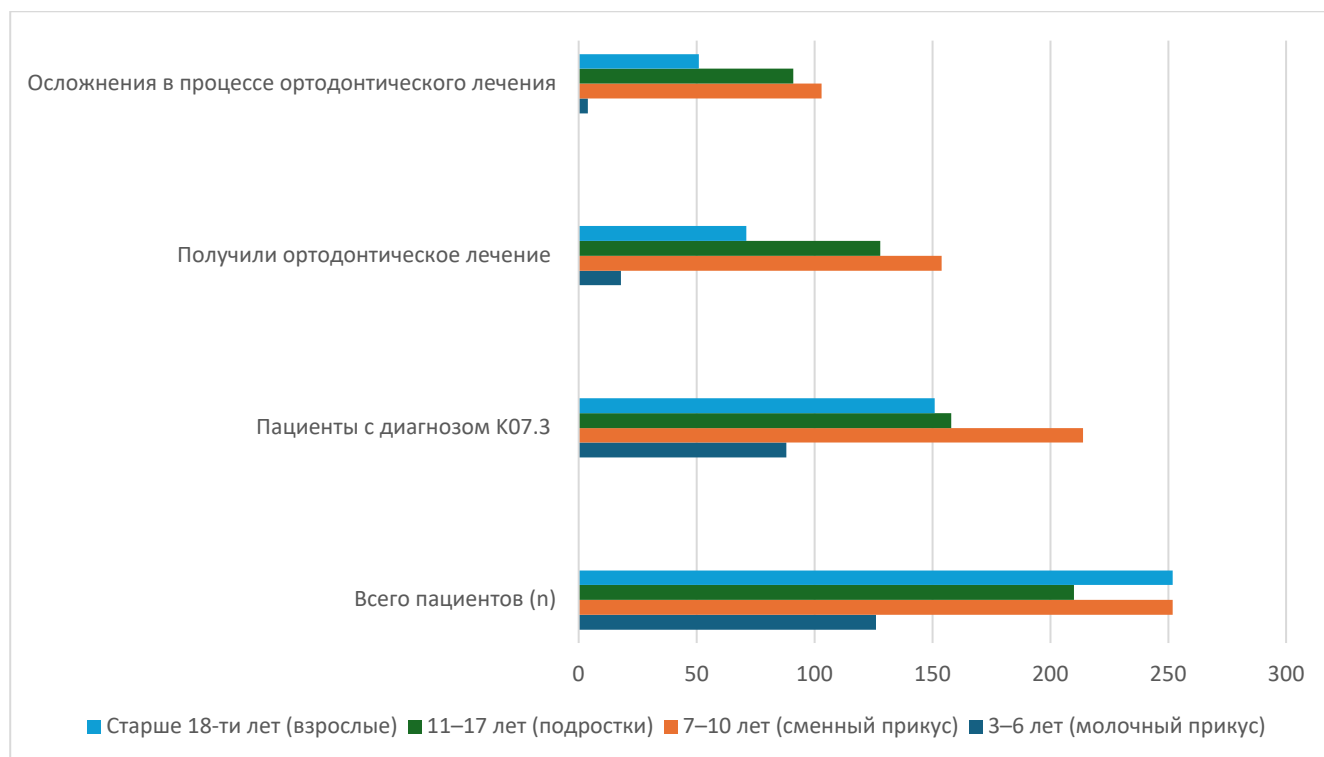


Рисунок 46 - Охват ортодонтическим лечением и частота возникновения осложнений у пациентов с диагнозом K07.3

В рамках исследования выявлена гетерогенность охвата ортодонтическим лечением пациентов с диагнозом K07.3 в зависимости от возраста. Максимальный показатель зафиксирован в подростковой группе (81,0 % пролеченных из 158 случаев), минимальный - в группе 3-6 лет (20,0 % из 88 случаев), тогда как у взрослых охват составил 47,0 % (из 151 случая), что ниже подросткового уровня при высокой клинической потребности. Частота осложнений в структуре твердых тканей зубов демонстрирует возрастную прогрессию, где минимальная в группе 3-6 лет (24,0 % у 18 пролеченных), максимальная - у взрослых (72,0 % у 71 пролеченного), с промежуточными значениями в группах 7-10 лет (67,0 % у 154) и 11-17 лет (71,0 % у 128). Анализ соотношения распространенности патологии и лечения показал, что в группах 3-6 и 7-10 лет высокая распространенность K07.3 (70,0 % и 85,0 %) сочетается с низким и умеренным охватом лечением (20,0 % и 72,0 %), увеличивая риск прогрессирования патологии. У подростков же высокий охват (8,0 %) сопряжен с высокой частотой осложнений в структуре твердых тканей зубов (71,0 %), а у взрослых низкая доля пролеченных (47,0 %) сочетается с

высокой долей пациентов с K07.3 (60,0 %) и максимальной частотой осложнений (72,0 %) (Таблица 15; Рисунок 46).

Общее число пациентов проходивших ортодонтическое лечение с диагнозом K07.3 (аномалии положения отдельных зубов), у которых были выявлены различные осложнения - 249 (4 + 103 + 91 + 51), случаи кариеса в стадии белого мелового пятна - 175 (2 + 40 + 44 + 18 + 29 + 16 + 14 + 11), доля кариеса (K02.0) среди всех осложнений $\sim 70,3\%$ (175/249). Статистический анализ демонстрирует доминирование кариеса в стадии белого пятна в каждой возрастной группе (пик - в подростковой группе, 48,4% случаев), высокую частоту комбинированных патологий (45,8% пациентов: 76 случаев K02.0 + K05.0, 11 случаев K02.0 + K05.0 + K06.0), а также специфику взрослых пациентов с сочетанием кариеса и рецессий десны. Выводы по данным указывают на преобладание поражения эмали (более 70% осложнений), системность патологии (частые сочетания кариеса, гингивита, рецессий) и возрастные особенности (Таблица 16).

По данным клинического исследования, наибольшую ценность имеют профилактические меры, начатые в 3 до 6 лет и в 7 до 10 лет. Раннее начало помогает ослаблять проявления заболеваний, выстраивать помощь при участии специалистов разных профилей и заранее готовить пациента к терапии во взрослом возрасте. Чтобы в каждой возрастной группе удерживать угрозы на минимальном уровне, нужны отдельные протоколы с разным содержанием.

Однако у исследования есть ограничения. Среди них - выборочность данных, отсутствие долгосрочного наблюдения, неучтённые социально-экономические, генетические и экологические факторы. Кроме того, существует риск субъективности в диагностике.

При интерпретации полученных результатов требуется учитывать ряд обстоятельств, снижающих полноту выводов. В первую очередь, исходный массив сведений сформирован неравномерно и не охватывает всю совокупность наблюдений; протяжённый по времени контроль не проводился. Кроме того, в разбор не были добавлены параметры, связанные с социально-экономической средой, наследственностью и экологической обстановкой. Отдельно стоит

отметить, что при постановке диагноза сохраняется вероятность влияния личной оценки специалиста.

Таблица 16 - Структура осложнений у пациентов, получавших ортодонтическое лечение (по возрастным группам)

Возрастная группа	Всего пациентов с осложнениями	Кариес в стадии белого мелового пятна (K02.0)	Острый гингивит (K05.0)	Комбинации патологий
3–6 лет	4	2 (50%)	1 (25%)	1 случай (K02.0 + K05.0 - 25%)
7–10 лет	103	40 (38,8%)	34 (33%)	29 случаев (K02.0 + K05.0 - 28,2%)
11–17 лет	91	44 (48,4%)	31 (34,1%)	16 случаев (K02.0 + K05.0 - 17,5%)
Старше 18-ти лет	51	18 (35,3%)	-	14 случаев (K02.0 + K05.0 - 27,5%); 11 случаев (K02.0 + K05.0 + K06.0 - 21,6%); 8 случаев (K06.0 - 15,7%)

Судя, по полученным сведениям, ортодонтическая практика нуждается в новых решениях, способных удерживать число и выраженность нежелательных исходов на минимальном уровне. При таком лечении нередко возникают побочные реакции, затрагивающие перестройку минерализованных зубных структур; поэтому на первый план выходят новые модели, клинические исследования с оценкой влияния на состояние таких тканей и включение предупреждающих мер в обычные лечебные протоколы. Грамотная схема помощи должна объединять научно обоснованные технологии, индивидуальный подбор терапии и постоянное наблюдение за пациентом на каждом этапе вмешательства.

На этапе подросткового созревания заметнее выражен костный компонент нарушений, что отражено обозначением K07. Затем, во время смены прикуса, клиническая картина нередко усложняется, отклонения затрагивают не только зубы, но и опорные костные структуры, для чего применяются коды K07.1, K07.3, K07.2. При молочном прикусе чаще фиксируются расстройства с ограниченным масштабом; им соответствуют K07.3, а в отдельных случаях K07.2. В общем челюстно-зубная патология проходит путь последовательного усложнения, сначала возникают разрозненные аномальные проявления, затем они переходят в деформации более сложного характера. К числу состояний, способных эволюционировать в выраженные мультифакторные варианты, относят комбинацию K07.0, K07.1 и K07.3. Для взрослой группы более типичны сохраняющиеся деформации, при которых нарушается функция височно-нижнечелюстного сустава; здесь фигурируют коды K07.0, K07.3 и K07.6. По этой причине в ортодонтической практике возраст нужно рассматривать как весомый клинический параметр. Нужны профилактические меры на раннем этапе и безотлагательное устранение патологий зубочелюстной системы.

Самый выраженный поток обращений приходится на 7-10 лет; данный период совпадает со сменой зубов, и на таком отрезке лечебные меры дают высокий эффект при сравнительно малых затратах ресурсов. При раннем выявлении нарушений и последующей коррекции на этапах молочного прикуса и сменного прикуса удаётся не допустить перехода процесса в тяжёлые формы; одновременно снижается вероятность хирургического лечения, а функциональные и эстетические исходы улучшаются. Наряду с клинической картиной нужно учитывать половое распределение, в исследованной группе женщины составили 55,0 %, что может отражать либо реальную частоту аномалий, либо особенности обращения пациентов за медицинской помощью. Для более надёжного вывода нужен разбор с опорой на социально-демографические характеристики.

При ведении взрослых пациентов клиническую тактику приходится выстраивать с большой внимательностью, до начала лечения выполняют ортодонтическую коррекцию положения зубов. В подобных случаях к работе как

правило подключают врачей челюстно-лицевой хирургии и специалистов по физиотерапии. Поскольку заболевание имеет высокую сложность, этап восстановления занимает продолжительное время.

В клинической практике в последнее время все заметнее фиксируется ситуация, при которой после завершения ортодонтической коррекции у пациентов обнаруживаются кариозные изменения, проявляющиеся белыми меловидными пятнами. Такой клинический итог указывает на необходимость дальнейшего развития подходов к лечению аномалий зубного ряда. В качестве приоритета рассматривают создание комплекса мер для сохранения минеральной устойчивости эмали и предотвращения деминерализации. Исправление зубочелюстных аномалий нужно проводить одновременно с ними.

Если строить лечение с учётом персональных параметров пациента и текущей фазы заболевания, ортодонтическое воздействие удаётся сочетать с прицельной терапией. В состав терапии допустимо добавить реминерализацию, фторирование и инфильтрацию очагов кариеса. Подход помогает снизить риск осложнений, сократить срок восстановления и получить более долговременный отдалённый результат.

В период ортодонтической коррекции нередко появляется кариозное поражение по типу белого пятна; по данной причине лечебную тактику нельзя сводить лишь к коррекции. Зубочелюстные аномалии склонны нарастать по ходу времени и становиться более выраженными с увеличением возраста, а потому раннее распознавание нарушений, учет возрастных особенностей и сочетание нескольких лечебных направлений помогают уменьшить риск тяжелых последствий и поддержать более высокое качество жизни больных. С указанной целью требуется создавать объединенные протоколы, где исправление аномалий, профилактика и терапия деминерализации рассматриваются как единый комплекс. Такая организация помощи способна повысить уровень ортодонтической помощи.

3.2. Результаты изучения структуры качественного микроэлементного состава интактной эмали и при наличии очагов деминерализации

В спектральной картине гидроксиапатита (ГАП), на долю кристаллической решетки которого приходится свыше 95,0 % объема зубной эмали, самый выраженный максимум связывают с симметричным валентным колебанием фосфат-иона ($\nu_1 \text{PO}_4^{3-}$) и фиксируют на уровне 960 см^{-1} . Сопоставление спектров интактной и деминерализованной эмали показало резкое расхождение показателей, у неповрежденной ткани сигнал достигал $1,5 \cdot 10^5$, а в деминерализованных участках снижался до $27\,000 \text{ см}^{-1}$ (Рисунок 47).

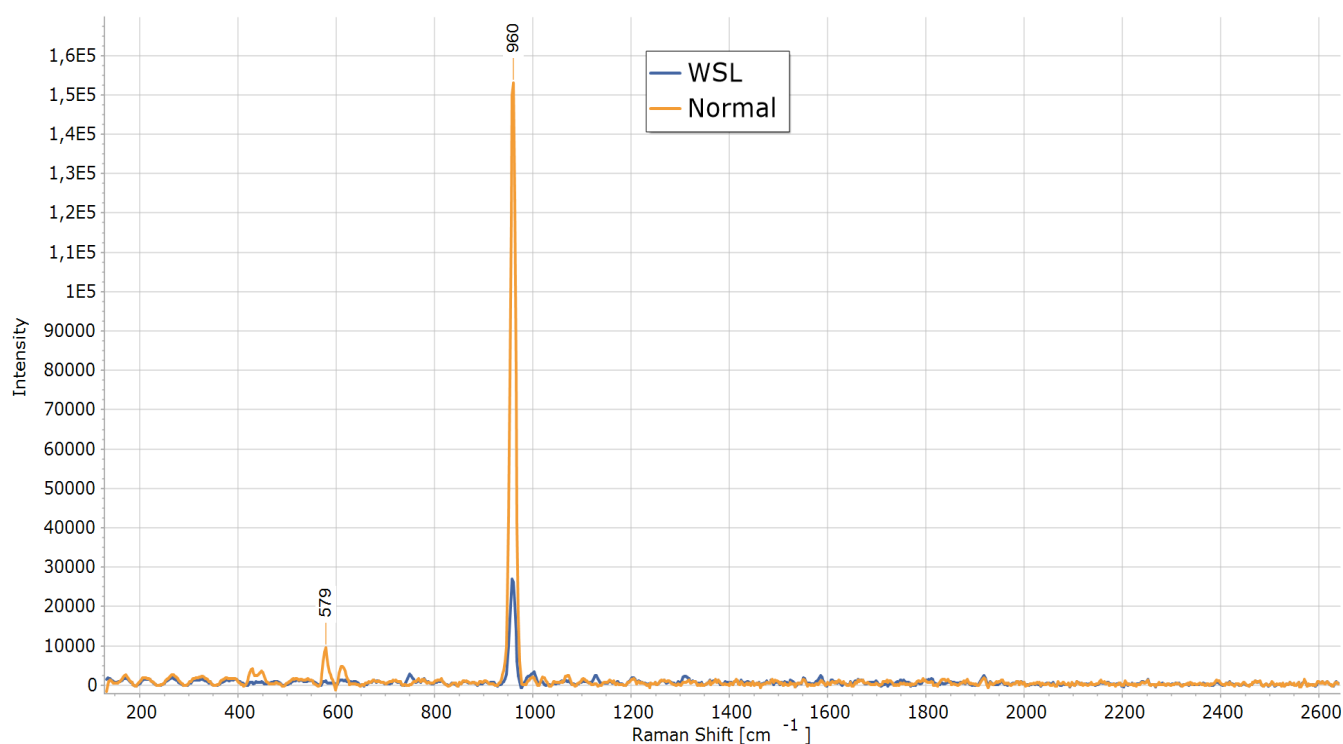


Рисунок 47 - Спектральные характеристики интактной эмали и участков с признаками деминерализации

Падение интенсивности более чем в пять раз указывает на значительное нарушение структуры эмали и существенное уменьшение содержания ГАП, что характерно для начальных стадий потери минералов.

Детальное изучение обнаружило, что интенсивность сигнала в нормальной эмали варьировалась в широких пределах (от 55 000 sm^{-1} до 170 000 sm^{-1}), тогда как в деминерализованных участках показатели концентрировались в более узком диапазоне (от 20 000 sm^{-1} до 35 000 sm^{-1}) (Рисунок 48).

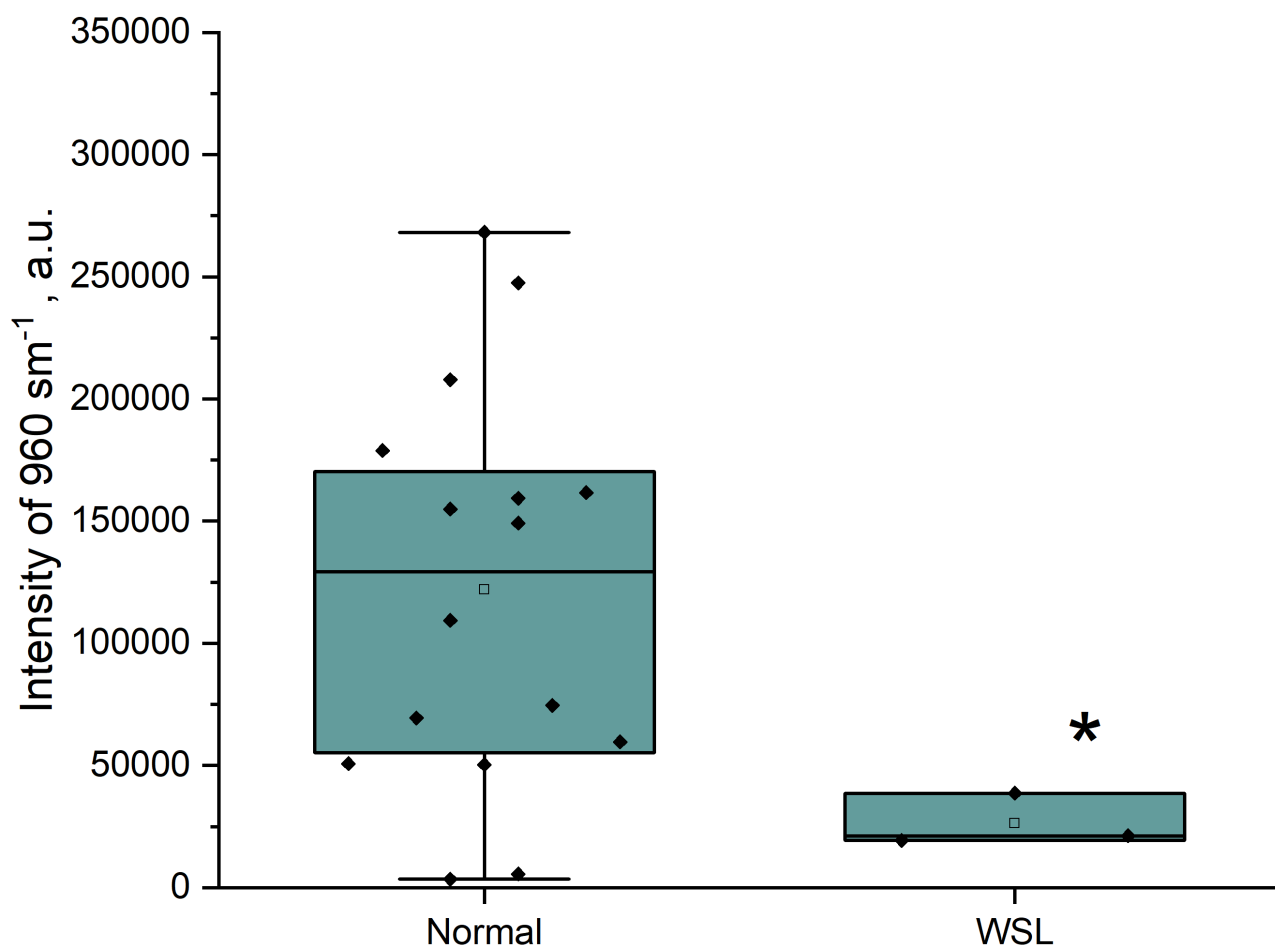


Рисунок 48 - Диапазон интенсивности сигнала в интактной эмали и участков с признаками деминерализации

Широкий разброс значений в интактной эмали указывает на ее неоднородность и наличие микроскопических различий в структуре и минерализации разных участков. Узкий диапазон в деминерализованной эмали свидетельствует о более равномерном снижении уровня минерализации, что подтверждает наличие патологического процесса. Помимо изменения интенсивности, зафиксировано увеличение полуширины полосы $\sim 960 \text{ cm}^{-1}$ в

участках с деминерализацией: в интактной эмали значения полуширины составляли от $12,2 \text{ см}^{-1}$ до $12,7 \text{ см}^{-1}$, а в деминерализованных участках этот показатель возрастал до $13,4\text{--}13,6 \text{ см}^{-1}$ (Рисунок 49).

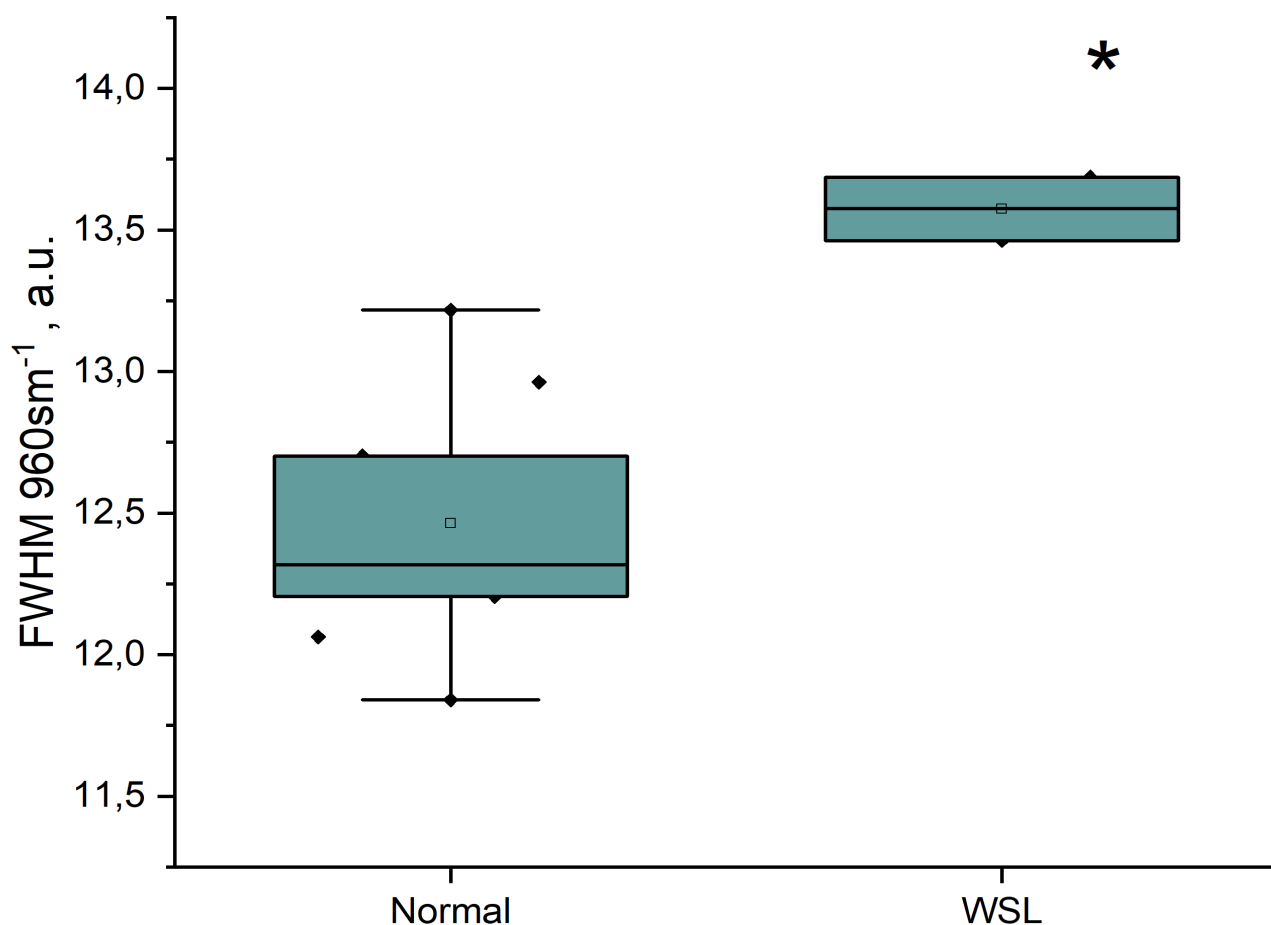


Рисунок 49 - Уровень кристалличности в интактной эмали и участков с признаками деминерализации

Увеличение полуширины полосы указывает на снижение упорядоченности кристаллов эмали в зонах деминерализации и увеличение внутренней неоднородности. При утрате гидроксиапатитом исходного порядка эмалевый слой ослабевает и хуже переносит механические и иные воздействия.

Для установления степени результативности применённой методики провели лечебно-профилактический курс, направленный на восстановление минерального состояния тканей зуба. На подготовительном этапе образцы фиксировали в гипсовой форме, после чего для них изготавливали персонализированную капу из

полиуретантерефталата («Zendura»). Затем на сторону каппы, прилегающую к зубам, наносили гель «ROCS Minerals», капу устанавливали на зубах, а образцы помещали в среду, имитирующую слюну. Затем выполняли промывание зубов водопроводной водой, после чего нанесение геля повторяли каждые 6 часов, сохраняя данный режим в течение 7 дней.

После завершения курса данные, полученные при повторной рамановской спектроскопии, показали сближение колебательных показателей в зонах деминерализации со значениями, характерными для интактной эмали (Рисунок 50).

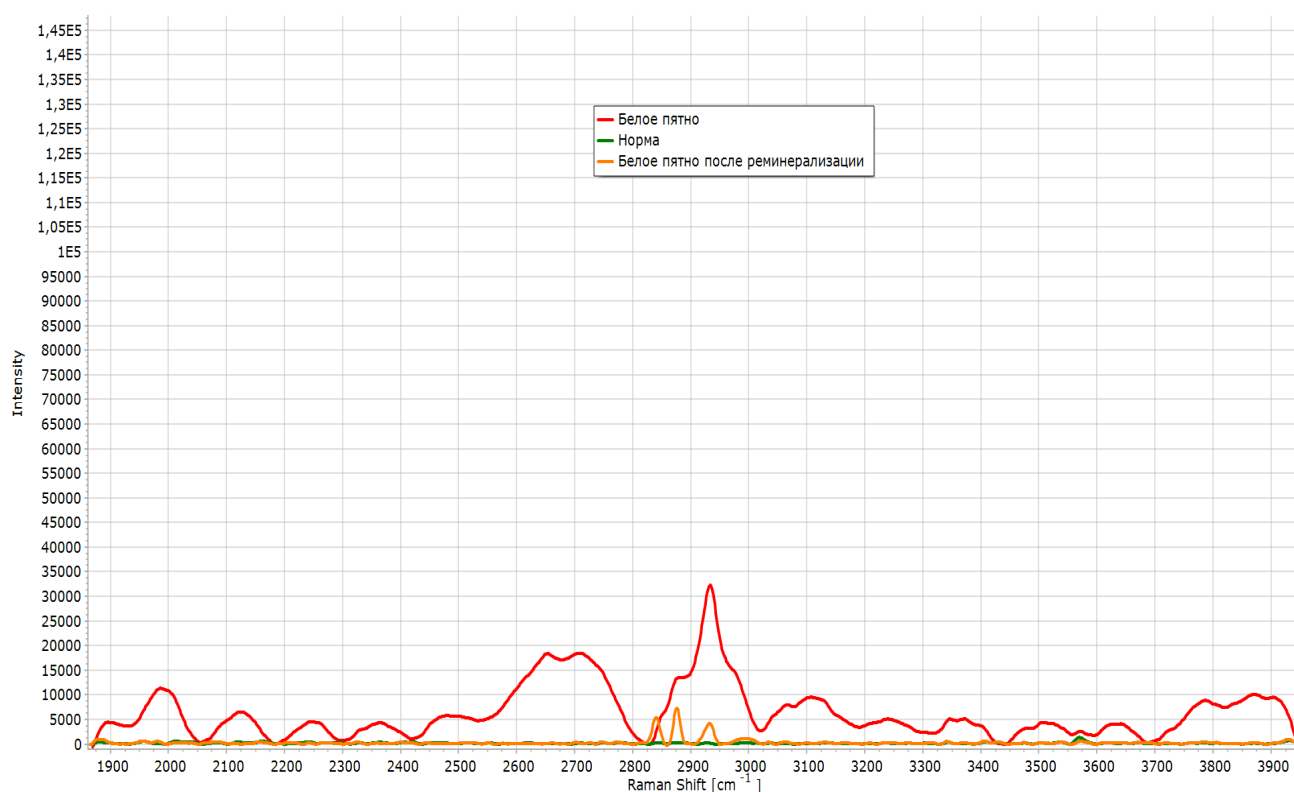


Рисунок 50 - Спектральные характеристики интактной эмали и участков с признаками деминерализации после проведения реминерализирующей терапии

В ходе исследования оценивали соотношение органической и минеральной составляющих эмали, а именно белковых соединений и гидроксиапатита (ГАП), в разных участках эмали. Для интактной эмали были характерны показатели, соответствующие норме. Иная картина фиксировалась в деминерализованных зонах, там доля белковых соединений оказывалась выше по отношению к

минералам ГАП. По завершении курса реминерализации почти полностью исчезал указанный избыток, поскольку содержание белковых соединений резко уменьшалось и приближалось к нулевым значениям. Одновременно фиксировался положительный сдвиг по минералам ГАП (Рисунок 51).

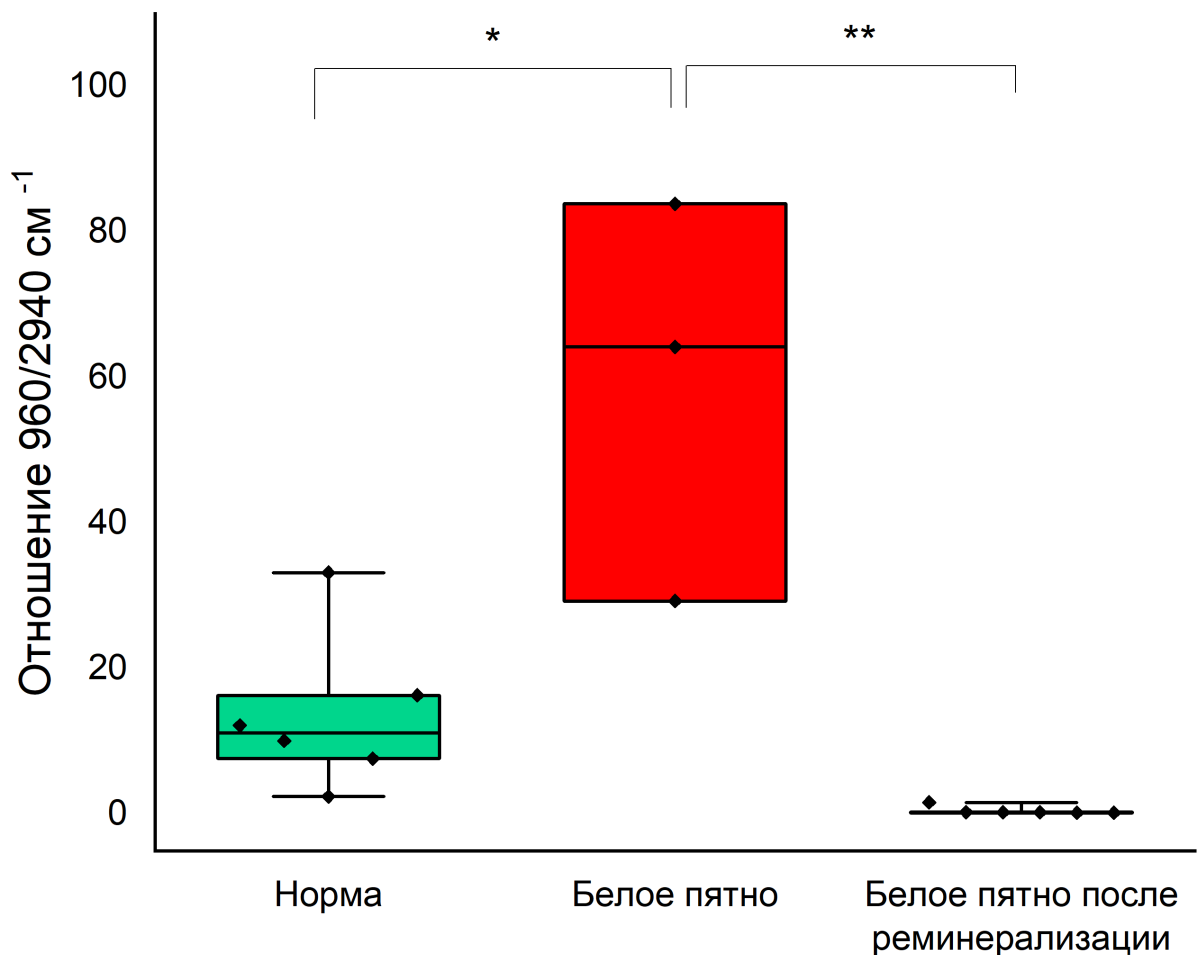


Рисунок 51 - Соотношение различных белковых соединений и ГАП в различных участках эмали

После проведённой реминерализации снижается содержание ряда белковых соединений; данный сдвиг указывает на возврат минеральной полноценности эмалевого слоя, а нежелательная патологическая активность постепенно стихает. В таких условиях реминерализующая терапия приближает соотношение органической и минеральной фракций эмали к норме. Зафиксированные

изменения, вероятно, связаны с сравнительно небольшим сроком лечебного курса - 7 дней.

После семидневного лечебного воздействия эмаль, утратившая часть минеральной плотности, заметно улучшается, ее состояние приходит к лучшему, а значения в пораженных зонах выравниваются и почти совпадают с теми, что характерны для здоровой эмали. Параллельно нормализуется баланс между белковыми компонентами и гидроксиапатитом. Реминерализующая терапия возвращает эмали минеральный состав и ослабляет проявления заболеваний полости рта.

Реминерализующая терапия помогает нормализовать соотношение органической и неорганической частей эмали. При деминерализации в эмали заметно уменьшается доля белковых соединений. По этой причине минерализационный процесс нуждается в восстановлении.

Полученные в ходе исследования данные целесообразно толковать с учётом ряда методологических ограничений. Семидневный период лечения, по всей вероятности, оказался слишком коротким, чтобы уверенно проверить сохранение достигнутого результата; для надёжного закрепления эффекта, видимо, требуется более длительное воздействие. Дополнительно, наблюдение, опирающееся лишь на двадцать зубов, не даёт достаточной базы для переноса выводов на всю совокупность клинических ситуаций.

Реминерализующая терапия показывает выраженную перспективность при деминерализации эмали. При этом наивысшая результативность достигается лишь при точном подборе временных параметров курса и оценке клинического профиля пациента в индивидуальном порядке. Возрастная категория, общее соматическое состояние и этиологические факторы деминерализации способны заметно менять ответ на терапию, поэтому данным параметрам нужно уделять обязательное внимание.

3.3. Результаты микробиологического исследования адгезивной активности микробиома рта к конструкционным материалам для изготовления элайнеров

На кафедре эпидемиологии, микробиологии и доказательной медицины ФГБОУ ВО «ПИМУ» МЗ РФ работа проходила в виде лабораторных экспериментов. Исследовательская задача состояла в выявлении способности микробиома адгезировать к конструкционным материалам, используемым при производстве элайнеров. С целью решения задачи задействовали микробиологические и статистические методики, а предметом изучения было взаимодействие микроорганизмов с указанными материалами.

Проведенная статистическая обработка выявила достоверные различия при $p < 0,05$. На 3-м часу адгезия *Str. pyogenes* у «Graphy» составила $0,623 \pm 0,045$, тогда как у «Zendura» значение составило $0,517 \pm 0,038$. К 6-му часу для *C. krusei* различие обозначилось между «Graphy» и «Biolon», «Graphy» = $1,046 \pm 0,062$, «Biolon» = $0,571 \pm 0,043$. В тот же срок по адгезии *S. aureus* различия затронули все материалы; значения были такими, «Graphy» = $0,843 \pm 0,051$; «Duran» = $0,726 \pm 0,048$; «Zendura» = $0,547 \pm 0,039$; «Biolon» = $0,598 \pm 0,042$.

У всех изученных микроорганизмов при оценке изменения способности к адгезии были обнаружены различия, достигшие статистической значимости ($p < 0,05$).

Экспериментальная проверка показала неодинаковую способность микроорганизмов закрепляться на образцах из различных конструкционных материалов. Показатели варьировали от почти нулевого уровня до отчетливо выраженного; величина зависела от физико-химических свойств поверхностного слоя.

Из всех исследованных образцов материал на основе полиуретантерефталата «Zendura» оказался наименее восприимчивым к фиксации микроорганизмов. На первом этапе наблюдений различие между образцами проявлялось особенно чётко,

через 3 часа усреднённый показатель адгезии для *Str. pyogenes* достигал лишь 0,517 (Рисунок 54).

По отношению к двум предельным вариантам «Duran» и «Biolon» выступали материалами с промежуточными свойствами. Для «Duran» была характерна низкая степень прикрепления микроорганизмов к поверхности; показатель возрастал последовательно, без скачков, на всем протяжении наблюдения (Рисунок 53). «Biolon» проявлял умеренный уровень активности микроорганизмов; к шестому часу инкубации выраженность активности возрастала (Рисунок 55).

Для «Graphy» зафиксирован максимальный уровень взаимодействия с микроорганизмами, через 1 час после начала опыта средняя адгезия превысила 0,600 (Рисунок 52). Вероятно, такой результат связан с особыми физико-химическими характеристиками поверхностного слоя. При оценке с позиции клинической практики «Zendura» стоит считать самым целесообразным вариантом, тогда как «Graphy» уступает ей по предпочтительности из-за большей вероятности микробного заселения. Самое интенсивное сцепление с исследованными поверхностями показал *S. aureus*, по сравнению с другими микроорганизмами он закреплялся на всех материалах заметно активнее. У *Candida spp.* адгезивная картина была неодинаковой и менялась под влиянием вида поверхности; через шесть часов показатель для *C. krusei* на «Graphy» составил 1,046, тогда как на «Biolon» он равнялся 0,571. При подборе материала нужно учитывать его поведение при контакте с патогенными микроорганизмами. Так же стоит учитывать тот факт, что при выборе материала для изготовления элайнеров необходимо учитывать видовой состав микрофлоры пациента [3].

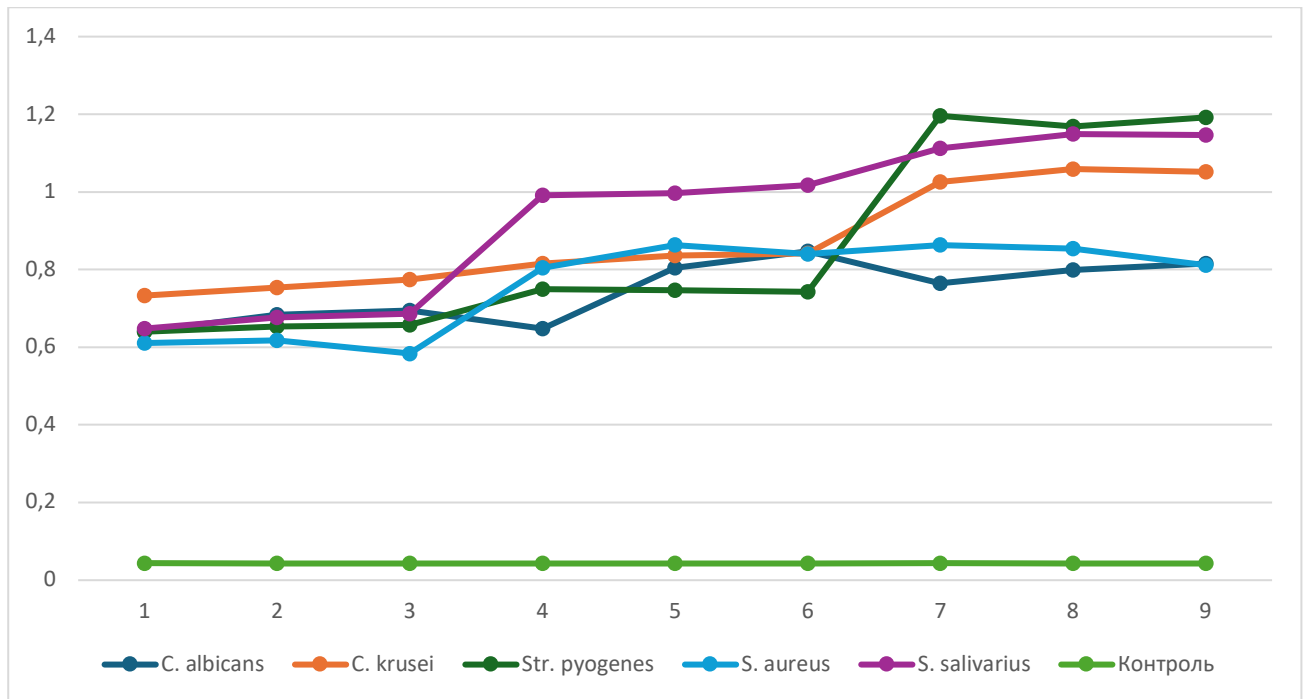


Рисунок 52 - Данные адгезивной активности микробиома полости рта к фотополимерному материалу «Graphy»

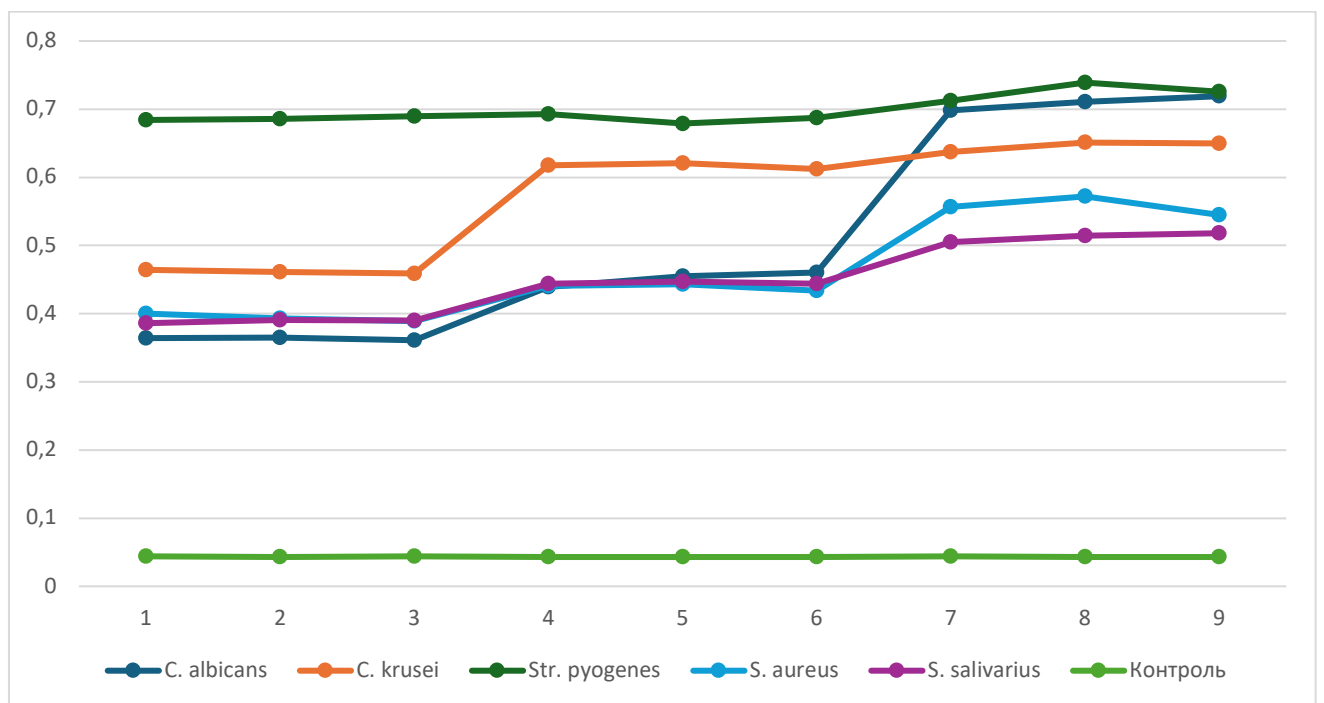


Рисунок 53 - Данные адгезивной активности микробиома полости рта к материалу для термоформования «Duran»

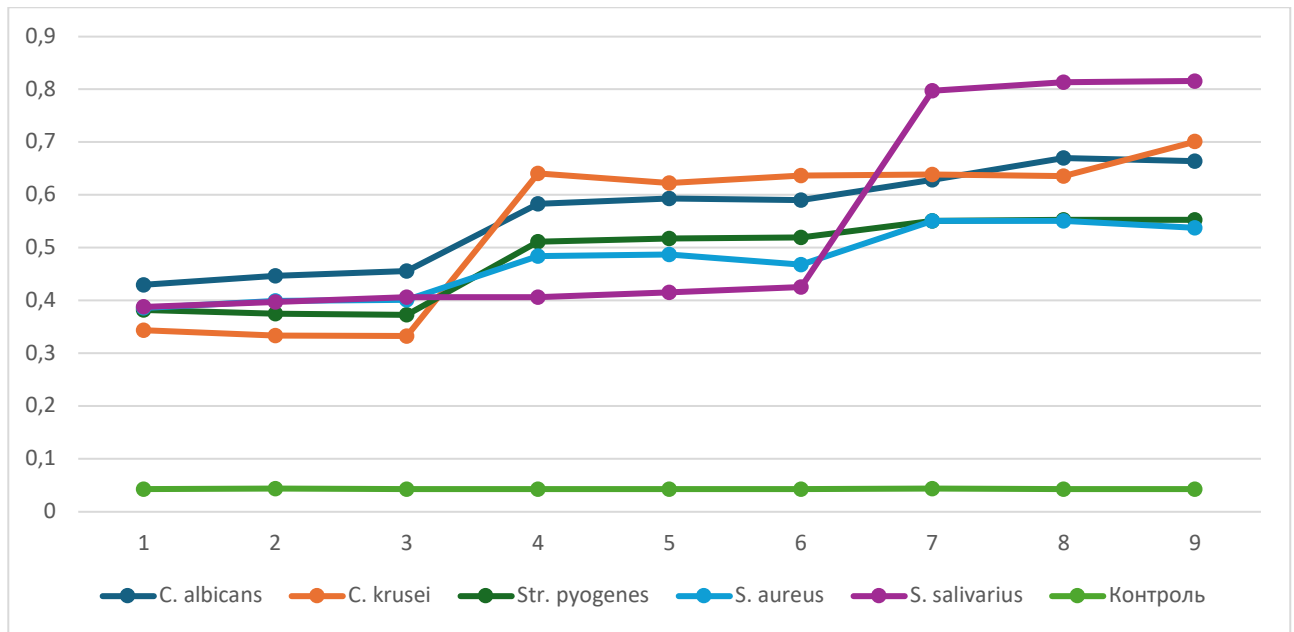


Рисунок 54 - Данные адгезивной активности микробиома полости рта к материалу для термоформования «Zendura»

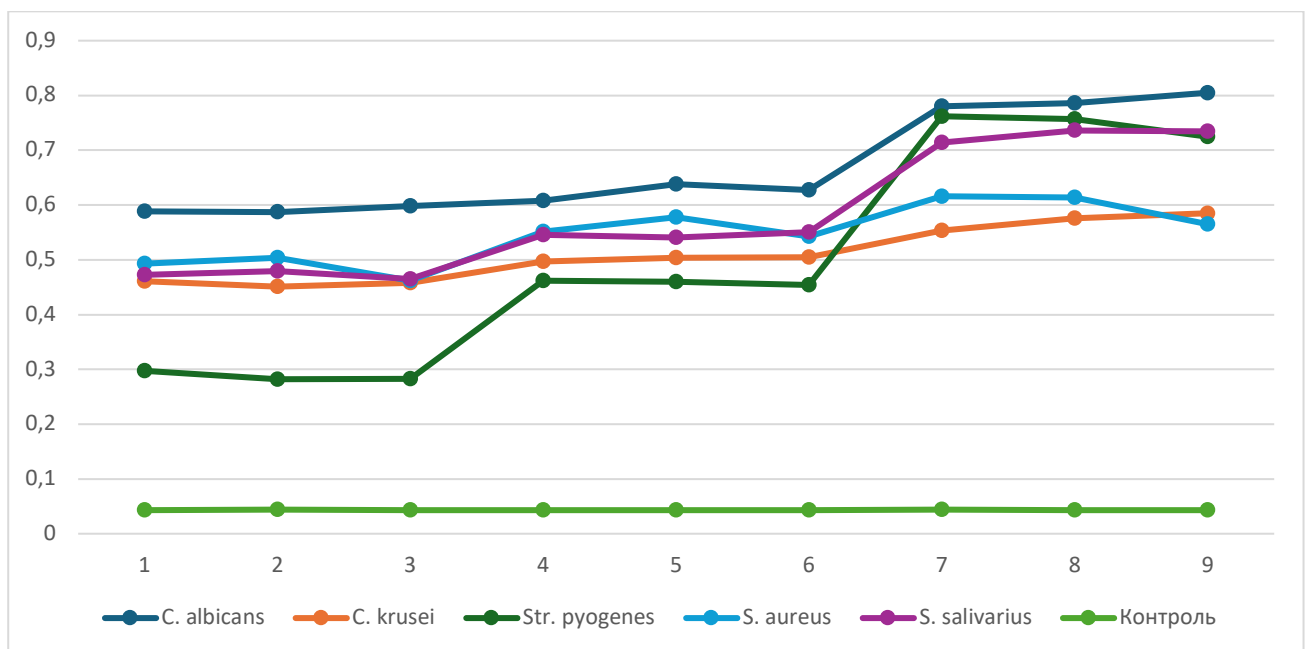


Рисунок 55 - Данные адгезивной активности микробиома полости рта к материалу для термоформования «Biolon»

Исследование адгезивной активности микроорганизмов к материалам для изготовления элайнеров показало, что способность образцов удерживать патогены существенно различается. При этом наиболее интенсивное прикрепление

Str. pyogenes наблюдалось на фотополимерном материале «Graphy». Среднее значение адгезии через шесть часов инкубации составило 1,185.

Для материала «Zendura» результаты были иными. Этот полимер, предназначенный для вакуумного термоформования, демонстрирует значительно более слабую адгезию изучаемых микроорганизмов. Среднее значение через три часа составило 0,517. Вероятно, это связано с гладкостью его поверхности либо со спецификой химической структуры.

Высокий показатель адгезии у материала «Graphy», вероятно, связан с особенностями микрорельефа, который формируется в процессе 3D-печати (Рисунок 52, 53). Материал «Zendura» представляется более подходящим для ортодонтической практики из-за его устойчивости к прикреплению патогенных микроорганизмов, в то время как «Graphy» может увеличивать риск бактериальной колонизации [3].

На способность микробных клеток удерживаться на поверхности заметно влияют два параметра, степень водоотталкивающих свойств поверхности и особенности мелкого рельефа; при меньшем показателе гидрофобности адгезия снижается. Для «Graphy» зафиксирован уровень гидрофобности 82°, тогда как у «Biolon» он составляет 68°, а на «Graphy» закрепление микроорганизмов на 30,0 % интенсивнее [3].

Сопоставление «Graphy» и «Duran» выявляет связь между рельефом поверхности и закреплением микробов, для «Graphy» зафиксировано 2,1 мкм, тогда как у «Duran» показатель равен 0,8 мкм. Более выраженная шероховатость увеличивает площадь соприкосновения образца с микробной средой, усиливая адгезию микроорганизмов к поверхности. Данные о гидрофобности и шероховатости были предоставлены изготовителями материалов [3].

Для *S. aureus* зафиксирована не локальная, а равномерно выраженная адгезивная активность на всех проверенных материалах; через 6 часов средние показатели составили 0,843 для «Graphy», 0,726 для «Duran», 0,598 для «Biolon» и 0,547 для «Zendura». Для *C. Krusei* иная картина, прикрепление к поверхности заметно варьирует по типу материала, поскольку через 6 часов значение достигает

1,046 на «Graphy» и 0,571 на «Biolon». Исходя из этого с клинической точки зрения «Zendura» представляется более подходящим материалом для изготовления элайнеров, на изделиях из него биоплёнки формируются на 40–50,0 % реже, чем на сопоставимых изделиях из «Graphy» (Рисунок 56, 57) [3].

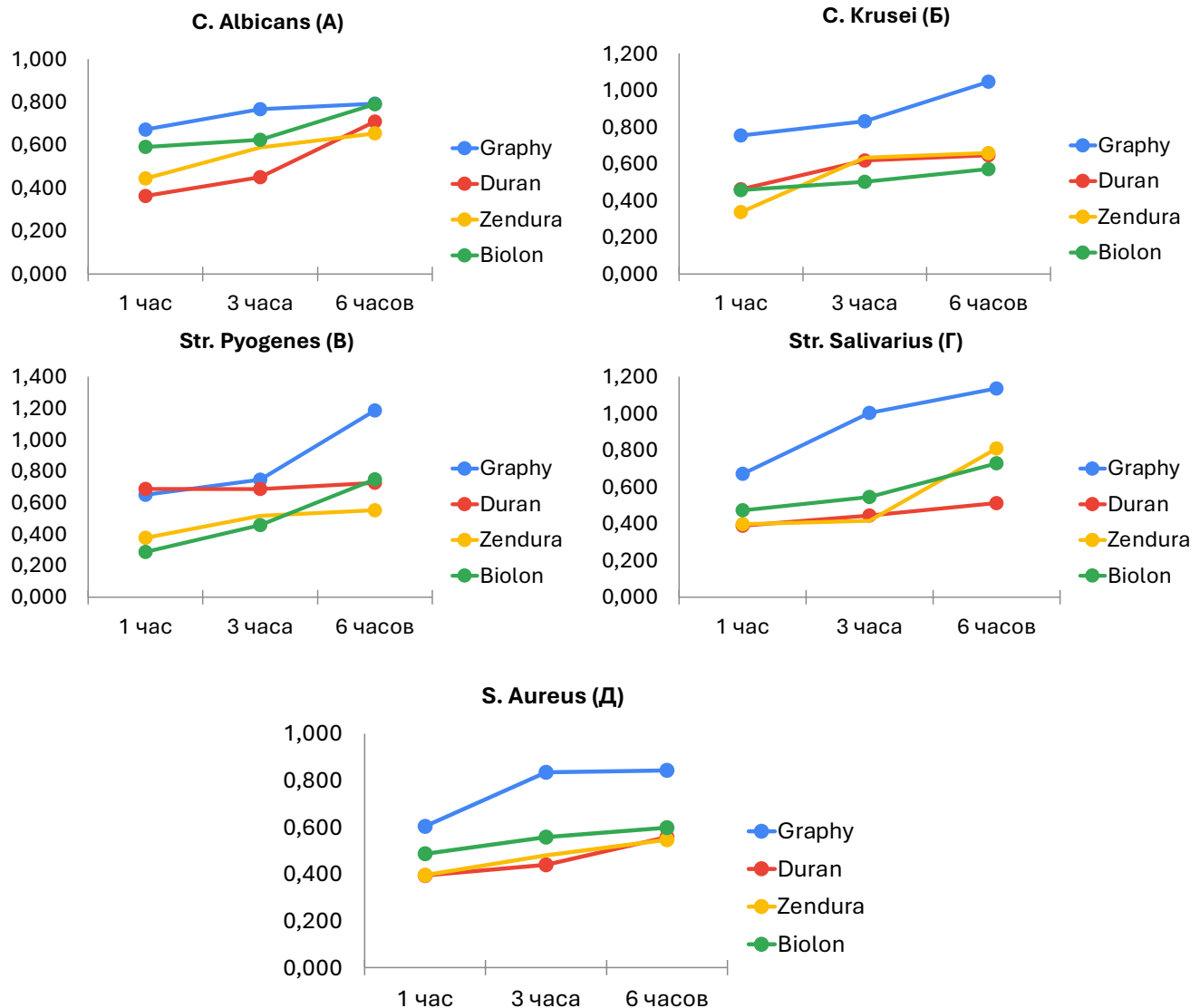


Рисунок 56 - Графическое выражение значения адгезивной активности различных видов микроорганизмов к изучаемым материалам

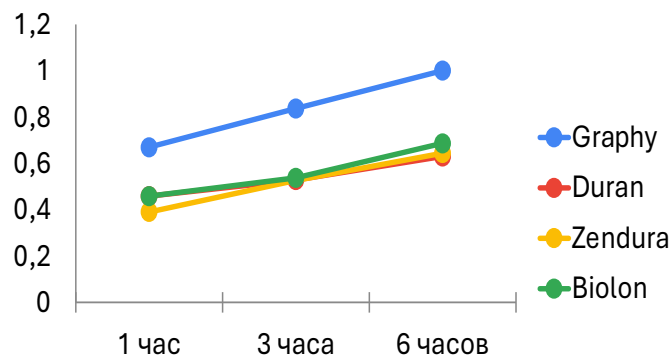


Рисунок 57 - Графическое выражение среднего значения адгезивной активности всех видов микроорганизмов к изучаемым материалам

Результаты проведённого исследования показывают, что на поверхности «Graphy» микроорганизмы закрепляются заметно быстрее. Такую разницу объясняет сочетание водоотталкивающих свойств материала и особенностей его микрорельефа. У «Zendura» картина иная, присоединение микроорганизмов здесь идёт медленнее, поэтому материал подходит пациентам с повышенной вероятностью воспалительных заболеваний ротовой полости. В большинстве клинических ситуаций приоритет отдают «Zendura», поскольку поверхность «Graphy» отличается усиленной адгезией, что повышает вероятность более быстрого биоплёнкообразования и последующего развития патологических изменений. Установленная видовая специфичность микроорганизмов требует подбора материала в индивидуальном порядке и усиливает запрос на дальнейшее изучение физико-механических свойств ортодонтических материалов и поиск способов уменьшить взаимодействие материала с микробиотой полости рта [3, 66].

3.4. Результаты физико-механических исследований конструкционных материалов, используемых в изготовлении элайнеров

Программа испытаний физико-механических характеристик конструкционных материалов для изготовления элайнеров включала определение предела прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве и модуля упругости.

Объектами испытаний послужили два типа материала: «Zendura» (Zendura Dental, США) (Рисунок 14) - материал 1 и «Graphy Direct Aligner» (Graphy Aligners, Республика Корея) (Рисунок 13) – материал 2. Материалы отобраны для исследования из-за различий в технологиях изготовления, при этом «Zendura» ранее продемонстрировал минимальную скорость адгезии микроорганизмов среди тестируемых конструкционных материалов для элайнеров.

Ввиду нестандартных геометрических параметров образцов, методика испытаний базировалась на адаптации положений стандартов ГОСТ и ASTM, регламентирующих требования к полимерным материала.

Испытания на одноосное растяжение проводились на образцах в форме «лопаток» в количестве 5 штук. Перед тестированием все образцы прошли визуальный контроль на отсутствие дефектов. Геометрия образцов была адаптирована под требования стандартов ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012) и ASTM D638 со следующими параметрам:

Материал «Zendura»: общая длина - 75 мм; длина узкой части - $12,0 \pm 0,5$ мм; ширина узкой части - $4,0 \pm 0,2$ мм; толщина - $0,75 \pm 0,2$ мм.;

Материал «Graphy»: общая длина - 75 мм; длина узкой части - $12,0 \pm 0,5$ мм; ширина узкой части - $4,0 \pm 0,2$ мм; толщина - $0,85 \pm 0,5$ мм.

Испытания проводились на универсальной испытательной машине «Shimadzu AG-Xplus-0.5», оснащенной термостатирующей камерой «TCL-N-P» (Рисунок 58). Образец фиксировался в захватах установки (Рисунок 59), после чего подвергался одноосному растяжению вдоль главной продольной оси с постоянной скоростью 1 мм/мин.



Рисунок 58 - Универсальная испытательная машина «Shimadzu AG-Xplus-0.5»
(Shimadzu, Япония)

Данный скоростной режим был выбран как наиболее характерный для исследования полимерных материалов подобного класса. В процессе нагружения с помощью датчиков силы и экстензометра непрерывно регистрировались прикладываемая нагрузка и соответствующее удлинение расчетной части образца.

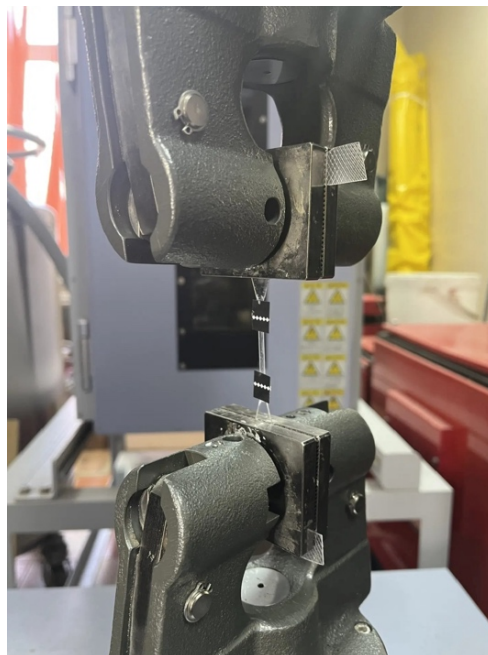


Рисунок 59 - Образец материала в захватах универсальной испытательной машине
«Shimadzu AG-Xplus-0.5»

Значения прочности при разрыве и модуля упругости составляют $23,1 \pm 4,9$ МПа и 698 ± 79 МПа для материала «Zendura» (Таблица 17) и $22,7 \pm 7,5$ МПа и 391 ± 20 МПа для материала «Graphy» (Таблица 18), соответственно.

Таблица 17 - Результаты испытаний на растяжение конструкционного материала «Zendura»

№ образца	h, мм	b, мм	E, МПа	σ_{pp} , МПа	ε_{pp} , %
1	0,77	4,51	780	25,9	116
2	0,76	4,77	741	21,6	104
3	0,76	4,43	675	20,8	102
4	0,77	4,06	677	24,9	107
5	0,75	4,16	616	26,3	146
Средний	0,76	4,39	698	23,1	115
Стандартное отклонение	0,04	0,28	64	4,0	18
Погрешность	0,04	0,35	79	4,9	23

Примечание - h - средняя толщина рабочей (узкой) части образца, мм; b - средняя ширина рабочей (узкой) части образца, мм; σ_{pp} - прочность при разрыве, МПа; ε_{pp} - относительное удлинение при разрыве, %; E - модуль упругости при растяжении, МПа

Таблица 18 - Результаты испытаний на растяжение конструкционного материала «Graphy»

№ образца	h, мм	b, мм	E, МПа	σ_{pp}, МПа	ε_{pp}, %
1	0,86	4,81	372	28,0	95,5
2	0,91	4,68	383	12,9	21,6
3	0,83	4,61	406	23,9	39,3
4	0,86	4,78	410	21,8	55,6
5	0,85	4,58	383	27,1	42,2
Средний	0,86	4,69	391	22,7	50,8
Стандартное отклонение	0,03	0,10	16	6,0	27,8
Погрешность	0,04	0,12	20	7,5	34,5

Примечание - h - средняя толщина рабочей (узкой) части образца, мм; b - средняя ширина рабочей (узкой) части образца, мм; σ_{pp} - прочность при разрыве, МПа; ε_{pp} - относительное удлинение при разрыве, %; E - модуль упругости при растяжении, МПа

Деформационные кривые напряжение-перемещение, построенные для образцов материала «Zendura» и образцов материала «Graphy» представлены на рисунке 60 и 61, соответственно.

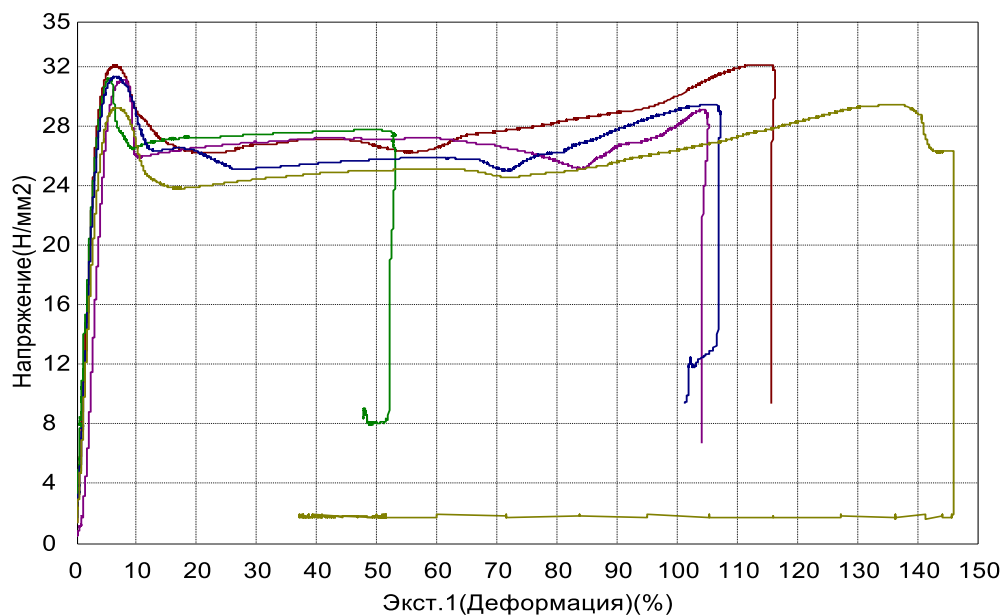


Рисунок 60 - Деформационные кривые образцов материала «Zendura»

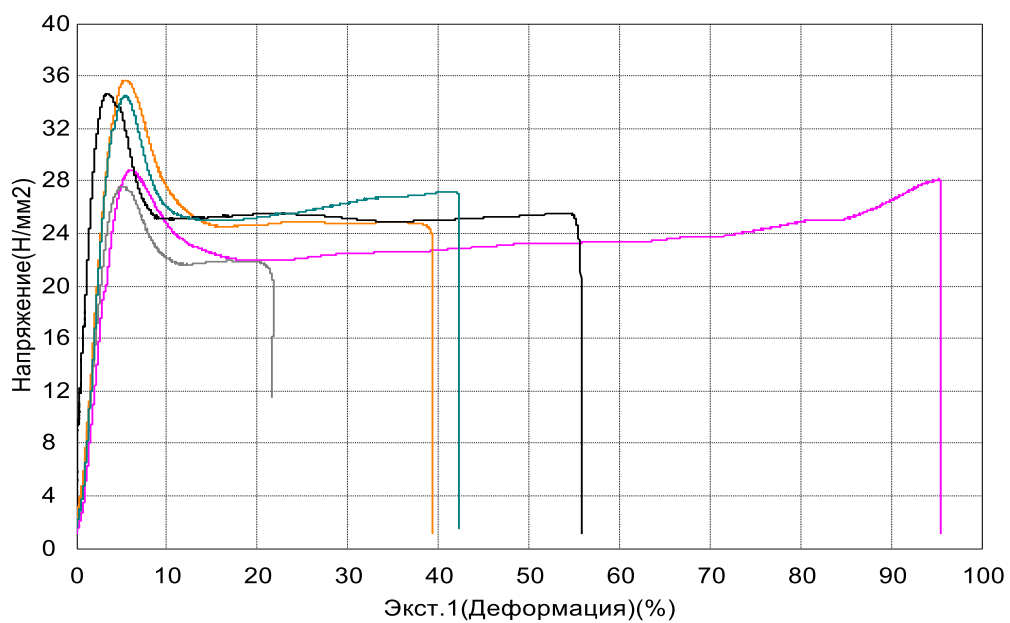


Рисунок 61 - Деформационные кривые образцов материала «Graphy»

Образцы исследуемого материала разрываются при значениях деформации $115 \pm 23,0 \%$ для материала «Zendura» и $50,8 \pm 34,5 \%$ для материала «Graphy». Вид образца после испытания на растяжение приведен на рисунках 62 и 63.



Рисунок 62 - Образцы материала «Zendura» после испытаний на растяжение

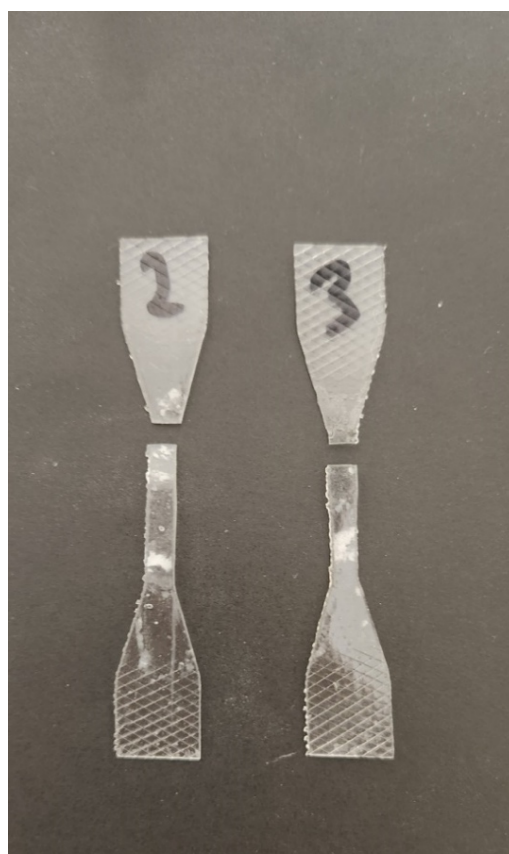


Рисунок 63 - Образцы материала «Graphy» после испытаний на растяжение

Исследование физико-механических характеристик разработанных материалов при трехточечном изгибе проводилось на универсальной испытательной машине «Shimadzu AG-Xplus-0.5», оснащенной термостатирующей камерой «TCL-N-P». Методика испытаний была адаптирована под требования стандартов ГОСТ 31572-2012 (ISO 1567:1999) и ASTM D790 с учетом нестандартной толщины исследуемых образцов. Для эксперимента использовались по 5 образцов в форме пластин (длина - $50,8 \pm 0,5$ мм, ширина - $12,7 \pm 0,1$ мм, толщина - $0,75 \pm 0,1$ мм). Перед испытаниями проводился контроль линейных размеров образцов штангенциркулем, а также визуальная оценка их целостности и отсутствия дефектов. Предварительная подготовка заключалась в выдержке образцов в водной среде при температуре $(37 \pm 1) ^\circ\text{C}$ в течение (50 ± 1) часа. Тестирование проводилось при расстоянии между опорами 27,72 мм со скоростью деформирования 0,8 мм/мин.

Вид образцов на опорах устройства во время испытаний на трехточечный изгиб приведен на рисунке 64.

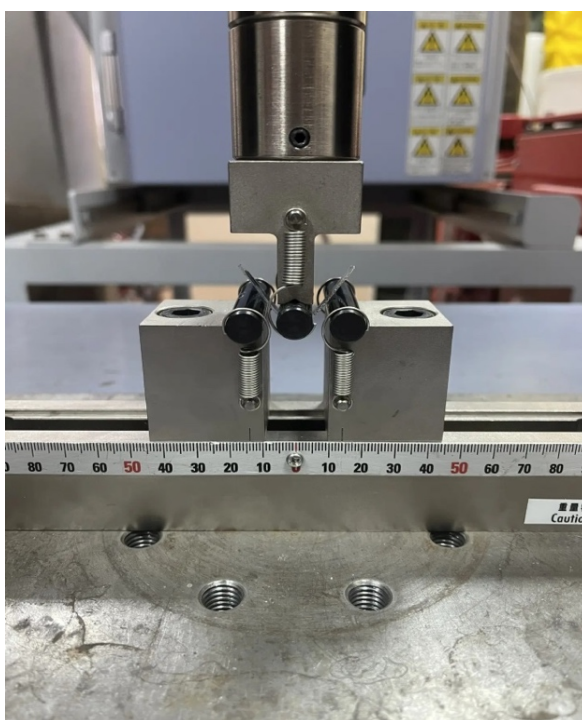


Рисунок 64 - Вид оснастки универсальной испытательной машине «Shimadzu AG-Xplus-0.5» с закрепленным образцом для испытаний на трёхточечный изгиб

В ходе проведенной работы, была получена диаграмма зависимости силы нагружения от перемещения. Графические деформационные кривые нагрузка-перемещение, построенные для образцов «Zendura» и образцов материала «Graphy» представлены на рисунках 65 и 66, соответственно.

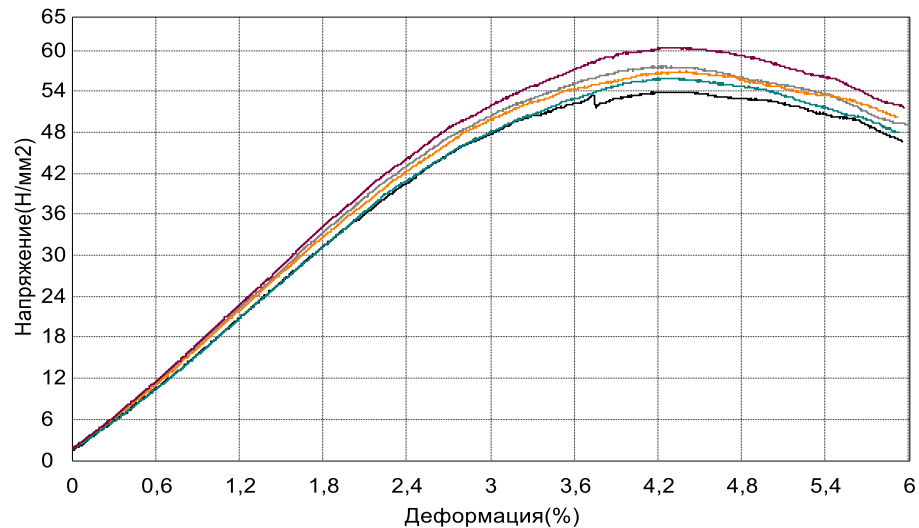


Рисунок 65 - Деформационные кривые образцов конструкционного материала «Zendura» при изгибе

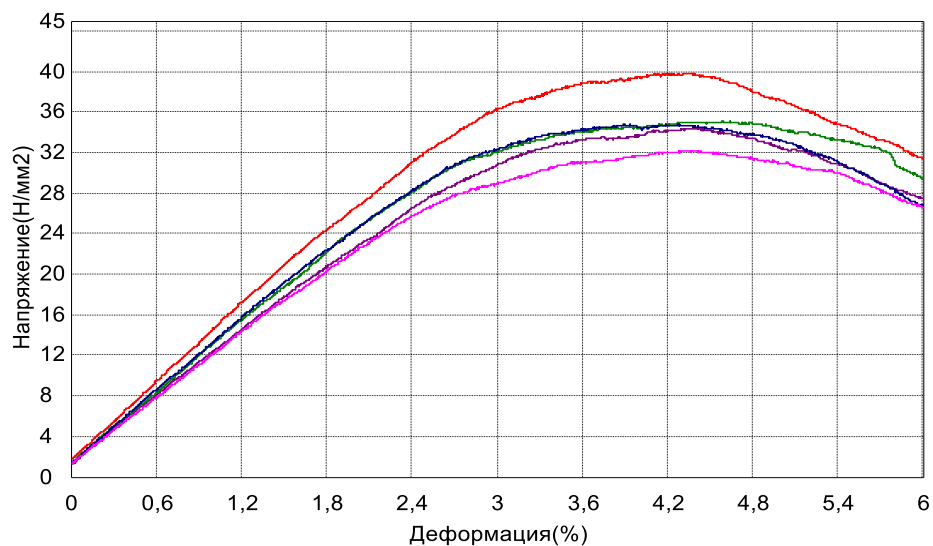


Рисунок 66 - Деформационные кривые образцов конструкционного материала «Graphy» при изгибе

В таблицах 19 и 20, приведены средние значения результатов испытаний на трехточечный изгиб.

Таблица 19 - Результаты испытаний на трёхточечный изгиб образцов конструкционного материала «Zendura»

№ образца	h, мм	b, мм	E, МПа
1	0,77	4,70	1562
2	0,76	4,71	1552
3	0,76	5,15	1525
4	0,76	4,78	1433
5	0,77	4,97	1577
Средний	0,76	4,86	1530
Стандартное отклонение	0,01	0,19	58
Погрешность	0,01	0,24	72

Таблица 20 - Результаты испытаний на трёхточечный изгиб образцов конструкционного материала «Graphy»

№ образца	h, мм	b, мм	E, МПа
1	0,83	5,02	1232
2	0,84	4,89	1091
3	0,82	4,89	1167
4	0,82	4,82	1198
5	0,82	4,98	1208
Средний	0,83	4,92	1179
Стандартное отклонение	0,01	0,08	54
Погрешность	0,01	0,10	68

Примечание - h - толщина образца, усредненная по трем измерениям, мм; b - ширина образца, усредненная по трем измерениям, м; E - модуль упругости при изгибе, Мпа

Были посчитаны значение модуля упругости материала, усредненное по 5 образцам. Для материала «Zendura» он составил (1530 ± 72) МПа, для материала «Graphy» - (1179 ± 68) МПа.

У исследуемых материалов не производился расчет прочности при изгибе, поскольку образцы не разрушаются во время испытаний.

В ходе исследований было установлено, что при испытаниях на изгиб образцы исследуемого материала ведут себя схоже: они подвергаются упругим деформациям. Дальнейшие испытания в этом направлении не дают дополнительной информации о свойствах материалов. Сравнительный анализ физико-механических характеристик образцов показал значительные различия между конструкционным материалом для термоформования элайнеров «Zendura» и материалом для 3D-печати «Graphy». Это связано с их разными структурными особенностями.

По сравнению с «Graphy» материал «Zendura», выстроенный как многослойная система типа «сэндвич», показывает более высокие жесткость и пластичность. При растяжении его средний модуль упругости достигает 698 ± 79 МПа, а при изгибе – 1530 ± 72 МПа. Причина в том, что наружный жесткий слой принимает на себя большую часть внешней нагрузки. Показатель относительного удлинения при разрыве у «Zendura» равен $115,0 \pm 23,0$ %, тогда как у «Graphy» он составляет $50,8 \pm 34,5$ %, то есть более чем вдвое. Разрыв между числами связан с работой внутренней пленки, выполняющей демпфирующую функцию, она не дает магистральным трещинам быстро распространяться в жестком каркасе и тем самым добавляет материалу заметный запас вязкости.

При проведении испытаний обнаружили заметное расхождение между полученными значениями, показатель рассеяния достигал 40,0 %, а появление данного расхождения объясняется перечисленными ниже причинами.

Причина разброса результатов кроется в геометрии тонкого образца, при общей толщине 0,75 мм даже едва заметное смещение соотношения между более жестким и более мягким слоями способно заметно изменить конечные механические характеристики. На стадии получения материала такая

неравномерность по толщине служит главным источником ошибки, поэтому она задает большую часть отклонений. Не меньшее место занимает и прочность межслоевой связи. При ослаблении адгезии в отдельных зонах при растяжении возникает раннее расслоение, то есть деламинация (отслоение), а затем растет разброс данных. Дополнительные искажения дает и подготовка малых образцов. По кромкам среза появляются мельчайшие дефекты, а в многослойных материалах они переходят в участки локального роста напряжения. Из-за этого отдельные образцы разрушаются раньше ожидаемого срока, и итоговая статистическая погрешность увеличивается.

При проектировании элайнеров наибольшее значение придают «Zendura» с составной структурой, такой вариант одновременно дает каркасу высокую жесткость и более высокую сопротивляемость разрыву. Чтобы при серийном выпуске свойства не расходились от партии к партии, нужно отслеживать одинаковую толщину каждого слоя и надежное сцепление между ними.

3.5. Результаты разработки способа лечения зубочелюстных аномалий с виртуальным 3D-моделированием зоны патологического очага в структуре элайнера

Когда эмалевый слой остается интактным, элайнеры дают выраженный результат при устранении отклонений в расположении отдельных зубов; при этом в клинической практике нередко выявляют комбинированное нарушение зубочелюстной системы, связанное с деминерализацией эмали [26].

В сфере ортодонтического лечения цифровые решения сегодня занимают одно из ведущих направлений развития, они формируют базу для появления более конкурентоспособных схем терапии, в том числе подходов с применением элайнеров. Использование элайнеров в такой практике можно считать оправданным и необходимым, поскольку изготовление по цифровому протоколу дает высокую точность, позволяет учитывать индивидуальные особенности пациента и тем самым повышает качество лечения.

В ортодонтической практике объединение двух разнонаправленных лечебных методик в пределах одной конструкции приобретает все большее значение. Для сочетанной патологии на сегодняшний день единого универсального способа терапии не выработано, а создание новых схем лечения по-прежнему опирается на дальнейшие исследования и последующее внедрение в практику. При первичном устранении кариеса в форме белого мелового пятна, а затем коррекции аномального положения отдельных зубов суммарный срок лечения возрастает [26].

Анализ отечественной и зарубежной литературы, размещённой в научных базах данных («Scopus», «PubMed», «E-Library»), а также систематизация результатов ортодонтического лечения показывают, что в 80 % случаев при обращении за ортодонтической помощью выявляются дефекты твёрдых тканей зубов, требующие медицинского вмешательства. Возникновению очаговой деминерализации ещё до начала ортодонтического лечения способствуют особенности современного образа жизни, характера питания и недостаточная осведомлённость о важности гигиены полости рта для сохранения стоматологического здоровья [11, 19, 48].

Исследование направлено на совершенствование конструктивных характеристик элайнеров, обладающих целенаправленным профилактическим и терапевтическим эффектами, что позволит повысить результативность ортодонтического лечения и сократить длительность терапии очаговой деминерализации [41].

В качестве гипотезы для решения поставленной задачи предложена разработка конструкционных элементов элайнеров в виде микрорезервуаров для локального депонирования реминерализующих препаратов, что обеспечит одновременную коррекцию зубочелюстных аномалий и профилактику/лечение очаговой деминерализации [41].

Для практической реализации поставленной задачи проводилось математическое моделирование очагов поражения в цифровом виде с предварительной оценкой в ходе клинического приёма. Предложенная технология изготовления элайнеров для коррекции аномалий расположения отдельных зубов

при поражении твёрдых тканей представляет собой инновационный метод, получивший правовую защиту в виде патента на интеллектуальную собственность (№ 2815154 от 11. 03. 2024 г.) [41].

Перед применением цифрового протокола осуществляется идентификация патологического очага путём визуализации повреждённых слоёв эмали (Рисунок 67) с последующей фиксацией контуров очага поражения с применением композитной накладки (Рисунок 68) [41].

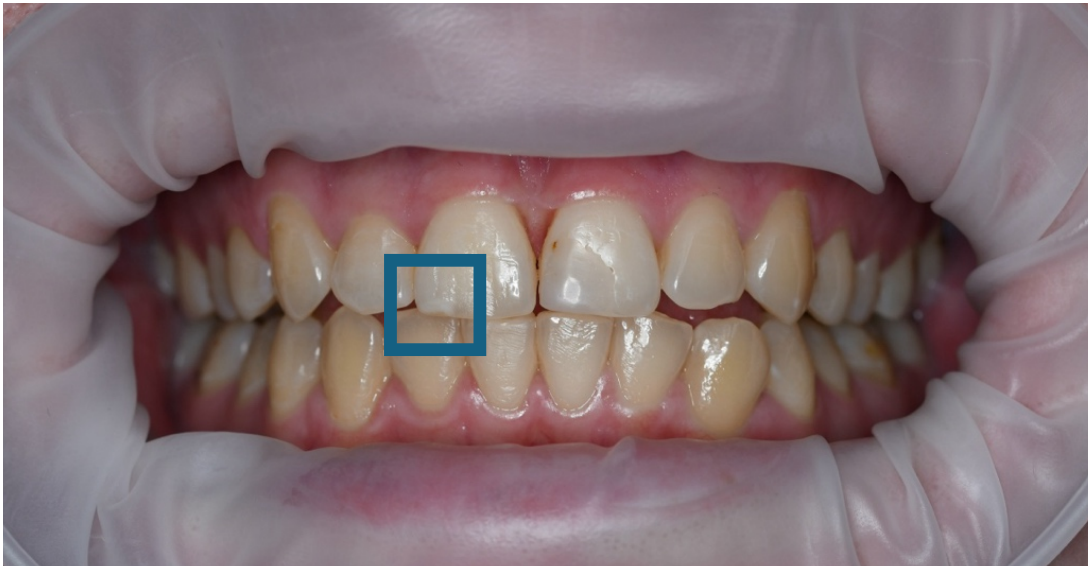


Рисунок 67 - Идентификация патологического очага

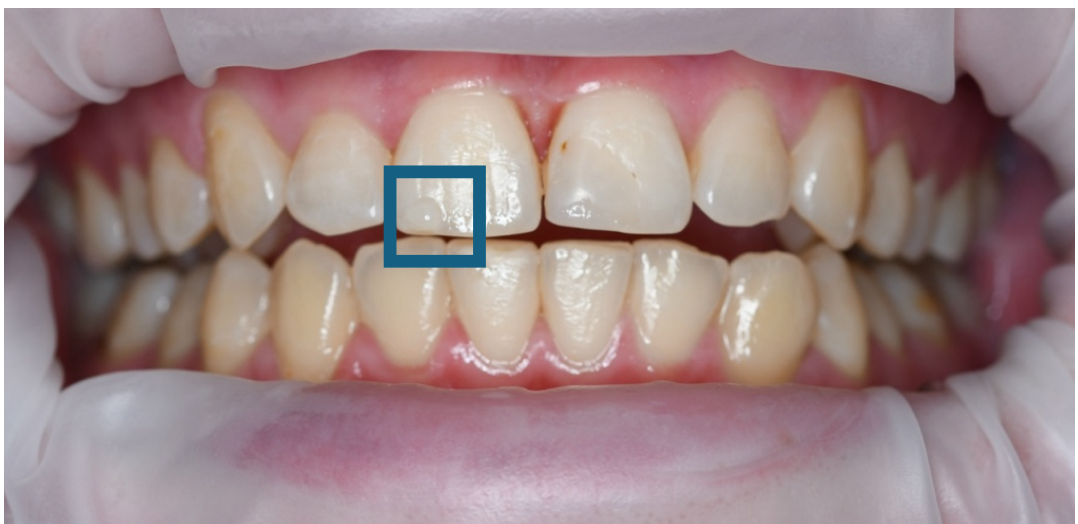


Рисунок 68 - Фиксация контуров очага с применением восковой композиции

Затем выполняется интраоральное 3D-сканирование зубного ряда с точностью до 15 микрон, что даёт возможность получить детализированную трёхмерную модель, учитывающую анатомические особенности челюсти, зубов и слизистой оболочки полости рта и чётко отображающую границы и топологическое расположение патологического очага (Рисунок 69) [41].

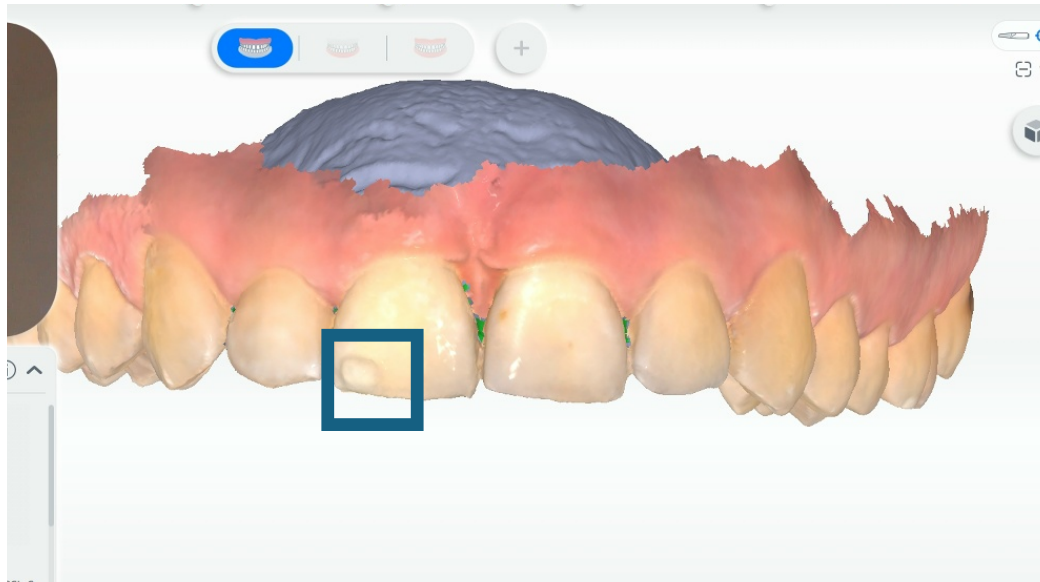


Рисунок 69 - Интраоральное сканирование зубных рядов пациента

Полученная виртуальная модель загружается в программное обеспечение для 3D-моделирования «Autodesk Meshmixer», где проводится гибридное параметрическое моделирование каждого патологического очага с учётом границ, определённых до 3D-сканирования. Моделирование включает размещение шаров диаметром, соответствующим 70,0 % максимального размера основного действующего вещества препарата для реминерализации эмали, с однослойным заполнением каждого патологического очага (Рисунок 70) [41].

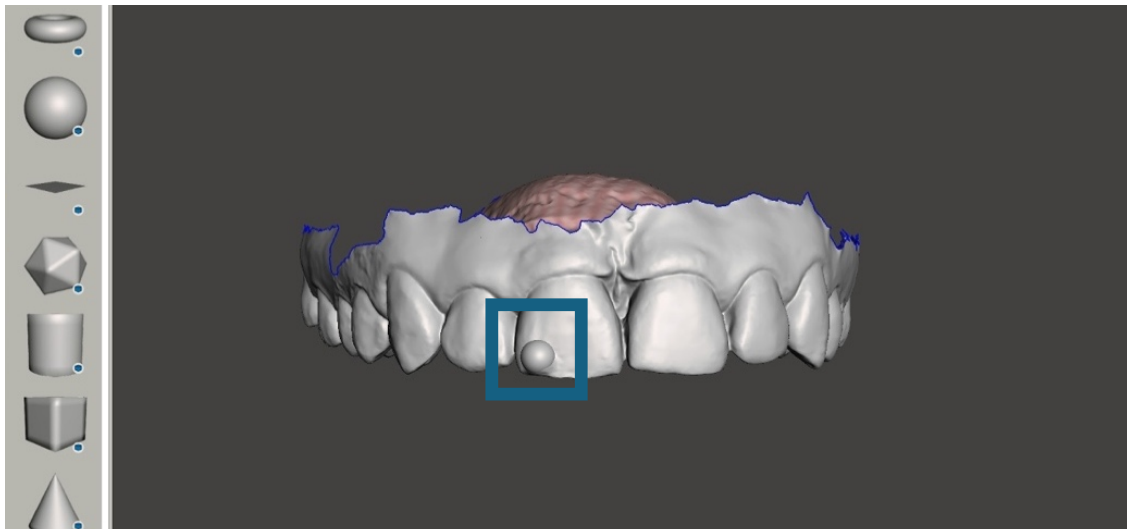


Рисунок 70 - 3D-моделирование патологического очага

Далее выполняется виртуальное объединение трёхмерной модели зубного ряда и размещённых в ней шаров, что приводит к формированию модели челюсти с выпуклостями в области патологических очагов. После этого с помощью программного обеспечения «Maestro 3D Dental Studio» проводится компьютерное моделирование этапов ортодонтического лечения для виртуального перемещения зубов (Рисунок 71) [41].

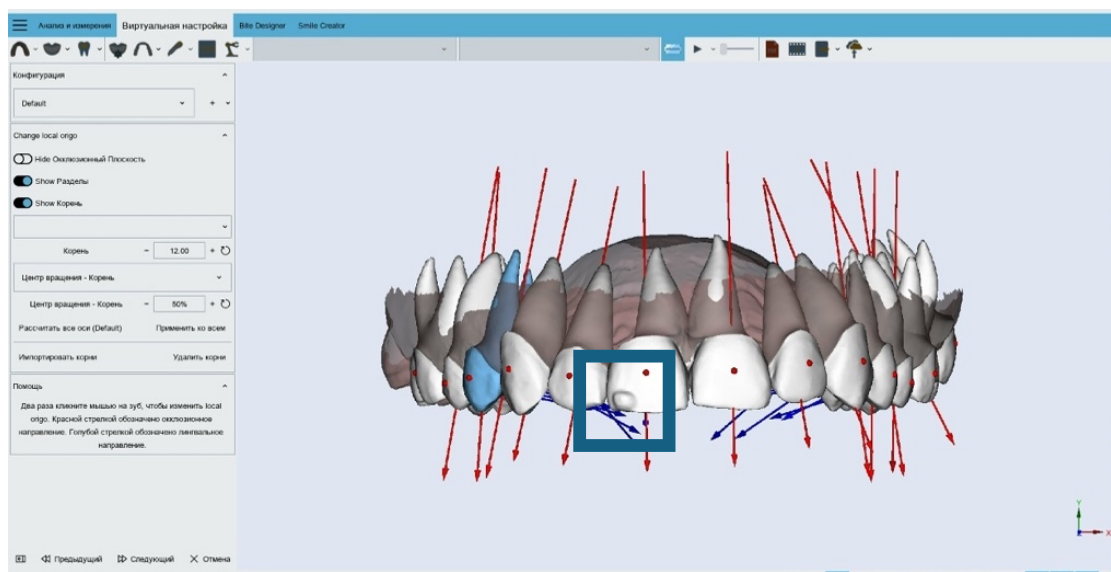


Рисунок 71 - Виртуальное моделирование этапов ортодонтического лечения

Затем осуществляется 3D-печать полученных моделей челюстей из фотополимерной смолы. С применением метода вакуумного формования из эластомерного термопластичного полиуретантерефталата (толщиной 0,75 мм) и на основе напечатанных макетов челюстей создаётся серия усовершенствованных элайнеров (Рисунок 72) [41].



Рисунок 72 - Зуботехнический этап изготовления усовершенствованного элайнера

Сначала элайнеры проходят этапы шлифования и последующей полировки. Затем в области каждого поражённого участка формируют микрорезервуары, по ним подводят средство с реминерализующим действием для эмали. Во время посещения клиники полости наполняют препаратом для восстановления эмалевой структуры [41].

Создание внутренних полостей в конструкции элайнера по цифровой модели дает возможность адресно подводить реминерализующие средства к зоне патологического очага и выступает действенным способом коррекции отклонений в расположении зубов и повреждений твердых зубных тканей [41].

В исследовании предложена иная схема клинического сопровождения пациентов, проходящих ортодонтическую терапию с использованием модернизированных элайнеров. Ее центральная задача состоит в более строгом

надзоре за гигиеническим состоянием ротовой полости. Практическая реализация задачи основана на систематическом врачебном контроле, в ходе которого оценивают мягкотканый покров, минерализованные структуры зубов и полноту соблюдения гигиенических рекомендаций. Для числовой оценки допустимо использовать показатели ИГР-У, РМА и ТЭР. Дополнительно для непредвзятой регистрации гигиенического статуса целесообразно задействовать маркеры налёта. Индивидуально подбирают гигиенические средства, ориентируясь на состояние зубной эмали, выраженность деминерализации и пищевые привычки человека. На постоянной основе ведут контроль гигиенического статуса, а сведения заносят в специальные индексы, что позволяет оценивать результативность ухода. Пациентов и обучают верным приёмам ухода за зубным рядом и элайнерами с использованием актуальных средств. Обработка элайнеров выполняется растворами с антисептическим действием, чтобы сдерживать рост микроорганизмов и уменьшать вероятность образования биоплёнки, обладающей патогенными свойствами.

Профилактические меры здесь оправданны, поскольку сама ортодонтическая терапия способна запускать сразу несколько нежелательных процессов. Когда зубы лишаются привычного механизма самоочищения, повседневный уход теряет результативность; на прозрачных капках удерживаются частицы пищи и налёт, что повышает риск кариозного поражения. Одновременно мягкие ткани ротовой полости могут травмироваться, из-за чего возникают эрозии, гингивит либо усиление уже имеющегося воспаления дёсен. Немалое значение имеет и нарушение баланса микробной среды, на поверхности элайнеров скапливаются патогенные микроорганизмы, затем они способны переходить на эмаль и слизистые ткани, усиливая деминерализацию и воспалительный процесс. Картину дополняют стресс, связанный с ортодонтическим воздействием, и изменения микробиоты, на фоне которых местная иммунная защита ослабевает.

Совместное применение более строгого гигиенического режима и антисептического ухода за элайнерами способствует снижению вероятности кариозного поражения и нарастания деминерализованных изменений, делает

воспалительную реакцию слизистой оболочки менее вероятной и повышает удобство ношения для пациента. Одновременно такая тактика усиливает реминерализующее действие, реализуемое через микрорезервуары, и помогает предупреждать бактериальное загрязнение, что в итоге поддерживает состояние полости рта на протяжении всего периода ортодонтической коррекции зубочелюстных аномалий. В дальнейшем клинические исследования позволят определить подходящие схемы использования данной методики и установить её длительную результативность.

3.6. Результаты клинических исследований для разработки методики профилактики побочного действия элайнеров при ортодонтическом лечении

Комплексное клиническое исследование, выполненное в рамках диссертационной работы, было направлено на оценку эффективности элайнеров с резервуарами для направленной доставки реминерализующих веществ в зону поражения эмали.

В данном клиническом испытании для изготовления стандартных элайнеров методом вакуумного термоформования был выбран материал «Zendura». Данный выбор обоснован результатами предшествующих исследований, которые продемонстрировали минимальную адгезию микробиома полости рта к поверхности «Zendura» — это критически важно для снижения риска бактериального загрязнения и прогрессирования деминерализации эмали в процессе ортодонтического лечения.

Материал «Zendura» продемонстрировал хорошие результаты при физико-механических испытаниях. Его прочностные и деформационные характеристики превысили показатели конструкционного материала «Graphy», который используется в технологиях 3D-печати элайнеров. Применение технологии вакуумного термоформования с материалом «Zendura» позволило получить прочную конструкционную основу, которую можно модифицировать в дальнейшем. При этом сохранились клинические преимущества материала. Выбор

технологии и материала стал основой для сравнения эффективности элайнеров с дополнительными резервуарами и без них в плане профилактики и лечения очагов деминерализации эмали зубов.

Для проведения исследования была сформирована выборка из 60 пациентов. В каждой группе оказалось по 20 человек. Пациенты были распределены по трём равнозначным группам с учётом их клинического статуса и терапевтического протокола.

Первая (контрольная) группа объединяла пациентов мужского и женского пола 15-36 лет с клинически подтверждённой аномалией положения отдельных зубов (K07.3), без признаков кариеса в стадии белого мелового пятна (K02.0), общесоматических и стоматологических противопоказаний к ортодонтическому лечению элайнерами. Критериями невключения служили возраст вне диапазона 15-36 лет и наличие кариеса в стадии белого мелового пятна (K02.0). Использование элайнеров ограничено при системных заболеваниях в стадии декомпенсации; при психических расстройствах, затрудняющих выполнение лечебных назначений, соблюдение терапии тоже затруднено; основанием для отказа служат аллергическая непереносимость компонентов элайнеров, острые воспалительные процессы в полости рта, неудовлетворительное состояние гигиены полости рта без улучшения, а еще выраженные нарушения строения челюстей, когда нужна специализированная помощь помимо выравнивания отдельных зубов.

Из исследования исключали участников, которые отказывались подключаться к эксперименту, не придерживались установленного графика использования элайнеров во время ортодонтической терапии, пренебрегали правилами гигиенического обслуживания ортодонтических устройств, либо не представили информированное добровольное согласие. Для данной группы пациентов применяли типовые элайнеры, полученные путем термоформования и лишённые дополнительных резервуаров (Рисунок 73 а, б; 74 а, б). Такая конструкция дала возможность без дополнительных процедур отдельно оценить вклад самой конструкции в сохранность эмали.



Рисунок 73а – Пациент А, 16 лет, группы 1: клинические снимки ДО начала ортодонтического лечения



Рисунок 73б - Пациент А, 16 лет, группы 1: клинические снимки ПОСЛЕ проведенного ортодонтического лечения



Рисунок 74а - Пациент Б, 24 года, группы 1: клинические снимки ДО начала ортодонтического лечения



Рисунок 74б - Пациент Б, 24 года, группы 1: клинические снимки ПОСЛЕ проведенного ортодонтического лечения

Во вторую группу включили мужчин и женщин 15-36 лет, обследование подтвердило аномалию положения отдельных зубов (K07.3) и кариес в стадии

белого мелового пятна (K02.0). Ограничений со стороны общего соматического состояния и стоматологического статуса, делающих невозможной ортодонтическую коррекцию с применением элайнеров, не выявлялось. Не допускались лица в возрасте вне диапазона 15-36 лет и пациенты без кариеса в стадии белого мелового пятна. Основанием для исключения служили декомпенсированные системные заболевания, психические расстройства, аллергия на материалы элайнеров, острые воспалительные заболевания полости рта, неудовлетворительный гигиенический статус, не поддающийся коррекции, и тяжёлые аномалии челюстей, требующие специализированного лечения.

В выборку не включали лиц при отказе от участия в эксперименте, несоблюдении предписанного режима ношения элайнеров в ходе ортодонтического лечения, игнорировании правил гигиенического ухода за ортодонтическими конструкциями либо отсутствии информированного добровольного согласия. Для данных пациентов использовали элайнеры, изготовленные стандартным вакуумным термоформованием. В конструкцию элайнеров встроили специальные полости для накопления лекарственных веществ, рассчитанные на реминерализацию (Рисунок 75 а, б; 76 а, б). Указанная технология служила средством оценки результативности реминерализующей терапии при обычной схеме изготовления.

К отбору в третью группу допускались лица мужского и женского пола в возрасте 15–36 лет. Основанием для такой принадлежности служили клинически подтверждённая аномалия положения отдельных зубов (K07.3) и кариес на стадии белого мелового пятна (K02.0). Общесоматические и стоматологические противопоказания к ортодонтическому лечению элайнерами отсутствовали. Диагноз кариеса в виде белого мелового пятна был верифицирован клинически. Из исследования исключали лиц младше 15 либо старше 36 лет; пациентов со следующими состояниями тоже не допускали, системные заболевания в стадии декомпенсации, усиливающие риск травмирования ротовой полости; психические нарушения, мешающие соблюдению режима терапии; аллергическая непереносимость материалов для изготовления элайнеров; острые воспалительные

процессы ротовой полости; неудовлетворительное гигиеническое состояние ротовой полости, не поддававшееся коррекции; выраженные аномалии челюстей, требовавшие профильного лечения помимо выравнивания каждого зуба.



Рисунок 75а - Пациент В, 20 лет, группы 2: клинические снимки ДО начала ортодонтического лечения



Рисунок 75б - Пациент В, 20 лет, группы 2: клинические снимки ПОСЛЕ проведенного ортодонтического лечения



Рисунок 76а - Пациент Г, 30 лет, группы 2: клинические снимки ДО начала
ортодонтического лечения



Рисунок 76б - Пациент Г, 30 лет, группы 2: клинические снимки ПОСЛЕ
проведенного ортодонтического лечения

К участию не допускали лиц, заявлявших об отказе от эксперимента, не соблюдавших установленный порядок ношения элайнеров во время ортодонтического лечения, нарушавших правила гигиенического ухода за ортодонтическими конструкциями либо не предоставлявших информированное добровольное согласие. Лечебное воздействие у пациентов проводили с

использованием элайнеров, изготовленных методом стандартного термоформования. Модифицированные элайнеры получили конструктивные элементы, рассчитанные на локальное удержание лекарственного препарата непосредственно в месте патологического очага (Рисунок 78 а, б).

Одновременно для данной категории пациентов был установлен более строгий режим ухода за полостью рта и введены дополнительные варианты антисептической обработки самих кап. Благодаря подобному сочетанию удалось оценить совокупный результат, возникающий при использовании доработанных элайнеров вместе с усиленными гигиеническими и антисептическими мерами. Протокол предусматривал комплексный подход, направленный на минимизацию микробной контаминации, тем самым предотвращая прогрессирование деминерализации и сохранение функциональности элайнеров, и включал следующие мероприятия (Рисунок 77):

1) Усиленная гигиена полости рта:

- Домашняя гигиена 2 раза в день, а также после каждого приёма пищи с помощью низкоабразивной зубной пасты с содержанием фтора более 1000 ppm или гидроксиапатитом кальция, а также с использованием зубной щётки средней степени жесткости.

- Обязательное применение зубной нити и ортодонтических межзубных ёршиков после каждого приёма пищи для очистки труднодоступных зон, а также использование ирригатора с антисептическим раствором 1 раз в сутки для эффективного удаления биоплёнки и остатков пищи.

- Полоскания после каждого приёма пищи кипячёной водой дважды в сутки.

- Профессиональная гигиена каждые 3 месяца с применением ультразвуковой чистки и системы «Air Flow» для удаления пигментированного налёта.

2) Ограничения в питании:

- Минимизация употребления сладких, кислых, газированных напитков, продуктов с высоким содержанием сахаросодержащих, красящих жидкостей.

3) Усиленные антисептические мероприятия по уходу за элайнерами:

- Ежедневная очистка включала промывание под струёй тёплой воды после каждого снятия, чистка мягкой щёткой с низкоабразивным гелем дважды в день с тщательной промывкой.

- Ежедневная дезинфекция (в отличие от стандартного режима «1 раз в неделю»)

- Промывание в специализированных антисептических растворах на 15-20 минут, либо использование растворов на основе хлоргексидина.

- Уход за контейнером: промывание 2 раза в день мягким моющим средством, еженедельная дезинфекция антисептическим раствором, тщательная просушка перед использованием.

- Контроль состояния элайнеров: немедленное обращение к врачу при появлении мутного налёта, пятен, неприятного запаха, регулярная замена элайнеров согласно графику (недопустимо использование повреждённых/помутневших кап).

- Запреты: кипячение элайнеров, использование отбеливающих средств, абразивных паст, спиртосодержащих растворов; хранение - только в вентилируемом контейнере, избегая контакта с солнечным светом.

4) Мониторинг эффективности:

- Оценка состояния эмали каждые 3 месяца.

- Микробиологический контроль бактериальной нагрузки в полости рта.

Целью протокола является обеспечение профилактики прогрессирования деминерализации, снижение риска инфекционных осложнений, сохранение прозрачности и функциональности элайнеров, гарантирование эффективности ортодонтического лечения при наличии локальных участков деминерализации.

Стоит отметить, что для проведения исследования во 2 и 3 группу входили пациенты с уже имеющимися очагами деминерализации в структуре твердых тканей зубов. Данное условие было необходимо для четкого понимания того, как именно и с каким эффектом будет работать реминерализующая терапия в условиях применения элайнеров с дополнительными резервуарами и усиленной гигиеной полости рта и самих кап.

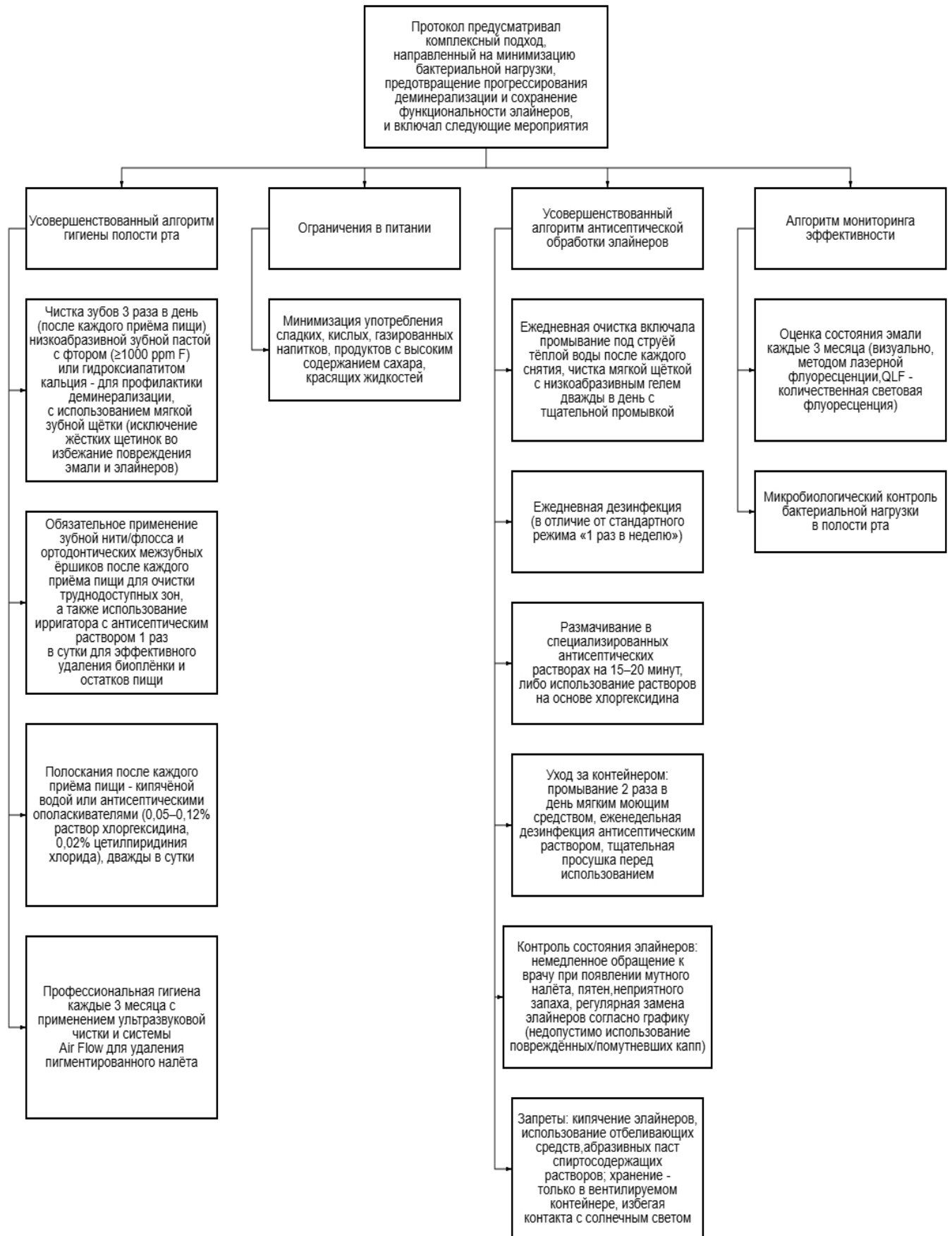


Рисунок 77 - Усовершенствованный алгоритм гигиены полости рта и антисептической обработки элайнеров при ортодонтическом лечении



Рисунок 78а - Пациент Д, 35 лет, группы 3: клинические снимки ДО начала
ортодонтического лечения



Рисунок 78б - Пациент Д, 35 лет, группы 3: клинические снимки ПОСЛЕ
проведенного ортодонтического лечения

Стоит отметить, что реализация данной технологии изготовления усовершенствованных элайнеров может быть применена, если участок

деминерализации возникает в период, непосредственно, самой ортодонтической коррекции.

Методология оценки ключевых показателей включала тест эмалевой резистентности (ТЭР) для количественной оценки устойчивости эмали к кислотному воздействию, площадь очагов деминерализации оценивалась методом цифровой планметрии (в мм² с точностью до 0,01 мм²), индекс гигиены (ИГРУ, Грин–Вермиллион) определялся по стандартной методике для оценки уровня зубного налёта (интерпретация: 0-1,0 - хороший уровень гигиены, 1,1-2,0 - удовлетворительный, >2,0 - неудовлетворительный), индекс воспаления (РМА) оценивал состояние маргинального пародонта по формуле «сумма баллов по степени воспаления / количество зубов × 100%», все измерения проводились двойным слепым методом, сбор и статистическая обработка данных осуществлялись с фиксацией в электронной базе, использовались описательная статистика (M, SD, Me), непараметрические критерии (критерий Краскела-Уоллиса Н для межгруппового сравнения динамики ИГРУ и РМА, U-критерий Манна–Уитни для парных сравнений), корреляционный анализ по Спирмену (rs, p) для выявления взаимосвязей, уровень статистической значимости устанавливался на уровне $p < 0,05$.

Анализ динамики ключевых показателей показал, что в группе 1 (контроль) ТЭР изменился с $M = 3,1 \pm 1,04\%$ (Me = 3%) до $M = 4,3 \pm 1,22\%$ (Me = 4%) с динамикой +38,7 % ($p > 0,05$), в группе 2 ТЭР снизился с $M = 6,3 \pm 1,42\%$ (Me = 6%) до $M = 4,9 \pm 1,18\%$ (Me = 5%) с динамикой - 22,2 % ($p < 0,01$), в группе 3 ТЭР уменьшился с $M = 6,7 \pm 1,56\%$ (Me = 7%) до $M = 4,6 \pm 1,09\%$ (Me = 5%) с динамикой - 31,3 % ($p < 0,001$) (Рисунок 79; Таблица 21).

Площадь очагов деминерализации в группе 2 сократилась с $M = 2,55 \pm 0,89$ мм² (Me = 2,5 мм²) до $M = 1,42 \pm 0,76$ мм² (Me = 1,3 мм²) с динамикой - 44,3% ($p < 0,05$), в группе 3 - с $M = 3,02 \pm 0,98$ мм² (Me = 3 мм²) до $M = 1,18 \pm 0,65$ мм² (Me = 1,1 мм²) с динамикой - 60,9 % ($p < 0,01$) (Рисунок 80; Таблица 22).

Таблица 21 - Динамика теста эмалевой резистентности (ТЭР)

Группа	Начальное значение (M ± SD; Me)	Конечное значение (M ± SD; Me)	Динамика (%)	р- значение
1 (контроль)	3,1 ± 1,04%; 3%	4,3 ± 1,22%; 4%	+38,7	>0,05
2	6,3 ± 1,42%; 6%	4,9 ± 1,18%; 5%	-22,2	<0,01
3	6,7 ± 1,56%; 7%	4,6 ± 1,09%; 5%	-31,3	<0,001

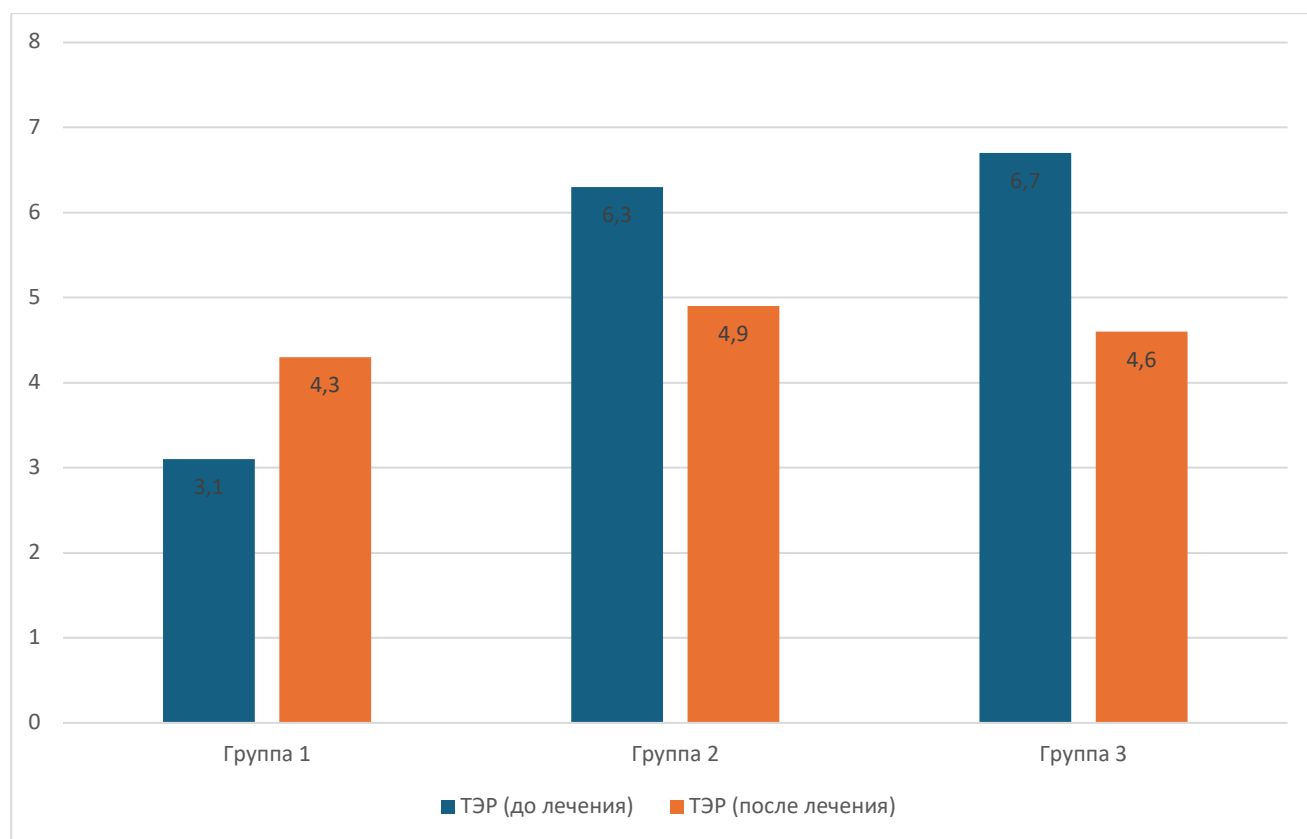


Рисунок 79 - Динамика показателя ТЭР в группах исследования

Таблица 22 - Динамика площади очагов деминерализации

Группа	Начальное значение (M ± SD; Me, мм²)	Конечное значение (M ± SD; Me, мм²)	Динамика (%)	р- значение
2	2,55 ± 0,89; 2,5	1,42 ± 0,76; 1,3	-44,3	<0,05
3	3,02 ± 0,98; 3,0	1,18 ± 0,65; 1,1	-60,9	<0,01

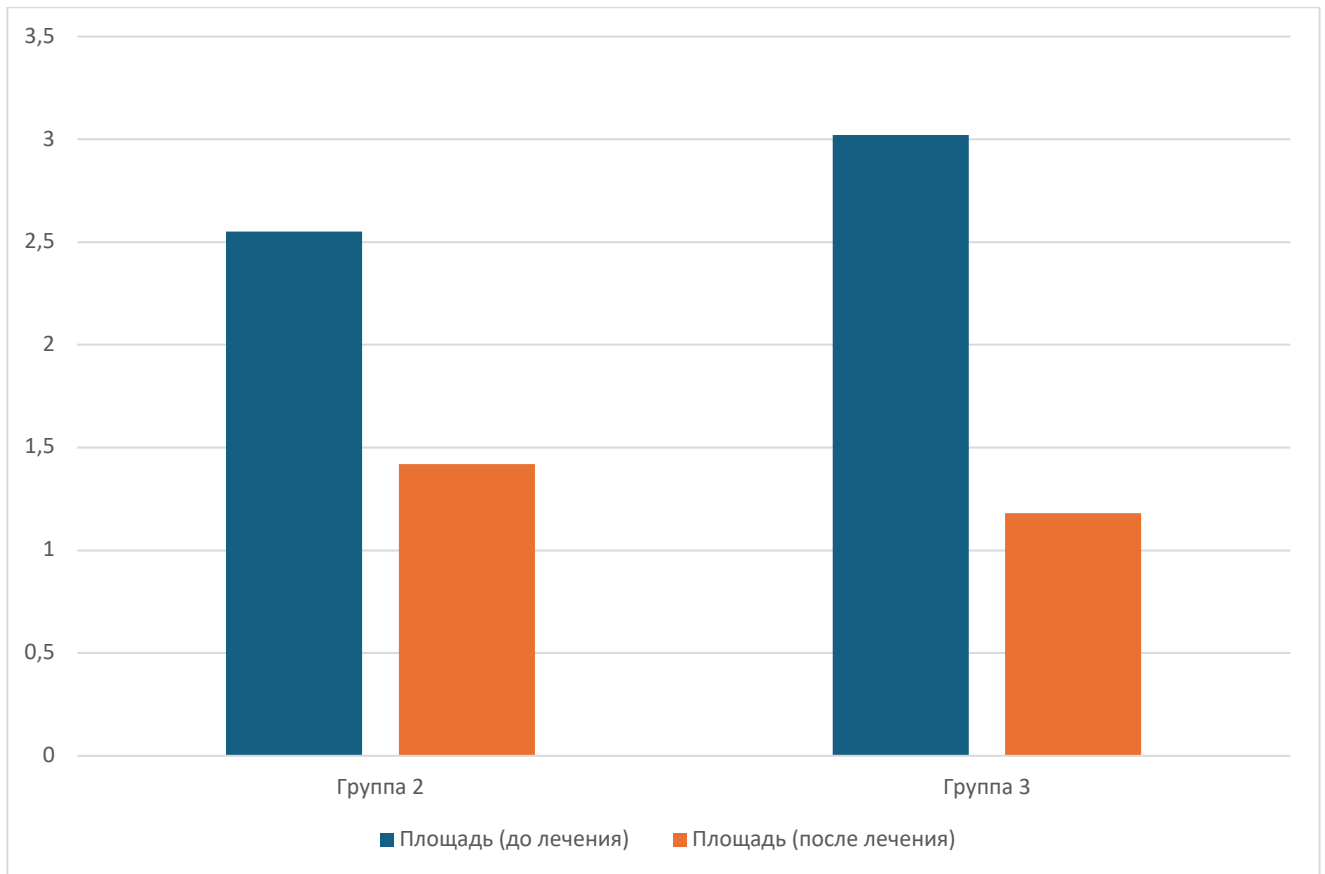


Рисунок 80 - Динамика площади участков деминерализации

Индекс гигиены ИГР-У в группе 1 вырос с $M = 0,90$ ($Me = 0,8$) до $M = 1,14$ ($Me = 1,1$) с динамикой $+26,7\%$ (ухудшение), в группе 2 снизился с $M = 1,5$ ($Me = 1,5$) до $M = 1,46$ ($Me = 1,5$) с динамикой $-2,7\%$ (умеренное улучшение), в группе 3 снизился с $M = 1,49$ ($Me = 1,65$) до $M = 1,45$ ($Me = 1,5$) с динамикой $-2,7\%$ (умеренное улучшение), критерий Краскела-Уоллиса выявил статистическую значимость различий в динамике ИГРУ ($H = 8,72$; $p = 0,013$), парное сравнение (U-критерий) подтвердило превосходство групп 2 и 3 над группой 1 ($p = 0,03$) (Рисунок 81; Таблица 23).

Индекс воспаления РМА в группе 1 увеличился с $M = 30,8$ ($Me = 31$) до $M = 34,6$ ($Me = 35,5$) с динамикой $+12,3\%$, в группе 2 снизился с $M = 35,8$ ($Me = 35$) до $M = 33,3$ ($Me = 34$) с динамикой $-7,0\%$, в группе 3 уменьшился с $M = 37,6$ ($Me = 35,5$) до $M = 32,7$ ($Me = 31$) с динамикой $-13,0\%$, критерий Краскела-Уоллиса показал значимость межгрупповых различий по РМА ($H = 9,54$; $p = 0,008$), парные

сравнения выявили преимущество группы 3 перед группой 1 ($p = 0,02$) и группой 2 ($p = 0,04$) (Рисунок 82; Таблица 24).

Таблица 23 - Динамика индекса гигиены (ИГРУ, Грин–Вермиллион)

Группа	Начальное значение (М; Ме)	Конечное значение (М; Ме)	Динамика (%)	Интерпретация
1 (контроль)	0,90; 0,8	1,14; 1,1	+26,7	Ухудшение гигиены
2	1,5; 1,5	1,46; 1,5	-2,7	Умеренное улучшение
3	1,49; 1,65	1,45; 1,5	-2,7	Умеренное улучшение

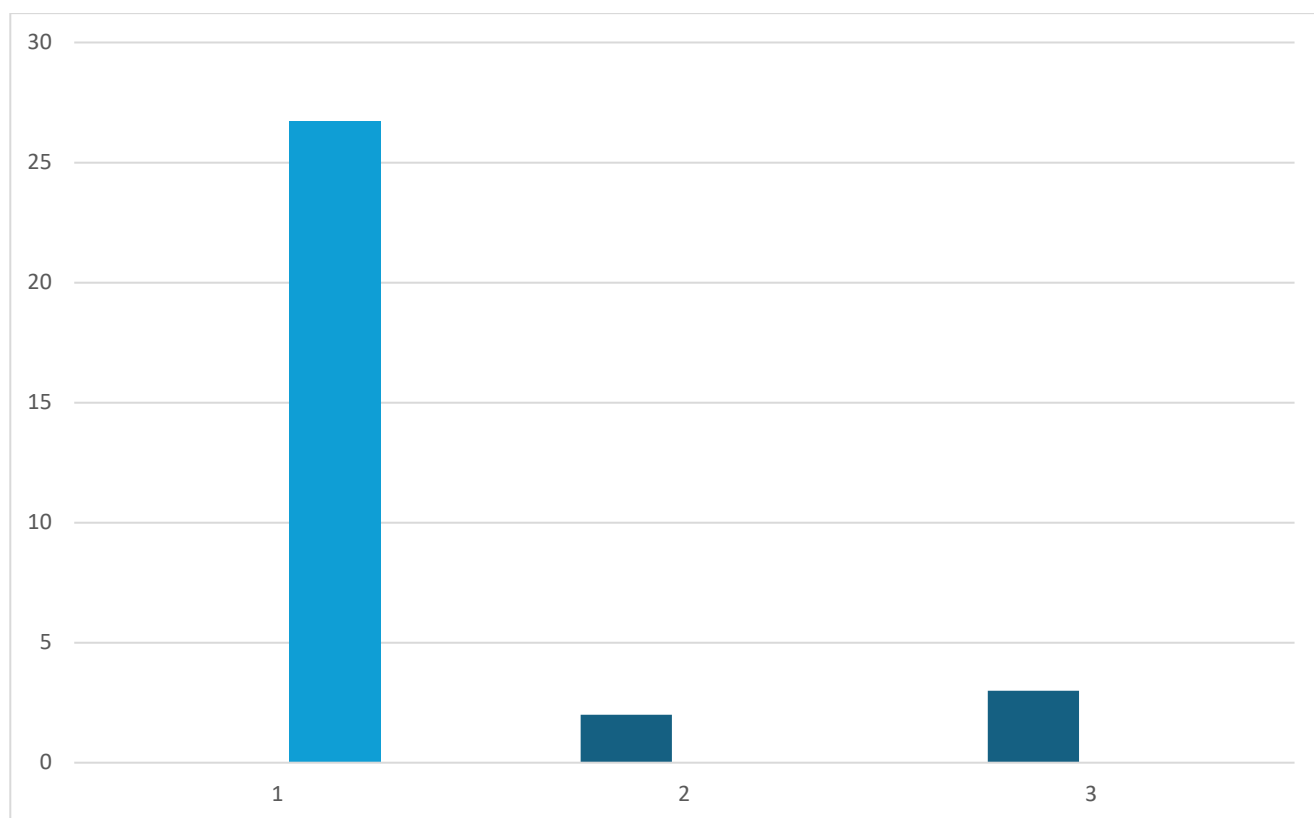


Рисунок 81 - Динамика индекса гигиены (ИГР-У, Грин-Вермиллион)

Таблица 24 - Динамика индекса воспаления (РМА)

Группа	Начальное значение (М; Ме)	Конечное значение (М; Ме)	Динамика (%)	Интерпретация
1 (контроль)	30,8; 31	34,6; 35,5	+12,3	Увеличение воспаления
2	35,8; 35	33,3; 34	-7,0	Снижение воспаления
3	37,6; 35,5	32,7; 31	-13,0	Максимальное улучшение

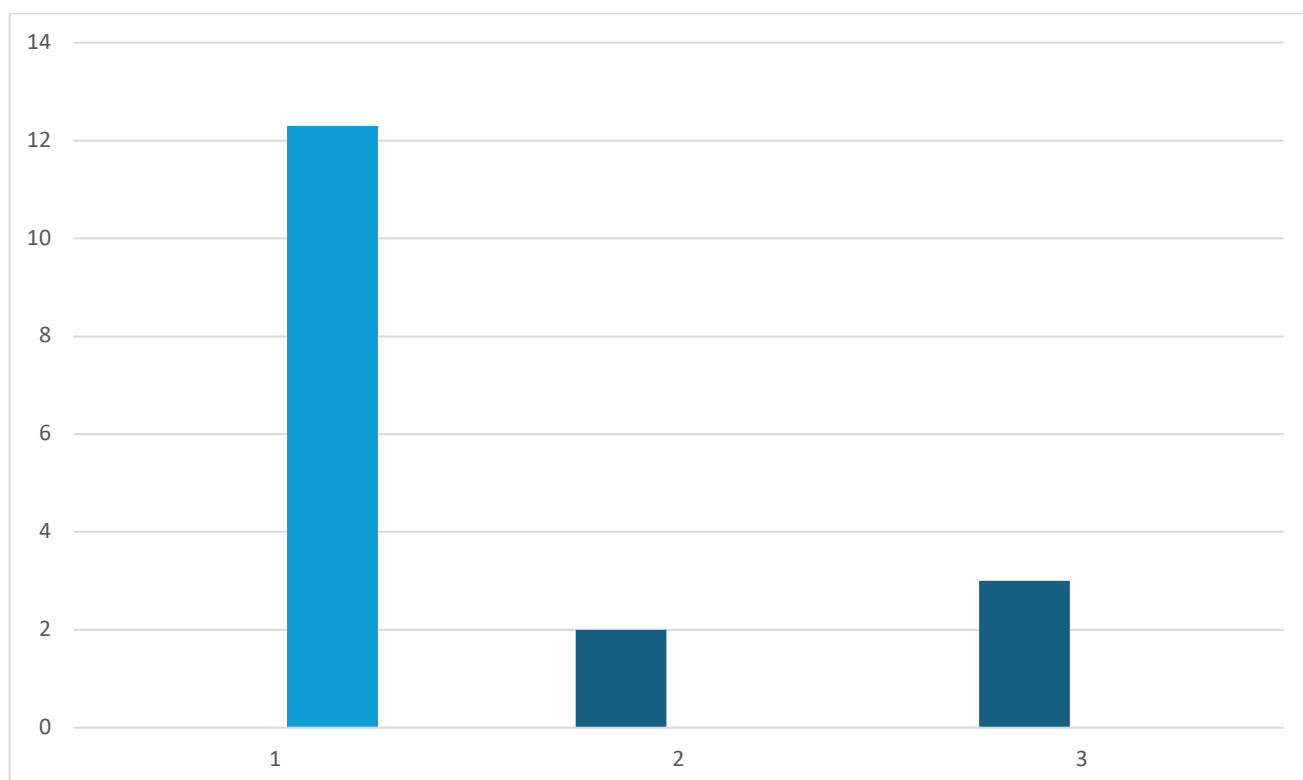


Рисунок 82 - Динамика индекса воспаления (РМА)

Корреляционный анализ выявил умеренную выраженность между исходным ТЭР и площадью деминерализации (группа 2: $r_s = 0,60$, $p = 0,004$; группа 3: $r_s = 0,65$, $p = 0,002$), между динамикой ИГР-У и изменением площади очагов (группа 3:

$r_s = 0,58$, $p = 0,006$), между РМА и площадью деминерализации (группа 1: $r_s = 0,45$, $p = 0,03$; группа 3: $r_s = 0,52$, $p = 0,01$) (Таблица 25).

Таблица 25 - Корреляционные связи

Параметр	Группа	r_s	p - уровень	Интерпретация
Исходный ТЭР в сравнении с площадью деминерализации	2	0,60	0,004	Умеренная корреляция
Исходный ТЭР в сравнении с площадью деминерализации	3	0,65	0,002	Умеренная корреляция
Динамика ИГРУ в сравнении с изменением площади очагов	3	0,58	0,006	Улучшение гигиены → регресс деминерализации
РМА в сравнении с площадью деминерализации	1	0,45	0,03	Воспаление коррелирует с тяжестью деминерализации
РМА в сравнении с площадью деминерализации	3	0,52	0,01	Воспаление коррелирует с тяжестью деминерализации

В рамках проведённого исследования были проанализированы три группы пациентов, получавших различные варианты терапевтического вмешательства для профилактики возникновения деминерализации эмали. Вариант ортодонтического лечения, применяющийся в Группе 1 не позволил предотвратить прогрессирования деминерализации, что сопровождалось, как минимум, ухудшением гигиенического статуса (снижение индексов ИГР-У). Группа 2 продемонстрировала частичное улучшение, где было выявлено снижение показателей ТЭР (теста эмалевой резистентности), умеренное сокращение площади очагов деминерализации, а также улучшение гигиены полости рта, однако динамика оставалась менее

выраженной по сравнению с группой 3. При использовании варианта ортодонтической коррекции, применяемой в Группе 3, результаты показали максимальную положительную динамику, где статистически значимое ($p < 0,05$ по U-критерию Манна–Уитни) выявило снижение площади очагов деминерализации, восстановление резистентности эмали, а также достижение хорошего уровня гигиены (снижение ИГР-У, РМА), что подтверждает эффективность комплексного подхода.

Практическая ценность результатов заключается в возможности минимизировать риск формирования белых меловидных пятен (маркеров начальной деминерализации), а также индивидуализировать терапию с учётом степени деминерализации, уровня гигиены и сопутствующих факторов. Перспективные направления включают расширение выборки для повышения статистической значимости, изучение долгосрочных эффектов, разработку экономических моделей для обоснования внедрения методики в практику, стандартизацию протоколов, интеграцию цифровых технологий (ИИ-анализ изображений). Полученные данные могут быть использованы для создания клинических рекомендаций и образовательных программ.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В современном обществе гармоничная улыбка перестала быть просто эстетическим стандартом, она превратилась в маркер успешности. При этом, по данным ВОЗ, зубочелюстные аномалии встречаются у 80,0 % населения вне зависимости от возраста, половой принадлежности и региона проживания. Это делает исследование в области коррекции аномалий зубочелюстной системы не просто медицинской задачей, а важным шагом в улучшении качества жизни многих людей.

Стоит так же отметить, что в большинстве случаев, при проведении ортодонтической коррекции с помощью съемных или несъемных конструкций, возникают те или иные побочные эффекты, как в структуре эмали, так и непосредственно в окружающих тканях полости рта. Данный факт обуславливает поиск путей решения данной проблемы и усовершенствование существующих алгоритмов ортодонтического лечения.

Основной целью работы явилось повышение эффективности ортодонтического лечения пациентов с аномалиями положения отдельных зубов и снижение риска развития побочных явлений путем разработки и внедрения элайнеров с комбинированным лечебно-профилактическим эффектом.

Для достижения данной цели было проведено комплексное лабораторно-экспериментальное, клиническое, управляемое, с элементами проспективного анализа научное исследование, структура которого включала в себя 3 взаимосвязанных блока с пошаговым решением конкретных задач. Это позволило всесторонне изучить клинические и биомеханические аспекты применения элайнеров.

Первым этапом диссертационного исследования являлся ретроспективный анализ, который распространялся на медицинскую документацию 840 пациентов в

возрасте от 3 до 47 лет, обращавшихся ранее за ортодонтической консультацией. Материалами для изучения и обсуждения послужили медицинские карты ортодонтических пациентов формы № 043-1/у. Карты содержали данные о демографических характеристиках, поставленных диагнозах и проводившемся ортодонтическом лечении пациентов. Кроме того, фиксировались сведения о возникших побочных явлениях в процессе и после проведения ортодонтической коррекции.

По результатам анализа было выявлено, что среди 840 пациентов у 85,1% лиц, участвовавших в исследовании, выявлялись аномалии положения отдельных зубов (K07.3). Среди наблюдений преобладали женщины, а доля пациентов молодого возраста была заметной. Отдельная оценка коморбидности показала, что при аномалиях челюстно-черепных соотношений (K07.1 по МКБ-10) в 89% случаев одновременно фиксировались нарушения положения отдельных зубов (K07.3). Среди пациентов с аномалиями черепно-челюстных соотношений (K07.1) основную часть составляли именно женщины, поэтому можно сделать вывод, что диагностика и выбор методики ортодонтической коррекции требуют дифференцированного подхода.

Результаты проведенного исследования подтверждают данные научной литературы о том, что аномалии положения отдельных зубов (K07.3) являются наиболее распространенной формой зубочелюстных аномалий среди населения вне зависимости от возраста и половой принадлежности (Арзуманян А. Г. с соавт., 2019, Аскарова Н. С. с соавт. 2020)

Так же было определено, что у пациентов с диагнозом K07.3 отмечена выраженная неоднородность показателей охвата лечебными мероприятиями. Наибольшая доля, 81,0 %, пришлась на подростков; в группе 3-6 лет значение было минимальным – 20,0 %. Среди взрослых показатель составил 47,0 %, то есть оставался ниже подросткового уровня, хотя клиническая потребность в помощи была высокой, что согласуется с данными исследования Михайловой А. С. с соавт. 2021. Числовая обработка данных показала, что ведущим вариантом побочного эффекта вследствие ортодонтической коррекции стал кариес в стадии белого

мелового пятна (K 02.0), его максимальная частота в подростковой группе достигла 48,4 %. Это свидетельствует о системном характере процесса и о преобладании именно поражений эмали.

Полученные результаты обосновали необходимость перехода к следующему лабораторному этапу исследования. В нем проводилась детальное изучение микроэлементного состава эмали с использованием Рамановской спектроскопии. Данный спектральный подход дает возможность подробно описать молекулярное строение и состав зубной эмали.

Для проведения исследования были отобраны образцы 20 зубов, удаленных по ортодонтическим показаниям у пациентов старше 18 лет. Данные образцы были тщательно отобраны и разделены на две группы. Первая группа, являющаяся контрольной, включала в себя образцы 10 зубов с интактной (неповрежденной) эмалью. Вторая группа состояла из образцов 10 зубов с участками деминерализации на поверхностных слоях эмали, что проявлялось в виде белых меловидных пятен.

Детальное изучение обнаружило, что интенсивность сигнала в нормальной эмали варьировалась в широких пределах (от $55\,000\text{ см}^{-1}$ до $170\,000\text{ см}^{-1}$), тогда как в деминерализованных участках показатели концентрировались в более узком диапазоне (от $20\,000\text{ см}^{-1}$ до $35\,000\text{ см}^{-1}$).

В данном исследовании так же проводился анализ структурных изменений эмали в участках деминерализации после применения реминерализирующей терапии. В эксперименте использовались удалённые зубы, имеющие признаки деминерализации, которые фиксировались поочередно в специальной гипсовой модели. Впоследствии для образцов изготавливалась персональная капа из полиуретантерефталата фирмы «Zendura». Такое решение позволяло наносить на эмаль реминерализующее средство и удерживать его в нужном интервале времени.

На загипсованных зубах сначала фиксировали капу, после чего всю систему помещали в искусственную слюну. Затем соблюдали повторяющийся режим, каждые 6 часов образцы извлекали из среды, капу снимали, а зубы вместе с конструкцией промывали под струей воды, тем самым воспроизводя

гигиеническую обработку полости рта у пациента. Потом на внутреннюю поверхность капы снова вносили реминерализующий гель и возвращали ее на загипсованные зубы. Наблюдение длилось 7 дней. Такая схема была направлена на моделирование условий ротовой полости и давала возможность оценить, насколько результативно реминерализующее воздействие проявляется в обстановке, максимально близкой к клинической практике.

На завершающем этапе исследования образцы зубов вновь прошли спектроскопическое исследование. Его применили для того, чтобы установить, какие сдвиги возникли в строении эмали после завершения реминерализующего курса.

Исходя из полученных результатов в ходе лабораторно-экспериментального исследования было выявлено, что после проведенной реминерализации снижается содержание ряда белковых соединений; данный сдвиг указывает на возврат минеральной полноценности эмалевого слоя, а нежелательная патологическая активность постепенно стихает. В таких условиях реминерализующая терапия приближает соотношение органической и неорганической фракций эмали к норме, что согласуется с данными научных публикаций М. М. Сайпеевой с соавт. (2021).

Даже после семидневного лечебного воздействия эмаль, утратившая часть минеральной плотности, заметно улучшается, ее состояние приходит к лучшему, а значения в пораженных зонах выравниваются и почти совпадают с теми, которые характерны для здоровой эмали. Параллельно нормализуется баланс между белковыми компонентами и гидроксиапатитом. Полученные данные согласуются с научными исследованиями Н. А. Соколович с соавт. (2021).

Наши выводы так же подтверждаются публикациями ряда исследователей (Mahajan, P. A., 2025), которые подчеркивают, что процесс реминерализации фокусируется на восполнении недостающих неорганических элементов. Данный факт критически важен для поддержания прочности и целостности структуры эмали. Деминерализация, напротив, характеризуется уменьшением содержания минеральных (неорганических) компонентов в эмали, в то время как уровень белковых структурных соединений остается стабильным. Такое соотношение

приводит к изменениям в микроструктуре эмали. Лечебно-профилактические подходы направлены, главным образом, именно на нормализацию неорганического состава эмали, что, в свою очередь, увеличивает ее кариесрезистентность.

Реминерализующая терапия демонстрирует значительный потенциал в контексте лечения деминерализации, несмотря на существующие методологические и клинические ограничения. Индивидуальный подход, учитывающий комплекс факторов, представляется наиболее эффективным. К числу таких факторов относятся: продолжительность курса лечения; индивидуальные особенности здоровья пациента; общее состояние организма; этиологические причины деминерализации. Данный подход позволяет оптимизировать результаты реминерализующей терапии, что подтверждается исследованиями А. В. Фёдоровой с соавт. (2021).

В ходе уточнения микроэлементного состава в участках интактной и деминерализованной эмали так же актуализировалось проведение комплексной оценки адгезивной активности микробиома рта на различных конструкционных материалах, применяемых в изготовлении элайнеров, ввиду того, что адгезивная активность микроорганизмов является одним из важнейших факторов возникновения различных побочных эффектов на поверхности зубов. Данный анализ был направлен на решение нескольких задач: оптимизацию этапов лечения очагов деминерализации, возникающих на этапе ортодонтического лечения, выбор оптимального конструкционного материала для изготовления элайнеров в зависимости от адгезивной активности микробиома, а также разработку способа лечения зубочелюстных аномалий.

Исследование было посвящено сравнительному анализу компонентов, задействованных в двух различных производственных процессах при изготовлении элайнеров. Рассматривались такие конструкционные материалы, как «Graphy», который используется для прямой 3D-печати элайнеров, и «Zendura», применяемый в вакуумной термоформовке.

В процессе эксперимента выяснилось, что материалы «Graphy» и «Zendura» обладают различными характеристиками. Адгезивная активность

микроорганизмов по отношению к конструкционному материалу «Graphy» значительно выше, чем к другим видам. Это может объясняться несколькими факторами, среди которых гидрофобность материала и особенности его внешней архитектуры (Сохрокова Д. М. с соавт., 2025; Rouzi M., 2023).

Высокий показатель адгезии у материала «Graphy», вероятно, связан с особенностями микрорельефа, который формируется в процессе 3D-печати. Некоторые ортодонтические материалы характеризуются высокими адгезивными характеристиками, способствующими быстрому образованию биоплёнок на их поверхности. Это может вызвать существенные патологические изменения в составе микробиома полости рта (Габараев Д. Э., Касоев В. Г. 2021).

Материал «Zendura» активно используется в ортодонтии для изготовления элайнеров. Его ключевым преимуществом является тот факт, что присоединение микроорганизмов здесь идёт медленнее, поэтому материал подходит пациентам с повышенной вероятностью воспалительных заболеваний ротовой полости. В ортодонтической практике конструкционный материал «Zendura» часто выбирают в качестве стандарта для данной категории пациентов. Но при этом так же важно учитывать и микробиологический профиль каждого отдельного пациента, поскольку микрофлора полости рта может значительно варьироваться от случая к случаю (S. Santonocito, 2022; S. Di Nicolantonio, 2025).

Исходя из вышесказанного, становится очевидной важность продолжения углубленных научных изысканий в направлении ортодонтического материаловедения. При этом необходимо учитывать не только способность конструкционных материалов к адгезии микроорганизмов, но и их общие физико-механические параметры.

На втором этапе лабораторно-экспериментальных исследований была проведена детальная оценка физико-механических свойств материалов, применяемых в производстве элайнеров, что напрямую влияет на их эксплуатационные качества.

Конструкционный материал «Zendura», выстроенный как многослойная система типа «сэндвич», показывает более высокие жесткость и пластичность по

сравнению с материалом «Graphy». Особенности его конструкции способствуют более равномерному распределению внешних нагрузок, что обеспечивает повышенную износостойкость конечного изделия.

Испытания на прочность показали, что материал «Zendura» так же обладает высокой устойчивостью и к деформациям. При растяжении его средний модуль упругости достигает 698 ± 79 МПа, а при изгибе - 1530 ± 72 МПа. Причина в том, что наружный жесткий слой принимает на себя большую часть внешней нагрузки. Показатель относительного удлинения при разрыве у «Zendura» равен $115 \pm 23,0$ %, тогда как у «Graphy» он составляет $50,8 \pm 34,5$ %, то есть более чем вдвое. Разрыв между числами связан с работой внутренней пленки, выполняющей демпфирующую функцию, она не дает магистральным трещинам быстро распространяться в жестком каркасе и тем самым добавляет материалу заметный запас вязкости.

В ходе исследований данный материал продемонстрировал оптимальные результаты, как физико-механические, так и микробиологические. Данные тесты подтвердили, что он является наилучшим выбором для производства качественных съёмных ортодонтических конструкций, в том числе и элайнеров.

Результаты вышеизложенных экспериментов и детального анализа их итогов актуализировали разработку усовершенствованных элайнеров с дополнительным микрорезервуаром для адресной доставки реминерализующего вещества в зону поражения поверхностных слоев эмали.

Для решения этой задачи использовался метод параметрического моделирования очагов поражения в цифровом формате. Данная технология запатентована как интеллектуальная собственность (№ 2815154 от 11. 03. 2024). Эффективность предложенного метода подтверждается научной публикацией Якубовой Е. Ю. (2020), что свидетельствует о его высокой практической значимости и теоретической обоснованности.

Для реализации цифрового протокола создания усовершенствованных элайнеров применялись различные методы и технологии. Интраоральное 3D-сканирование позволило получить STL-файлы, отражающие анатомическую

структуру зубных рядов пациента. Резервуар для целенаправленной доставки реминерализующего агента в область патологического поражения твердых тканей зуба моделировался в программном комплексе «Autodesk Meshmixer» (Autodesk, США). Этапы ортодонтического лечения проектировались в программном обеспечении «Maestro 3D Dental Studio V6» (Maestro 3D, Италия). На основе полученных STL-файлов выполнялась 3D-печать с помощью принтера «FormLabs Form 2» (FormLabs, Китай). Сами элайнеры изготавливались методом вакуумного термоформирования на оборудовании «Sheu Ministar» (Sheu Dental, Германия). Финишная обработка готовых изделий проводилась механическим способом с применением зуботехнических фрез и полиров

В данной разработке, входящей в диссертационное исследование, были использованы оптимальные технические характеристики материалов для изготовления элайнеров, а их практическая эффективность подтверждена клиническим исследованием.

Для проведения клинической части была сформирована выборка из 60 пациентов. В каждую группу были включены по 20 человек. Пациенты были распределены по трём равнозначным группам с учётом их клинического статуса и терапевтического протокола на основании критериев включения, невключения и исключения.

Первая (контрольная) группа объединяла пациентов мужского и женского пола 15-36 лет с клинически подтверждённой аномалией положения отдельных зубов (K07.3), без признаков кариеса в стадии белого мелового пятна (K02.0), общесоматических и стоматологических противопоказаний к ортодонтическому лечению элайнерами. Критериями невключения служили возраст вне диапазона 15-36 лет и наличие кариеса в стадии белого мелового пятна (K02.0). Для данной группы пациентов применяли типовые элайнеры, полученные путем термоформования и лишенные дополнительных резервуаров.

Во вторую группу включили мужчин и женщин 15-36 лет, обследование подтвердило аномалию положения отдельных зубов (K07.3) и кариес в стадии белого мелового пятна (K02.0). Ограничений со стороны общего соматического

состояния и стоматологического статуса, делающих невозможной ортодонтическую коррекцию с применением элайнеров, не выявлялось. Не допускались лица в возрасте вне диапазона 15-36 лет и пациенты без кариеса в стадии белого мелового пятна. Для данных пациентов использовали элайнеры, изготовленные стандартным вакуумным термоформованием. В конструкцию элайнеров были встроили микрорезервуары для накопления лекарственных веществ, рассчитанные на реминерализацию.

К отбору в третью группу допускались лица мужского и женского пола в возрасте 15–36 лет. Основанием для такой принадлежности служили клинически подтверждённая аномалия положения отдельных зубов (K07.3) и кариес на стадии белого мелового пятна (K02.0). Общесоматические и стоматологические противопоказания к ортодонтическому лечению элайнерами отсутствовали. Диагноз кариеса в виде белого мелового пятна был верифицирован клинически. Лечебное воздействие у пациентов проводили с использованием элайнеров, изготовленных методом стандартного термоформования. Модифицированные элайнеры получили конструктивные элементы, рассчитанные на локальное удержание лекарственного препарата непосредственно в месте патологического очага.

Одновременно для данной категории пациентов был установлен более строгий режим ухода за полостью рта и введены дополнительные варианты антисептической обработки самих кап. Благодаря подобному сочетанию удалось оценить совокупный результат, возникающий при использовании доработанных элайнеров вместе с усиленными гигиеническими и антисептическими мерами. Протокол предусматривал комплексный подход, направленный на минимизацию микробной контаминации, тем самым предотвращая прогрессирование деминерализации и сохранение функциональности элайнеров (B. J. Kunath, 2024; M. Contaldo, 2024).

Исследование показало явные отличия в результативности использованных подходов. У пациентов первой группы, получавших лечение стандартной ортодонтической методикой, положительных изменений состояния эмали не

выявлялось. Отмечено, напротив, ухудшение гигиенического состояния, что выразилось в падении показателя её гигиены (ИГР-У).

Во второй группе пациентов зафиксировано частичное улучшение показателей. Наблюдалось снижение значений ТЭР, сокращение площади деминерализованных участков и улучшение гигиенического статуса полости рта. Тем не менее, динамика изменений в этой группе была существенно медленнее по сравнению с третьей.

В третьей группе пациентов отмечены наиболее выраженные и стойкие положительные эффекты. Значительно улучшились показатели теста эмалевой резистентности (ТЭР), существенно уменьшилась площадь зон деминерализации, а также возрос уровень гигиены полости рта. Данные результаты демонстрируют достаточную эффективность разработанных на базе диссертационного исследования ортодонтотерапевтических методов.

Клинические изыскания выявили, что предложенная стратегия лечения способствует существенному уменьшению показателя ТЭР, сокращению величины участков деминерализации и снижению количества меловидных пятен. Полученные результаты снижают вероятной необходимости в дополнительных лечебно-профилактических мерах перед началом ортодонтического лечения.

Анализ обработанных данных подтвердил, что результативность данного способа лечения зубочелюстных аномалий определяется физико-механическими и адгезивными свойствами материалов, а также методами их изготовления. Таким образом, подчеркивается важность персонального, индивидуализированного подбора материалов для изготовления элайнеров, учитывающего клинические особенности каждого пациента (Бабаев К. О. и соавт., 2024; Хамитова Н. Х. и соавт.; 2025, A. Dhingra, 2022).

Результаты исследования так же свидетельствуют, что использование элайнеров для ортодонтической коррекции демонстрирует высокий практический потенциал. Разработанный алгоритм опирается на современные научные достижения и соответствует актуальным тенденциям в стоматологии, таким как малоинвазивные методы, применение цифровых технологий и

междисциплинарный подход. Этот метод можно рекомендовать для широкого внедрения в практику ортодонтотв.

Внедрение усовершенствованных элайнеров совместно с обновленным протоколом гигиенических процедур способствовало улучшению состояния эмали в зонах деминерализации при ортодонтическом лечении, а также повысило уровень комфорта пациентов на протяжении всего процесса терапии. Цифровой протокол планирования повышает их удовлетворенность результатом, а также улучшает качество самих ортодонтических конструкций.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в том, что разработанная методика изготовления элайнеров с реминерализующим эффектом, предложенный способ восстановления деминерализованной эмали на этапах ортодонтического лечения аномалий положения отдельных зубов, а также усовершенствованный алгоритм ортодонтического лечения, снижающий риск возникновения побочных явлений в структуре эмали, путем разработки и внедрения усовершенствованных элайнеров с направленным минерализующим действием, имеет положительный эффект и может быть рекомендован к практическому применению.

Таким образом, комплексный улучшенный алгоритм ортодонтического лечения продемонстрировал свою клиническую эффективность и жизнеспособность, поскольку повышает качество реабилитации пациентов с аномалиями положения отдельных зубов, ассоциированных с участками деминерализации эмали, как в ближайшем периоде, так и в отдаленной перспективе, что выражается в снижении риска возникновения побочных эффектов на этапе ортодонтической коррекции. Кроме того, лечебно-профилактическое воздействие на участки очаговой деминерализации эмали применяется в рамках ортодонтического лечения, что не удлиняет его сроки, не переводит в более тяжелые формы развитие сопутствующего заболевания, а также исключает фактор возникновения побочных эффектов.

Проведенное клиническое исследование у пациентов с аномалиями положения отдельных зубов демонстрирует, что использование

усовершенствованных элайнеров с дополнительным микрорезервуаром в его структуре, а так же с использование дополнительных алгоритмов гигиенической обработки полости рта и самих конструкций обеспечивает высокие эстетические результаты и оптимальный терапевтический эффект.

ВЫВОДЫ

1. Ретроспективный анализ медицинской документации подтверждает высокую распространенность зубочелюстных аномалий во всех возрастных группах с преобладанием в возрасте 7-10 лет, где диагноз K07.3 (аномалии положения отдельных зубов) является доминирующим. При этом, частота побочных явлений (K02.0, K05.0, K06.0) увеличивается пропорционально возрасту, но основной патологией остается кариес в стадии белого мелового пятна (K02.0) во всех возрастных группах.

2. Сопоставление спектральных характеристик романовской спектрометрии выявило существенные различия между интактной и деминерализованной эмалью. Интенсивность сигнала в деминерализованной эмали концентрировалась в более узком диапазоне (от $20\,000\text{ см}^{-1}$ до $35\,000\text{ см}^{-1}$) по сравнению с интактной эмалью (от $55\,000\text{ см}^{-1}$ до $170\,000\text{ см}^{-1}$), что подтверждает наличие патологического процесса. Под воздействием реминерализующей терапии происходит сближение спектральных параметров деминерализованной эмали с показателями интактной на фоне положительной клинической динамики в сторону ее восстановления.

3. Исследование адгезивных свойств микрофлоры полости рта к конструкционным материалам для изготовления элайнеров выявило видовую специфичность микроорганизмов, которая зависит, во многом, от их физико-химических свойств. Материалом на основе полиуретантерефталата с оптимальными физико-механическими характеристиками и низким уровнем адгезии микробиома является «Zendura», который на практике продемонстрировал эффективный клинический результат.

4. Способ изготовления персонифицированных элайнеров, основанный на использовании цифровых технологических подходов, позволяет адресно доставлять реминерализующие препараты в зону видимого патологического процесса на этапах ортодонтического лечения.

5. Предложенная методика профилактики побочных явлений при ортодонтическом лечении зубочелюстных аномалий усовершенствованными элайнерами способствует получению стабильных результатов ортодонтической коррекции, восстановлению участков деминерализации и снижению риска возникновения побочных явлений в структуре эмали.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При обращении пациентов с аномалиями положения отдельных зубов в сочетании с очаговой деминерализацией эмали к врачу-ортодонту необходимо использовать усовершенствованные элайнеры с дополнительным резервуарами для локального депонирования реминерализующего вещества в зоне поражения.

2. При возникновении очага поражения эмали в виде белого мелового пятна на этапе ортодонтического лечения с помощью элайнеров необходимо создание микрорезервуара в структуре капы над зоной поражения для реминерализации на фоне продолжения коррекции аномалий.

3. Для лечения аномалий положения отдельных зубов в сочетании с очаговой деминерализацией эмали необходимо использовать методику изготовления элайнеров описанную в Патенте №2815154 от 11.03.2024 г.

4. При выборе материала и технологии изготовления элайнеров необходимо использовать материал на основе полиуретантерефталата для вакуумного теромоформования фирмы «Zendura», ввиду его оптимальных адгезивных, химических и физико-механических свойств.

5. Для снижения риска возникновения побочных явлений при ортодонтическом лечении с помощью элайнеров необходимо использование разнонаправленных гигиенических мероприятий по разработанному нами алгоритму.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ВАК - высшая аттестационная комиссия

ВОЗ - всемирная организация здравоохранения

ВО - высшее образование

ГАП - гидроксиапатит

ГОСТ - государственный стандарт

ЗЧА - зубочелюстная аномалия

ИГ - индекс гигиены полости рта

ИГР-У - упрощенный индекс гигиены полости рта

КЛКТ - конусно-лучевая компьютерная томография

КРС - спектроскопия комбинационного рассеивания

МЗ - министерство здравоохранения России

МРТ - магнитно-резонансная томография

ООО - общество с ограниченной ответственностью

ПИМУ - Приволжский исследовательский медицинский университет

РФ - Российская Федерация

СтАР - Стоматологическая ассоциация России

США - Соединенные Штаты Америки

ТЭР - тест эмалевой резистентности

ФГБОУ ВО - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

ФДПО - факультет дополнительного профессионального образования

ЧЛХ - челюстно-лицевая хирургия

API - упрощенный индекс зубного налета

ОНIP - профиль влияния стоматологического здоровья

ОHI-S - индекс гигиены полости рта

IMSCA - интегративная мультикомплексная сенсорная система

M - среднее арифметическое

M - стандартная ошибка среднего

p - статистическая значимость

pH - водородный показатель

PMA - папиллярно-маргинальный индекс

QLF - количественная световая флуоресценция

Σ - стандартное отклонение

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аббасова, А. С. Брекеты или элайнеры: что лучше для выравнивания зубов / А. С. Аббасова, Е. Д. Алыбина, П. В. Шушканова // Вестник науки. — 2024. — Т. 5, № 12 (81). — С. 879–883.
2. Адгезивные характеристики материалов к бактериальной микрофлоре как основа персонифицированного подхода при ортодонтическом лечении / Д. М. Сохрокова, Р. Т. Атабиева, Н. М. Сохрокова, З. Ф. Хараева // «Кавказ-микро» и «Юг-микро» : материалы II Всероссийской научно-практической конференции по медицинской микробиологии и инфектологии (Нальчик, 20–21 июля 2025 г.) / редкол.: З. Ф. Хараева, И. С. Степаненко, Е. В. Алиева. — Нальчик : Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова, 2025. — С. 42–44.
3. Адгезия микробиоты полости рта к конструкционным материалам для производства элайнеров / С. И. Гажва, А. А. Филимонов, Ю. Л. Денисова [и др.] // Клиническая стоматология. — 2026. — Т. 29, № 1. — С. 52–56.
4. Аникиенко, А. А. Аппаратурное ортодонтическое лечение и его подчинение физиологическим законам раздражения / А. А. Аникиенко, Н. В. Панкратова, Л. С. Персин. — М. : Медицинское информационное агентство, 2010. — 112 с.
5. Арзуманян, А. Г. Анализ распространенности и структуры зубочелюстных аномалий среди детей школьного возраста / А. Г. Арзуманян, А. В. Фомина // Вестник новых медицинских технологий. — 2019. — № 3. — С. 5–8.
6. 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.

7. Аскарова, Н. С. Распространенность зубочелюстных аномалий и деформаций в период формирования прикуса / Н. С. Аскарова // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2020. – № 5, Ч. 9. – С. 41–43.
8. Атабиева, Р. Т. Изменение микробиоценоза полости рта у ортодонтических пациентов, использующих элайнеры / Р. Т. Атабиева, М. Ш. Мустафаев // VI Международная конференция молодых учёных стоматологов : сборник тезисов (Москва, 2025 г.). — Москва : ООО «Медицинское Маркетинговое Агентство», 2025. — С. 5–10.
9. Бабаев, К. О. Влияние 3D печати на качество изготовления индивидуальных прозрачных элайнеров / К. О. Бабаев // Аспирантские чтения — 2023: молодые учёные — медицине. Приоритетные направления науки в достижении технологического суверенитета : сборник материалов Всероссийской научно практической конференции с международным участием (Самара, 2024 г.). — Самара : ООО «Полиграфическое объединение „Стандарт“», 2024. — С. 397–398.
10. Бекташева, А. К. Клинико-диагностическая значимость микробиоты полостей зубов и окружающих тканей при санации полости рта / А. К. Бекташева, А. Р. Цой // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2022. – № 4. – С. 125–130.
11. Бурцева, Е. С. Особенности микробиоты пациентов, использующих для стоматологического лечения брекетты, элайнеры или ретейнеры / Е. С. Бурцева, М. Ю. Гусева // Молодёжь, наука, медицина : тезисы 70 й Всероссийской межвузовской студенческой научной конференции с международным участием (Тверь, 2024 г.). — Тверь : Тверской государственный медицинский университет, 2024. — С. 70–71.
12. Виноградова, Т. Ф. Атлас по стоматологическим заболеваниям у детей : учебное пособие / Т. Ф. Виноградова. – 2-е изд. – М. : МЕДпресс-информ, 2010. – 165 с.

13. Влияние ортодонтического лечения на состояние твёрдых тканей зубов, профилактика развития осложнений / Н. А. Соколович, Е. А. Олейник, Д. А. Кузьмина // Медицинский альянс. — 2021. — Т. 9, № 2. — С. 56–62.
14. Водолацкий, М. П. Рентгенологическая диагностика стоматологических заболеваний : учебное пособие / М. П. Водолацкий. – Ставрополь : Изд-во СтГМА, 2006. – 192 с.
15. Габараев, Д. Э. Сравнительная характеристика микробных показателей при ношении разных ортодонтических конструкций / Д. Э. Габараев, В. Г. Касоев // Трибуна учёного. — 2022. — № 7. — С. 188–191.
16. Глухова, Ю. М. Элайнеры в ортодонтии — новое средство решения старых проблем / Ю. М. Глухова, Я. Н. Глухов, Ю. М. Де // Актуальные проблемы стоматологии детского возраста и ортодонтии : сборник научных статей XIII научно практической конференции с международным участием по детской стоматологии (Хабаровск, 2023 г.). — Хабаровск : Дальневосточный государственный медицинский университет, 2023. — С. 58–60.
17. Григорьев, С. С. Клинико-лабораторные подходы к изучению коррекции микробиоты полости рта / С. С. Григорьев, Е. Ю. Бушуева, С. Н. Саблина // Уральский медицинский журнал. – 2020. – № 9. – С. 24–33.
18. Гринева, А. А. Систематический обзор научных исследований по сравнительному анализу ортодонтических элайнеров и брекет систем / А. А. Гринева // Лучшая студенческая работа 2024 : сборник статей XIII Международного научно исследовательского конкурса (Пенза, 2024 г.). — Пенза : Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г. Ю.), 2024. — С. 90–93.
19. Деминерализация эмали зубов у детей в ходе лечения элайнерами: влияние гигиены полости рта и pH ротовой жидкости (пилотное исследование) / Д. А. Жданова, О. И. Адмакин, Н. С. Морозова [и др.] // Врач. – 2023. – Т. 34, № 8. – С. 53–58.
20. Демьяненко, С. А. Цифровые технологии в ортодонтии на примере изготовления элайнеров: обзорная статья / С. А. Демьяненко, Я. Ю. Пенькова,

- А. Л. Морозов // Российский стоматологический журнал. — 2025. — Т. 29, № 1. — С. 79–88.
21. Джигкаев, А. С. Преимущества и недостатки / А. С. Джигкаев, Д. В. Киргуева // Научный лидер. — 2023. — № 2 (100). — С. 85–86.
 22. Динамика распространенности зубочелюстных аномалий у детей и взрослых, особенности диагностики и лечения / С. И. Гажва, А. А. Филимонов, А. Г. Манукян [и др.] // Прикладные информационные аспекты медицины : электронный журнал. — 2025. — Т. 28, № 4. — С. 28–32. — Электронный ресурс: <https://new.vestnik-surgery.com/index.php/2070-9277/article/view/11043/>
 23. Дистель, В. А. Основы ортодонтии : руководство к практическим занятиям / В. А. Дистель, В. Г. Сунцов, В. Д. Вагнер. — М. : Медицинская книга ; Н. Новгород : Изд-во НГМА, 2001. — 237 с.
 24. Дренина, Ю. В. Сравнительный анализ эффективности ротации зубов при использовании элайнеров из разного материала / Ю. В. Дренина, Д. О. Полякова, Е. А. Картон // Российская стоматология. — 2025. — Т. 18, № 4. — С. 98–100.
 25. Исааксон, К. Г. Съёмные ортодонтические аппараты : пер. с англ. / К. Г. Исааксон, Дж. Д. Мюр, Р. Т. Рид. — М. : МЕДпресс-информ, 2012. — 144 с.
 26. Конструкционные особенности элайнеров для лечения аномалий положения отдельных зубов с признаками деминерализации / С. И. Гажва, А. А. Филимонов, Н. С. Краснокутская [и др.] // Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова. — 2026. — Т. 34, № 1. — С. 17–24.
 27. Коррекция речи у детей: взгляд ортодонта / под ред. Я. В. Костиной, В. М. Чапала. — М. : Творческий центр Сфера, 2008. — 63 с.
 28. Материалы для термоформования элайнеров / И. А. Дегтев, С. В. Казумян, Ф. А. Билалова [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. — 2021. — № 4, Ч. 2. — С. 123–125.
 29. Михайлова, А. С. Распространенность зубочелюстных аномалий и деформаций у детей и подростков в Российской Федерации / А. С.

- Михайлова, М. А. Юдинцев // Молодой ученый. – 2021. – № 21. – С. 148–151.
30. Мкртичян, А. С. Предсказуемость и анализ эффективности ортодонтического лечения элайнерами / А. С. Мкртичян // Теоретические и практические аспекты развития современной науки: теория, методология, практика : сборник научных статей по материалам XIV Международной научно-практической конференции (Уфа, 2024 г.). — Уфа : ООО «Научно-издательский центр „Вестник науки“», 2024. — С. 134–145.
 31. Мохаммад, И. С. Распространенность зубочелюстных аномалий и деформаций у детей и подростков [Электронный ресурс] / И. С. Мохаммад, В. М. Водолацкий // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. — 2020. — № 1. — С. 7–11. — Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42618657>
 32. Налбандян, М. С. Перспективы применения элайнеров в современной ортодонтии / М. С. Налбандян, Г. Ю. Тер Погосян, Э. Р. Казарян // Medicine Science and Education. — 2022. — № 33. — С. 122–124.
 33. Образцов, Ю. Л. Пропедевтическая ортодонтия : учебное пособие / Ю. Л. Образцов, С. Н. Ларионов. — СПб. : СпецЛит, 2007. — 160 с.
 34. Ортодонтическое лечение с применением элайнеров и реминерализация эмали у подростков / М. М. Сайпеева, Е. В. Брусницына, Е. С. Бимбас [и др.] // Стоматология детского возраста и профилактика. — 2021. — Т. 21, № 2. — С. 95–102.
 35. Ортодонтия : национальное руководство. В 2 томах. Т. 1. Диагностика зубочелюстных аномалий / под ред. Л. С. Персина. — М. : ГЭОТАР-Медиа, 2020. — 298 с.
 36. Ортодонтия : учебное пособие / М. П. Водолацкий, В. М. Водолацкий, Б. Г. Бабанина, Ю. Д. Христофорандо. — 2-е изд., испр. и доп. — Ставрополь : Изд-во СтГМУ, 2014. — 167 с.

37. Ортопедическая стоматология (факультетский курс) : учебник / В. Н. Трезубов, А. С. Щербаков, Л. М. Мишнев, Р. А. Фадеев ; под ред. В. Н. Трезубова. – 8-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Фолиант, 2010. – 656 с.
38. Ортопедическая стоматология : учебник / Н. Г. Аболмасов, Н. Н. Аболмасов, В. А. Бычков, А. Аль-Хаким. – 9-е изд. – М. : МЕДпресс-информ, 2013. – 510 с.
39. Оценка эффективности очищения элайнеров специальным средством с активными компонентами по сравнению с традиционной чисткой с использованием воды и таблеток / Е. А. Сатыго, А. В. Силин, М. Г. Тумасян, С. Г. Тумасян // Стоматология для всех. — 2024. — № 1 (106). — С. 10–14.
40. Патент № 2761719 РФ, МПК А61М 31/00. Устройство для доставки лекарственного вещества в патологические очаги твердых тканей зубов и способ его изготовления : № 2021107489 : заявл. 22.03.2021 : опубл. 13.12.2021 / Гажва С. И., Горбатов Р. О., Якубова Е. Ю., Лобова А. Ю. ; заявитель ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава России // Федеральный институт промышленной собственности : [сайт]. – Режим доступа: https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2761719&TypeFile=html
41. Патент № 2815154 РФ, МПК А61С 7/08, А61М 31/00. Способ лечения зубочелюстных аномалий : № 2023115164 : заявл. 09.06.2023 : опубл. 11.03.2024 / Филимонов А. А., Горбатов Р. О., Княщук Е. А., Абдулаев Н. А. ; заявитель Гажва С. И. // Федеральный институт промышленной собственности : [сайт]. – Режим доступа: https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2815154&TypeFile=html
42. Патент № 2822956 РФ, МПК А61В 5/00. Способ индексной оценки гигиены полости рта и ее динамики у лиц, находящихся на ортодонтическом лечении элайнерами : № 2023131918 : заявл. 05.12.2023 : опубл. 16.07.2024 / Федорова А. В., Солдатова Л. Н., Солдатов В. С., Иорданишвили А. К., Улитовский С. Б. ; заявители Федорова А. В., Солдатова Л. Н. // Федеральный институт промышленной собственности : [сайт]. – Режим

доступа:

https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2822956&TypeFile=html

43. Персин, Л. С. Ортодонтия. Современные методы диагностики аномалий зубов, зубных рядов и окклюзии / Л. С. Персин. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2017. – 155 с.
44. Персин, Л. С. Ортодонтия: диагностика и лечение зубочелюстно-лицевых аномалий и деформаций : учебник / Л. С. Персин. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2016. – 638 с.
45. Повышение функциональной резистентности эмали у детей и подростков в период ортодонтического лечения на съёмной аппаратуре / А. В. Федорова, В. С. Солдатов, Л. Н. Солдатова, А. К. Иорданишвили // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2023. – Т. 23, № 3. – С. 235–242.
46. Привес, М. Г. Анатомия человека : учебник / М. Г. Привес, Н. К. Лысенков, В. И. Бушкович. – 13-е изд., испр. и доп. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2022. – 896 с.
47. Профилактика и эпидемиология стоматологических заболеваний : учебное пособие / В. М. Водолацкий, А. А. Павлов, А. М. Угримова [и др.]. – Ставрополь : Изд-во СтГМУ, 2017. – 203 с.
48. Разработка технологии создания прецизионной каппы для доставки лекарственного вещества в патологический очаг твердых тканей зубов / С. И. Гажва, Р. О. Горбатов, Е. Ю. Якубова [и др.] // Стоматологическая весна в Белгороде – 2021 : сборник трудов Международной научной конференции молодых ученых, работающих в области стоматологии, приуроченной к году науки и технологий (Белгород, 24–28 мая 2021 г.) / под ред. А. В. Цимбалистова, Е. Н. Анисимовой. – Белгород : Изд-во БелГУ, 2021. – С. 35–36.
49. Распространенность зубочелюстных аномалий у детей и подростков и факторы, влияющие на их формирование / Ш. Ф. Джураева, М. В. Воробьев, М. В. Мосеева, А. А. Тропина // Научное обозрение. Медицинские науки. – 2022. – № 6. – С. 70–75.

50. Распространенность и структура зубочелюстных аномалий у детей и подростков Республики Беларусь / И. В. Токаревич, И. В. Москалева, Н. В. Корхова, Д. В. Хандогий // Стоматологический журнал. – 2017. – Т. 18, № 1. – С. 42–45.
51. Распространенность и структура зубочелюстных аномалий у дошкольников / С. В. Чуйкин, Т. В. Снеткова, Г. Г. Акатьева, Н. В. Макушева // Dental Forum. – 2022. – № 4. – С. 100–101.
52. 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.
53. Саунина, А. А. Оценка эстетических параметров ортодонтического лечения на элайнерах / А. А. Саунина // Scientist (Russia). — 2024. — № 3 (29). — С. 45–47.
54. Скубицкая, А. Г. Исследование распространенности зубочелюстных аномалий среди ортодонтических пациентов разных возрастных групп / А. Г. Скубицкая, О. Г. Струсовская // Стоматология для всех. – 2022. – № 2. – С. 26–29.
55. Сравнительный анализ гигиены рта во время ортодонтического лечения с применением брекет системы и элайнеров / И. С. Тихонова, Ю. П. Мансур, К. А. Киба, Е. Н. Божкова // Актуальные вопросы стоматологии : сборник научных трудов, посвящённый основателю кафедры ортопедической стоматологии КГМУ, профессору Исааку Михайловичу Оксману (Казань, 2023 г.). — Казань : Казанский государственный медицинский университет, 2023. — С. 763–767.
56. Сравнительный анализ индивидуальной гигиены полости рта при лечении на брекет-системах и элайнерах / Д. В. Подоплелова, О. И. Адмакин, И. В. Старцева [и др.] // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2022. – Т. 22, № 3. – С. 170–176.

57. Тимчук, Я. И. Оценка эффективности модернизированного подхода к лечению элайнерами с использованием 3D мониторинга и референсных значений / Я. И. Тимчук, В. В. Титкова // Стоматология. Эстетика. Инновации. — 2025. — Т. 9, № 3. — С. 278–287.
58. Федорова, А. В. Гигиенический статус пациентов, проходящих ортодонтическое лечение на современной съёмной аппаратуре (элайнерах) / А. В. Федорова, Л. Н. Солдатова // Теоретические и практические вопросы клинической стоматологии : материалы Всероссийской научно практической конференции (Санкт Петербург, 2023 г.). — Санкт Петербург : Военно медицинская академия имени С. М. Кирова, 2023. — С. 107–109.
59. Федорова, А. В. Профилактические мероприятия, способствующие повышению качества ортодонтического лечения / А. В. Федорова, Л. Н. Солдатова, А. К. Иорданишвили // Актуальные вопросы челюстно лицевой хирургии и стоматологии : материалы Всероссийской юбилейной научно практической конференции, посвящённой 95 летию со дня основания кафедры челюстно лицевой хирургии и хирургической стоматологии Военно медицинской академии имени С. М. Кирова (Санкт Петербург, 2024 г.). — Санкт Петербург : Военно медицинская академия им. С. М. Кирова, 2024. — С. 151–154.
60. Федорова, А. В. Реминерализация эмали во время ортодонтического лечения на современной съёмной аппаратуре (элайнерах) / А. В. Федорова, Л. Н. Солдатова, Н. П. Петрова // Актуальные проблемы стоматологии : сборник тезисов VII Международной научно-практической конференции и XIII Международной конференции студенческого научного общества и молодых ученых (Санкт-Петербург, 6 декабря 2024 г.) / редкол.: Н. А. Соколов, Е. С. Михайлова, Н. А. Огрина, С. В. Свердлова. — СПб. : Человек, 2025. — С. 64–66.
61. Физико-математическая разработка топологии элайнеров / А. В. Рыбаков, Н. А. Соколов, А. А. Саунина [и др.] // Институт стоматологии. — 2024. — № 1. — С. 115–117.

62. Филимонов, А. А. Усовершенствование конструкции элайнеров для лечения различных зубочелюстных аномалий в сочетании с очаговой деминерализацией эмали / А. А. Филимонов, С. И. Гажва // Волгамед : сборник тезисов XI Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и студентов с международным участием (Нижний Новгород, 19–21 марта 2025 г.) / гл. ред. Е. Д. Божкова. – Н. Новгород : Изд-во ПИМУ, 2025. – С. 576–578.
63. Хамитова, Н. Х. Возможности современных ортодонтических аппаратов (элайнеров) / Н. Х. Хамитова, И. М. Шайдуллин, Э. Р. Сингатуллина // Актуальные вопросы стоматологии детского возраста : материалы VIII Всероссийской научно практической конференции с международным участием (Казань, 2025 г.). — Казань : Казанский государственный медицинский университет, 2025. — С. 285–289.
64. Цитокиновый профиль десневой жидкости при ортодонтическом лечении пациентов с использованием элайнеров : база данных / Р. Т. Атабиева, М. Ш. Мустафаев ; правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова». — № свидетельства RU 2025623484 ; заявл. 2025623040 ; дата регистрации: 14.08.2025 ; дата публикации: 25.08.2025. — Россия, 2025.
65. Шевчук, Э. Цифровая ортодонтия: компьютерные технологии и дополнительные инструменты в лечении с использованием элайнеров / Э. Шевчук // Главный врач Юга России. — 2025. — № 3 (101). — С. 22–23. — ISSN 2686 8733.
66. Экспериментальное обоснование использования фотополимерных смол в алгоритме цифрового изготовления элайнеров [Электронный ресурс] / С. И. Гажва, А. А. Филимонов, Д. А. Сергеев, А. Ю. Карташов // Медико-фармацевтический журнал «Пульс» : электронный журнал. – 2025. – Т. 27, № 10. – С. 19–24. – Режим доступа: https://drive.google.com/file/d/1sJo6rd_vKztBosNrIc-lb1mwxHVjLL-J/view

67. Эффективность применения комплекса реминерализующих средств в период ортодонтического лечения / А. В. Федорова, Л. Н. Солдатова, В. С. Солдатов, А. К. Иорданишвили // Клиническая стоматология. – 2025. – Т. 28, № 1. – С. 12–16.
68. A comprehensive comparative assessment of 3D molecular similarity tools in ligand-based virtual screening / Z. Jiang, J. Xu, A. Yan, L. Wang // Briefings in bioinformatics. – 2021. – Vol. 22, № 6. – P. 1–17.
69. A novel biomimetic strategy for mimicking amelogenesis to repair enamel / X. Chen, C. Zhi, X. Zhou [et al.] // Dental materials. – 2025. – Vol. 41, № 5. – P. 513–522.
70. Advances in orthodontic clear aligner materials [Electronic source] / Y. Bichu, A. Alwafi, X. Liu [et al.] // Bioactive materials : electronic journal. – 2023. – Vol. 22. – P. 384–403. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452199X22004303?via%3Dihub>.
71. Akinwale-Quansah, A. Clear aligner treatment and the generation of posterior open bites: a etiology, treatment and prevention [Electronic source] / A. Akinwale-Quansah, P. Singh // Journal of orthodontics. – 2026. – URL: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/14653125261426388>.
72. AlMogbel, A. Clear aligner therapy: up to date review article / A. AlMogbel // Journal of orthodontic science. – 2023. – Vol. 12. – P. 1–9.
73. Anchorage loss in maxillary premolar and anterior teeth during maxillary molar distalization in clear aligner treatment / Z. Miao, Y. Yang, H. Zhang [et al.] // American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics. – 2025. – Vol. 167, № 6. – P. 690–702.
74. Association between agenesis of permanent teeth and other dental anomalies in nonsyndromic patients: systematic review / P. C. de Aguiar, C. M. Mesquita, F. E. Lerne [et al.] // Archives of oral biology. – 2025. – Vol. 173. – P. 1–24.

75. Association between oral microbiome and depression: a population-based study / Z. Zheng, M. Xu, K. Xiao, K. Yu // Journal of affective disorders. – 2025. – Vol. 379. – P. 441–447.
76. Attachments for the orthodontic aligner treatment – state of the art – a comprehensive systematic review [Electronic source] / M. Jedliński, M. Mazur, M. Greco [et al.] // International journal of environmental research and public health : electronic journal. – 2023. – Vol. 20, № 5. – URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/20/5/4481>.
77. Castroflorio, T. Aligner biomechanics: where we are now and where we are heading for [Electronic source] / T. Castroflorio, S. Parrini, G. Rossini. – DOI 10.1016/j.ejwf.2023.12.005 // Journal of the World federation of orthodontists : electronic journal. – 2024. – Vol. 13, № 2. – P. 57–64. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38228450/>.
78. Chen, S. Research advances in clear aligner / S. Chen // Huaxi kouqiang yixue zazhi. – 2026. – Vol. 44, № 1. – P. 29–33.
79. Clear aligner attachment accuracy and composite excess using flowable composite resins of varying viscosities [Electronic source] / R. Doğrugören, G. B. Demir, P. Dalgat [et al.] // Angle orthodontist. – 2026. – URL: <https://angle-orthodontist.kglmeridian.com/view/journals/angl/aop/article-10.2319-062325-513.1/article-10.2319-062325-513.1.xml>.
80. Clear aligner therapy for minimally invasive dentistry: a scoping review / O. E. Burlacu Vatamanu, Z. Alzyoud, B. M. Elgarba [et al.] // Journal of dentistry. – 2025. – Vol. 161. – P. 1–13.
81. Clear aligner therapy in adults with stage II–IV periodontitis: a narrative review [Electronic source] / S. Kumari, G. Gothankar, N. Kv [et al.] // Cureus : electronic journal. – 2026. – Vol. 18, № 2. – URL: <https://www.cureus.com/articles/456799-clear-aligner-therapy-in-adults-with-stage-ii-iv-periodontitis-a-narrative-review#!/>.
82. Clinical effectiveness of clear aligner therapy during interceptive orthodontic treatment in adolescent patients: a systematic review and meta-analysis

- [Electronic source] / D. Chakraborty, N. Sahoo, B. Dash [et al.] // Cureus : electronic journal. – 2025. – Vol. 17, № 7. – URL: <https://www.cureus.com/articles/359709-clinical-effectiveness-of-clear-aligner-therapy-during-interceptive-orthodontic-treatment-in-adolescent-patients-a-systematic-review-and-meta-analysis#!/>
83. Clinical efficacy of clear aligners in class II malocclusion: from pediatric to adult cases – a narrative review [Electronic source] / G. Dipalma, G. Marinelli, F. Inchingolo [et al.] // Journal of functional biomaterials : electronic journal. – 2025. – Vol. 16, № 9. – URL: <https://www.mdpi.com/2079-4983/16/9/354>.
 84. Comparative evaluation of oral health status in patients undergoing orthodontic treatment with clear aligner therapy versus conventional fixed appliance therapy: an umbrella review [Electronic source] / H. Thota, H. Vanteddu, H. Singavarapu [et al.] // Cureus : electronic journal. – 2026. – Vol. 18, № 2. – URL: <https://www.cureus.com/articles/444208-comparative-evaluation-of-oral-health-status-in-patients-undergoing-orthodontic-treatment-with-clear-aligner-therapy-versus-conventional-fixed-appliance-therapy-an-umbrella-review#!/>.
 85. Comparing 3D tooth movement when implementing the same virtual setup on different software packages [Electronic source] / A. Dhingra, J. Palomo, N. Stefanovic [et al.] // Journal of clinical medicine : electronic journal. – 2022. – Vol. 11, № 18. – URL: <https://www.mdpi.com/2077-0383/11/18/5351>.
 86. Comparing virtual setup software programs for clear aligner treatment [Electronic source] / M. Eliliwi, T. ElShebiny, L. M. de Menezes [et al.] // Journal of World federation of orthodontists : electronic journal. – 2023. – Vol. 12, № 2. – P. 50–55. – URL: [https://www.jwfo.org/article/S2212-4438\(23\)00020-6/abstract](https://www.jwfo.org/article/S2212-4438(23)00020-6/abstract).
 87. Current and emerging 3D visualization technologies in radiology / Z. Abramson, D. Thompson, C. Goode [et al.] // Pediatric radiology. – 2024. – Vol. 54, № 5. – P. 684–692.
 88. Dental anomalies: prevalence, patterns of association and relationship with dental age / B. Loscertales-Martín-de-Agar, Á. Cabezas-Corado, M. Baus-

- Domínguez [et al.] // International dental journal. – 2025. – Vol. 75, № 6. – P. 1–15.
89. Dental anomalies' characteristics [Electronic source] / T. Sella Tunis, O. Sarne, I. HersHKovitz [et al.] // Diagnostics : electronic journal. – 2021. – Vol. 11, № 7. – URL: <https://www.mdpi.com/2075-4418/11/7/1161>.
 90. Digital workflow and virtual validation of a 3D-printed definitive hollow obturator for alarge palatal defect / N. B. Jamayet, T. H. Farook, A. Al-Oulabi [et al.] // The journal of prosthetic dentistry. – 2023. – Vol. 129, № 5. – P. 798–804.
 91. Do universal adhesives applied with different modes affect remineralized enamel surfaces? A SEM study [Electronic source] / B. A. Dinçtürk, C. K. Alp, H. Altinisik, C. Sari // Odontology : electronic journal. – 2026. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10266-025-01290-3>.
 92. Effect of clear aligner attachment design on extrusion of maxillary lateral incisors: a multicenter, single-blind randomized clinical trial / J. T. Groody, S. J. Lindauer, N. D. Kravitz [et al.] // American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics. – 2023. – Vol. 164, № 5. – P. 618–627.
 93. Effect of oral exposure on chemical, physical, mechanical and morphologic properties of clear orthodontic aligners / L. F. Lira, E. Otero Amaral Vargas, E. Moreira da Silva [et al.] // American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics. – 2023. – Vol. 164, № 2. – P. 51–63.
 94. Effectiveness and accuracy of clear aligners in treatment of deep bite: a systematic review / F. Husain, J. Riccardi, L. Alletto [et al.] // Clinical oral investigations. – 2025. – Vol. 29, № 6. – P. 1–18.
 95. Effects of Er: YAG laser and acid etching on bond strength of clear aligner attachments to fluorotic enamel [Electronic source] / R. Xia, J. Lei, M. Luo, Y. Xiao // Public library of science one : electronic journal. – 2025. – Vol. 20, № 8. – URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0328937>

96. Enamel conservation orthodontic paradigm via treatment with new lydeveloped remineralizing calcium-phosphate etchant pastes / A. I. Ibrahim, N. R. Al-Hasani, N. T. Al-Taai [et al.] // Journal of dentistry. – 2025. – Vol. 157. – P. 1–10.
97. Enamel demineralization and remineralization pH cycling models in vitro: a SEM-EDX and FTIR study / I. E. Ouarti, E. M. Lotfi, M. B. Ali [et al.] // Odontology. – 2025. – Vol. 114, № 2. – P. 589–601.
98. Enamel integrity and residual composite following clear aligner attachment removal: a systematic review / N. Nassar, K. Corbani, R. Bourgi [et al.] // Clinical practice. – 2026. – Vol. 16, № 3. – P. 1–18.
99. Ertemür, A. Effect of different remineralization agents on the optical properties of bleached enamel [Electronic source] / A. Ertemür, B. Yazkan // BioMed central oral health : electronic journal. – 2025. – Vol. 25, № 1. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12903-025-05923-5>.
100. Evaluating the impact of clear dental aligners on dental and periodontal conditions, oral microbial patterns and the immune system / S. Esmaeili, S. Shahbazi, H. Ziaei, F. Younessian // Advances in experimental medicine and biology. – 2026. – Vol. 1492. – P. 605–624.
101. Evaluation of aging effects on the physical, chemical and mechanical properties of thermoplastic materials for orthodontic clear aligners: an in vivo study [Electronic source] / F. Arabpour, H. Agha Aghili, M. Javaheri Mahd [et al.] // BMC oral health : electronic journal. – 2025. – Vol. 25, № 1. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12903-025-06966-4>.
102. Expert consensus on the prevention and treatment of enamel demineralization in orthodontic treatment / L. Xia, C. Zhou, P. Mei [et al.] // International journal of oral science. – 2025. – Vol. 17, № 1. – P. 1–11.
103. Factors influencing fenestration and dehiscence in the anterior teeth after clear aligner treatment: a multicenter retrospective study / Z. Song, Q. Liu, H. Luo [et al.] // Progress in orthodontics. – 2025. – Vol. 26, № 1. – P. 1–20.

104. Farci, F. Histology, tooth [Electronic source] / F. Farci, A. Soni // StatPearls [internet]. – Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing, 2023. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34283421/>
105. How Ai-driven root and bone predictions can assist clear aligner treatment planning / E. Tüfekçi, C. K. Carrico, C. B. Gordon, S. J. Lindauer // Orthodontics and craniofacial research. – 2025. – Vol. 28. – Suppl. 1. – P. S18–S24.
106. Human oral microbiome in aging: a systematic review / E. Carbone, E. Fabrizi, R. Rivabene [et al.] // Mechanisms of ageing and development. – 2025. – Vol. 226. – P. 1–8.
107. Impact of clear aligners on oral health and oral microbiome during orthodontic treatment / M. Rouzi, X. Zhang, Q. Jiang [et al.] // International dental journal. – 2023. – Vol. 73, № 5. – P. 603–611.
108. In vitro evaluation of a novel fluoride-coated clear aligner with antibacterial and enamel remineralization abilities / J. Yan, L. Cao, T. Luo [et al.] // Clinical oral investigations. – 2023. – Vol. 27, № 10. – P. 6027–6042.
109. Influence of orthodontic appliances and nitrate on the oral microbiota / E. Reichardt, M. Eigenthaler, P. G. Jost-Brinkmann [et al.] // Applied microbiology and biotechnology. – 2025. – Vol. 109, № 1. – P. 1–19.
110. Integrated multiplex sensing clear aligner for in situ monitoring of dental enamel demineralization [Electronic source] / Z. Liu, T. Sun, Y. Chen [et al.] // ACS biomaterials science and engineering : electronic journal. – 2023. – Vol. 9, № 6. – P. 3680–3689. – URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsbiomaterials.3c00029>.
111. Kamran, M. A. Remineralization of eroded enamel for improved orthodontic bracket bonding: an in vitro study / M. A. Kamran // Korean journal of orthodontics. – 2025. – Vol. 55, № 4. – P. 244–253.
112. Kvaratsthelia, S. Prevalence of dentition, dental arches and dental anomalies / S. Kvaratsthelia // Georgian medical news. – 2024. – Vol. 347. – P. 177–180.

113. Mahajan, P. A Comparative evaluation of biomimetic remineralization potential of enamel white spot lesions – an in vitro study / P. Mahajan // Indian journal of dental research. – 2025. – Vol. 36, № 3. – P. 340–343.
114. McLaughlin, R. P. Systemized orthodontic treatment mechanics / R. P. McLaughlin, J. C. Bennett, H. Trevisi. – 2nd ed. – St. Louis : Mosby International Ltd., 2001. – 336 p.
115. Mechanical properties of dental enamel in patients with genetic caries susceptibility [Electronic source] / F. Haj Obeid, K. Jezierska, D. Lietz-Kijak [et al.] // International journal of molecular sciences : electronic journal. – 2025. – Vol. 26, № 16. – URL: <https://www.mdpi.com/1422-0067/26/16/7749>.
116. Microbiome signatures of virulence in the oral-gut-brain axis influence Parkinson's disease and cognitive decline pathophysiology / F. Clasen, S. Yildirim, M. Arikan [et al.] // Gut Microbes. – 2025. – Vol. 17, № 1. – P. 1–21.
117. Nanomaterials application in orthodontics [Electronic source] / W. Zakrzewski, M. Dobrzynski, W. Dobrzynski [et al.] // Nanomaterials : electronic journal. – 2021. – Vol. 11, № 2. – P. 1–19. – URL: <https://www.mdpi.com/2079-4991/11/2/337>.
118. Nguyen, A. V. Evaluation of enamel integrity after clear aligner attachments removal: a risk-benefit comparison of one-step tools [Electronic source] / A. V. Nguyen, T. T. Nguyen // Peer j : electronic journal. – 2025. – Vol. 13. – URL: <https://peerj.com/articles/20200/>.
119. Novel antimicrobial and bioactive resin based clear aligner attachment orthodontic materials [Electronic source] / H. Alqarni, I. Ba-Armah, N. Almutairi [et al.] // Frontiers in oral health : electronic journal. – 2025. – Vol. 6. – URL: <https://www.frontiersin.org/journals/oral-health/articles/10.3389/froh.2025.1630019/full>.
120. Occlusion and temporomandibular disorders: a scoping review / L. Pascu, R.-S. Haiduc, O. Almășan, D.-C. Leucuța // Medicina. – 2025. – Vol. 61, № 5. – P. 1–18.

121. Okutan, A. E. Developmental defects of enamel and dental anomalies in children with skin diseases / A. E. Okutan, A. D. Yücelten, A. Menteş // Clinical oral investigations. – 2025. – Vol. 29, № 5. – P. 1–9.
122. Oral bacterial and fungal microbiome and subsequent risk for pancreatic cancer / Y. Meng, F. Wu, S. Kwak [et al.] // JAMA oncology. – 2025. – Vol. 11, № 11. – P. 1331–1340.
123. Oral microbiome and adverse pregnancy outcomes / B. Dodson, T. Suner, E. L. Vander Haar, Y. W. Han // American journal of reproductive immunology. – 2025. – Vol. 93, № 6. – P. 1–5.
124. Oral microbiome and inflammatory bowel disease: new understanding and call to action / M. Saadeh, S. Donohue, S. Ailawadi [et al.] // World journal of gastroenterology. – 2025. – Vol. 31, № 38. – P. 1–9.
125. Oral microbiome profile of the US population [Electronic source] / A. Chaturvedi, E. Vogtmann, J. Shi [et al.] // JAMA network open : electronic journal. – 2025. – Vol. 8, № 5. – URL: <https://jamanetwork.com/journals/jamanetworkopen/fullarticle/2833519>.
126. Orthodontic treatment and oral microbiota changes: a systematic review of oral dysbiosis revealed by 16S rRNA gene analysis / S. Di Nicolantonio, S. Altamura, D. Pietropaoli [et al.] // The Angle orthodontist. – 2025. – Vol. 96, № 1. – P. 114–124.
127. Ponton, E. Comparison of oral microbial profile among patients undergoing clear aligner and fixed orthodontic therapies for the treatment of malocclusions: an updated review [Electronic source] / E. Ponton, P. Rossouw, F. Javed // Dentistry journal : electronic journal. – 2025. – Vol. 13, № 7. – URL: <https://www.mdpi.com/2304-6767/13/7/322>.
128. Prevalence and patterns of five dental anomalies in athletes in qatar: a panoramic radiographic study / A. Hashem, D. Almasri, K. Chamari [et al.] // International journal of dentistry. – 2026. – Vol. 2026. – P. 1–7.

129. Prevalence of dental anomalies in a sample of growing subjects: a retrospective study / F. Di Spirito, G. Scelza, A. Amato [et al.] // *Epidemiologia e prevenzione*. – 2022. – Vol. 46, № 5/6. – P. 376–381.
130. Prevalence of dental anomalies in different facial patterns and malocclusions in an Iranian population / A. Mohammadi Shayan, A. Behroozian, A. Sadrhaghighi [et al.] // *Journal of oral biology and craniofacial research*. – 2022. – Vol. 12, № 5. – P. 525–528.
131. Prevalence of dental anomalies in orthodontic patients / N. Drenski Balijsa, B. Aurer, S. Mestrovic, M. Lapter Varga // *Acta stomatologica Croatica*. – 2022. – Vol. 56, № 1. – P. 61–68.
132. Prevalence of dental anomalies in primary vs. permanent dentition in individuals with non-syndromic cleft lip and palate: a systematic review and meta-analysis [Electronic source] / S. Srivastav, N. Hermann, N. Tewari [et al.] // *Cleft palate craniofacial journal*. – 2025. – URL: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/10556656251398076>.
133. Prevalence of developmental oral anomalies among school children in Port Harcourt: across-sectional study [Electronic source] / E. V. Orikpote, B. B. Osagbemi, G. O. Alade [et al.] // *BioMed Central oral health : electronic journal*. – 2025. – Vol. 25, № 1. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12903-025-07001-2>.
134. Santonocito, S. Oral microbiota changes during orthodontic treatment / S. Santonocito, A. Polizzi // *Frontiers in bioscience (Elite edition)*. – 2022. – Vol. 14, № 3. – P. 1–4.
135. Sedek, E. M. Next generation strategies for enamel repair and regeneration: advances in biomaterials and translational challenges / E. M. Sedek, A. A. Holiel // *Tissue engineering and regenerative medicine*. – 2025. – Vol. 22, № 6. – P. 771–789.
136. Sirichamratsakul, T. Shear bond strength and enamel effects of bioactive composite attachments for clear aligners [Electronic source] / T. Sirichamratsakul, W. Khemaeelakul, S. Sirabanchongkran // *Journal of clinical*

- and experimental dentistry : electronic journal. – 2025. – Vol. 17, № 11. – P. e1305–e1313. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41459119/>.
137. Srinivasan, B. Comparative evaluation of physical and mechanical properties of clear aligners – a systematic review / B. Srinivasan, S. Padmanabhan, S. Srinivasan // Evidence-based dentistry. – 2024. – Vol. 25, № 1. – P. 1–7.
 138. Survey of orthodontic clear aligner practices among orthodontists in croatia / A. M. Milicevic, L. Simunovic, T. Popovic [et al.] // Acta stomatologica croatica. – 2025. – Vol. 59, № 4. – P. 330–343.
 139. Temporary anchorage devices in clear aligner therapy: a systematic review [Electronic source] / G. Marinelli, A. M. Inchingolo, A. D. Inchingolo [et al.] // Bioengineering : electronic journal. – 2025. – Vol. 12, № 5. – URL: <https://www.mdpi.com/2306-5354/12/5/531>.
 140. The effect of canine lingual attachments during maxillary arch distalization with clear aligner: a 4D finite element analysis and in vitro simulator study [Electronic source] / B. Mao, Y. Tian, H. Zhou, Y. Gu // BioMed central oral health : electronic journal. – 2025. – Vol. 25, № 1. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12903-025-06109-9>.
 141. The effects of aligner overtreatment on torque control and intrusion of incisors for anterior retraction with clear aligners: a finite-element study / L. Liu, Q. Song, J. Zhou [et al.] // American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics. – 2022. – Vol. 162, № 1. – P. 33–41.
 142. The effects of palatal anchorage device on molar distalization with clear aligner: three-dimensional finite element analysis / X. Tang, M. Wang, X. Hu [et al.] // American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics. – 2025. – Vol. 168, № 4. – P. 413–422.
 143. The effects of the substrate length and cultivation time on the physical and mechanical properties of mycelium-based cushioning materials from *Salix psammophila* and peanut straw [Electronic source] / X. Song, S. Chen, J. Wu [et al.] // Biomimetics : electronic journal. – 2025. – Vol. 10, № 6. – URL: <https://www.mdpi.com/2313-7673/10/6/371>.

144. The oral microbiome and all-cause mortality in a us population-representative prospective cohort / E. Vogtmann, Y. Yano, J. Shi [et al.] // The journal of infectious diseases. – 2025. – Vol. 232, № 4. – P. 790–795.
145. The oral microbiome and atherosclerosis: current evidence on association, mechanisms, and clinical implications [Electronic source] / Y. Xiao, B. Gong, J. Li, N. Xu // Frontiers in immunology : electronic journal. – 2025. – Vol. 16. – URL:
<https://www.frontiersin.org/journals/immunology/articles/10.3389/fimmu.2025.1640904/full>.
146. The oral microbiome of root caries: a scoping review / R. R. Zhang, J. S. Zhang, S. Huang [et al.] // Journal of dentistry. – 2025. – Vol. 160. – P. 1–13.
147. The oral microbiome-redox-inflammation axis in neurodegeneration: mechanistic insights and therapeutic perspectives / T. T. Vo, M.-H. Tsai, C.-Y. Cheng [et al.] // Biochemical Pharmacology. – 2025. – Vol. 242, pt. 3. – P. 117362.
148. The oral microbiota and periodontal health in orthodontic patients / B. W. Peterson, G.-H. Tjakkes, A.-M. Renkema [et al.] // Periodontology 2000. – 2024. – Vol. 2024. – P. 1–19.
149. The oral microbiota changes in orthodontic patients and effects on oral health: an overview [Electronic source] / M. Contaldo, A. Lucchese, C. Lajolo [et al.] // Journal of clinical medicine : electronic journal. – 2021. – Vol. 10, № 4. – URL:
<https://www.mdpi.com/2077-0383/10/4/780>.
150. The oral-gut microbiome axis in health and disease / B. J. Kunath, C. De Rudder, C. C. Laczny [et al.] // Nature reviews. Microbiology. – 2024. – Vol. 22, № 12. – P. 791–805.
151. The prevalence of developmental dental and eruption anomalies assessed using panoramic radiographs: a retrospective study / B. Hummel, Q. Yu, J. Frazier [et al.] // General dentistry. – 2023. – Vol. 71, № 1. – P. 19–23.
152. The role of hydroxyapatite based, fluoride free toothpastes on the prevention and the remineralization of initial caries lesions: a systematic review and meta-

- analysis / K. Chatzidimitriou, K. Theodorou, K. Seremidi [et al.] // Journal of dentistry. – 2025. – Vol. 156. – P. 1–9.
153. Turkoglu-Boynuyogun, H. Effects of refinement procedures on enamel surface integrity in clear aligner therapy: a 3D micro-CT study [Electronic source] / H. Turkoglu-Boynuyogun, I. Ocak, E. Atik // Angle orthodontist. – 2026. – URL: <https://angle-orthodontist.kglmeridian.com/view/journals/angl/aop/article-10.2319-102225-871.1/article-10.2319-102225-871.1.xml>.
 154. Ünal, H. Y. Comparative effectiveness of remineralization agents on attachment-associated enamel demineralization in clear aligner patients: a 6-month DIAGNO dent-based controlled clinical trial [Electronic source] / H. Y. Ünal, B. Kılıç, E. Eliguzeloglu Dalkilic // BioMed Central oral health : electronic journal. – 2025. – Vol. 26, № 1. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12903-025-07497-8>.
 155. Xia, X.-X. Association between oral microbiome diversity and chronic obstructive pulmonary disease in the US population [Electronic source] / X.-X. Xia, C.-X. Li, H.-R. Guo // Journal of translational medicine : electronic journal. – 2025. – Vol. 23, № 1. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12967-025-06553-9>.
 156. Yalçın, A. Duration-dependent caries risk during clear aligner therapy: a retrospective analysis [Electronic source] / A. Yalçın, N. Kavasoğlu // Biomimetics : electronic journal. – 2025. – Vol. 10, № 11. – URL: <https://www.mdpi.com/2313-7673/10/11/786>
 157. Yangın, A. Clear aligner attachments: a comprehensive review / A. Yangın, H. Camcı, M. Soybelli // Turkish journal of orthodontics. – 2025. – Vol. 38, № 3. – P. 177–189.
 158. Zhang, Y. Next-generation orthodontics: functional resins, biomechanics, biocompatibility, and current clinical reality of direct 3D-printed aligners [Electronic source] / Y. Zhang, B. Wu // Journal of functional biomaterials : electronic journal. – 2026. – Vol. 17, № 3. – URL: <https://www.mdpi.com/2079-4983/17/3/129>.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(рекомендуемое)



Рисунок А1 - Патент на способ лечения зубочелюстных аномалий

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(рекомендуемое)

Индекс гигиены полости рта (индекс Green-Vermillion, ИГР-У, ОНI-S). Визуально с помощью зубоврачебного зонда определяют зубной налет и зубной камень на губных поверхностях 11 и 31, щечных поверхностях 16 и 26 и язычных поверхностях 36 и 46 зубов.

Оценка значений зубного налета (ЗН) проводится по трехбалльной системе:

- 0 - ЗН не обнаружен;
- 1 - мягкий ЗН покрывает 1/3 поверхности зуба или плотный коричневый налет в любом количестве;
- 2 - мягкий ЗН покрывает 2/3 поверхности зуба;
- 3 - мягкий ЗН покрывает 2/3 поверхности зуба.

Индекс зубного налета (ИЗН), рассчитывали по формуле В1:

$$\text{ИЗН} = \text{Сумма показателей 6 зубов} / 6 \text{ (индекс Грин-Вермильона)}, \quad (\text{В1})$$

где – ИЗН - индекс зубного налета.

Оценка значений зубного камня (ЗК) проводится также по трехбалльной системе:

- 0 - ЗК не обнаружен;
- 1 - наддесневой ЗК покрывает 1/3 поверхности зуба;
- 2 - наддесневой ЗК покрывает 2/3 поверхности зуба или имеется в наличии поддесневой ЗК в виде отдельных конгломератов;
- 3 - наддесневой ЗК покрывает более 2/3 поверхности зуба или поддесневой ЗК окружает пришеечную часть зуба.

Индекс зубного камня (ИЗК), рассчитывали по формуле В2:

$$\text{ИЗК} = \text{Сумма показателей 6 зубов} / 6, \quad (\text{В2})$$

где -ИЗК- индекс зубного камня.

Индекс гигиены полости рта (ИГРУ-У) рассчитывали по формуле В3:

$$\text{ИГР-У} = \Sigma (3\text{Н}/n) + \Sigma (3\text{К}/n), \quad (\text{В3})$$

где n - количество зубов;

3Н - зубной налет;

3К - зубной камень.

В результате определяли уровень гигиены полости рта:

0 - 0,6 балла- низкий уровень, хорошая гигиена;

0,7 - 1,6 балла- средний уровень, удовлетворительная гигиена;

1,7 - 3,0 балла- высокий уровень, неудовлетворительна.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(рекомендуемое)

ТЭР - тест проводится с целью определения степени устойчивости поверхностных слоёв эмали к кислотному воздействию и оценки предрасположенности к кариесу (кариесрезистентность).

1) Подготовка зуба:

- Изолируют зуб (чаще верхний центральный резец - 1.2) от слюны.
- Очищают от зубного налёта.
- Тщательно высушивают ватным тампоном.

2) Кислотное воздействие:

- На вестибулярную поверхность наносят каплю 1Н раствора соляной кислоты.
- Через 5 секунд кислоту смывают дистиллированной водой, поверхность повторно высушивают.

3) Окрашивание:

На протравленный участок наносят 1,0 % раствор метиленового синего на 5 секунд. Краситель удаляют сухим ватным тампоном до тех пор, пока интактная (неповреждённая) эмаль не вернётся к исходной окраске.

4) Оценка результата:

Интенсивность окраски повреждённого участка сравнивают со стандартной 10-балльной шкалой оттенков синего цвета (от 0,18 % до 100,0 % концентрации).

Интерпретация результатов:

1-3 балла (0,18-0,75 %): бледная окраска - высокая кариесрезистентность (устойчивость к кариесу);

4-5 баллов (1,5-3,1 %): умеренная кариесрезистентность;

6-7 баллов (6,2-12,5 %): низкая кариесрезистентность;

8-10 баллов (25,0-100,0 %): ярко-синяя окраска - очень низкая кариесрезистентность.

Прогностическая значимость:

Значения до 30 % (1-3 балла) ассоциируются с благоприятным прогнозом (без новых кариозных поражений в течение 12 месяцев).

Значения от 30 до 60 % (4-7 баллов) указывает на средний риск появления новых очагов кариеса в ближайшие 6-12 месяцев.

Показатели $\geq 60\%$ (8-10 баллов) указывают на высокий риск появления новых очагов кариеса в ближайшие 6 месяцев.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(рекомендуемое)

Папиллярно-маргинально-альвеолярный индекс (РМА) - это метод оценки протяжённости и тяжести гингивита. Он используется при профилактических осмотрах, диагностике заболеваний пародонта, лечении гингивита и пародонтита, а также для контроля эффективности терапии.

Подготовка к обследованию:

1) Перед оценкой проводится визуальный осмотр полости рта с использованием зеркал и зонда.

2) Собирается анамнез, при необходимости выполняется пальпация тканей пародонта.

Оценка состояния дёсен:

1) Наносится на дёсны раствор йода или Люголя. Реакция на раздражитель позволяет определить степень воспаления тканей.

2) Учитываются воспалительные реакции в разных зонах десны: межзубных сосочках, маргинальной (краевой) и прикреплённой (альвеолярной) десне.

3) Анализируются все зубы пациента. При потере зубов расчёт ведётся от фактического их количества.

Критерии оценки папиллярно-маргинально-альвеолярного индекса:

0 - Отсутствие воспалительного процесса

1 - Воспаление сосочка

2 - Поражение сосочка и края десны

3 - Обширный воспалительный процесс, распространяющийся на маргинальную и альвеолярную десенную ткань

Расчёт папиллярно-маргинально-альвеолярного индекса проводился по формуле Г1:

Формула расчёта индекса РМА:

$$\text{РМА} = n (\text{сумма показателей в баллах}) / 3 \times n \times 100 \%, \quad (\text{Г1})$$

где n - количество зубов у обследуемого;

коэффициент 3 — это усредняющий множитель.

Число зубов зависит от возраста пациента:

- 1) до 6 лет - 20 зубов;
- 2) 6-11 лет - 24 зуба;
- 3) 12-14 лет - 28 зубов;
- 4) старше 15 лет - 30 зубов.

Критерии оценки степени тяжести гингивита:

- 1) до 30% - начальная (лёгкая) стадия;
- 2) 30-60% - средняя степень тяжести;
- 3) от 60% и более - тяжёлая степень.