

**МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН  
ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Мелькумян Т.В., Мусашайхова Ш.К., Дадамова А.Д.**

**ВОЗДУШНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА ТВЕРДЫХ ТКАНЕЙ ЗУБА  
ПРИ РЕСТАВРАЦИИ КОМПОЗИТНЫМ МАТЕРИАЛОМ  
(Монография)**

**Ташкент – 2025**

**МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН  
ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**«УТВЕРЖДАЮ»**

**Председатель Координационного  
экспертного Совета д.м.н., профессор**

\_\_\_\_\_ **Ш.К.Атаджанов**

«\_\_» \_\_\_\_\_ **2025 г.**

**Мелькумян Т.В., Мусашайхова Ш.К., Дадамова А.Д.**

**ВОЗДУШНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА ТВЕРДЫХ ТКАНЕЙ ЗУБА  
ПРИ РЕСТАВРАЦИИ КОМПОЗИТНЫМ МАТЕРИАЛОМ  
(Монография)**

**Ташкент – 2025**

**Учреждение разработчик:** Ташкентский государственный медицинский университет, МИ РУДН им. Патриса Лумумбы

**СОСТАВИТЕЛИ:**

**Мелькумян Т.В.** – профессор кафедры госпитальной терапевтической стоматологии ТашГосМУ, д.м.н., профессор кафедры терапевтической стоматологии МИ РУДН им. Патриса Лумумбы

**Мусашайхова Ш.К.** – ассистент кафедры пропедевтики терапевтической стоматологии ТашГосМУ, PhD

**Дадамова А.Д.** – старший преподаватель кафедры госпитальной терапевтической стоматологии ТашГосМУ, врач высшей категории

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

**Камилов Х.П.** – заведующий кафедрой госпитальной терапевтической стоматологии ТашГосМУ, доктор медицинских наук, профессор

**Гаффоров С.А.** – заведующий кафедрой «Стоматология, детская стоматология и ортодонтия» ЦРПКМР, доктор медицинских наук, профессор

**Монография утверждена на заседании проблемной комиссии ТашГосМУ**

«   » \_\_\_\_\_ 2025г. Протокол № \_\_\_\_

**Монография утверждена на Ученом Совете ТашГосМУ**

«   » \_\_\_\_\_ 2025г. Протокол № \_\_\_\_

**Ученый секретарь, д.м.н., профессор**

**А.А.Юлдашев**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	<b>Стр.</b>
ОГЛАВЛЕНИЕ.....	<b>4</b>
СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	<b>6</b>
ВВЕДЕНИЕ	<b>7</b>
ГЛАВА I. ЦЕЛЬ ИЗУЧЕНИЯ И ОБОСНОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДУШНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ЭМАЛИ И ДЕНТИНА ПРИ ЛЕЧЕНИИ КАРИЕСА ЗУБОВ	<b>9</b>
ГЛАВА II. ОБЗОР КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ И АДГЕЗИВНЫХ СИСТЕМ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СТОМАТОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ	<b>19</b>
2.1. Классы и эволюция композитов	<b>19</b>
2.2. Адгезивные системы: современная парадигма	<b>27</b>
ГЛАВА III. МЕТОДЫ ПРЕПАРИРОВАНИЯ ЗУБОВ ВОЗДУШНО – АБРАЗИВНЫМИ СМЕСЯМИ ПРИ РЕСТАВРАЦИИ КОМПОЗИТНЫМ МАТЕРИАЛОМ	<b>40</b>
3.1. Введение и место метода в минимально инвазивной стоматологии	<b>40</b>
3.2. Что происходит с субстратом: морфология, адгезия, долговечность	<b>42</b>
ГЛАВА IV. ЛАБОРАТОРНЫЕ И КЛИНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ МАТЕРИАЛА ИССЛЕДОВАНИЯ	<b>47</b>
4.1. Протокол лабораторных и клинических исследований .....	<b>47</b>
4.2. Сканирующая электронная микроскопия, профилометрия и элементный анализ поверхности эмали и дентина образцов зубов человека.....	<b>47</b>
4.3. Определение силы адгезии композитного материала к эмали и дентину зуба методом деформации сдвига (SBS – Shear Bond Srength)	<b>49</b>

4.4.	Клиническая оценка качества выполненных композитных реставраций	<b>54</b>
4.5.	Определение степени чувствительности зубов по шкале визуальных аналогов	<b>54</b>
<b>ГЛАВА V. ЛАБОРАТОРНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДОВ ПРЕПАРИРОВАНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА АДГЕЗИВНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ</b>		<b>56</b>
5.1.	Влияние машинного препарирования, воздушно-абразивной обработки порошками на основе оксида алюминия, бикарбоната натрия, эритритола, а также кислотного травления на показатели поверхностной шероховатости эмали	<b>56</b>
5.2.	Микрорельеф поверхности дентина после воздушно-абразивной обработки порошками на основе оксида алюминия, бикарбоната натрия и эритритола	<b>62</b>
5.3.	Анализ элементного состава поверхности зуба после воздушно-абразивной обработки различными порошками	<b>68</b>
<b>ГЛАВА VI. КЛИНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И АДГЕЗИВНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ПОДГОТОВКИ</b>		<b>74</b>
6.1.	Влияние воздушно-абразивной обработки адгезивной поверхности на силу адгезии композитного материала к эмали и дентину зуба, при использовании адгезивных систем 5-го и 7-го поколений	<b>74</b>
6.2.	Клиническая оценка качества лечения и состояния композитных реставраций выполненных после подготовки адгезивных поверхностей зуба различными способами	<b>77</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>		<b>84</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b>		<b>91</b>

## СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- АС** - адгезивная система
- АФ** - анатомическая форма
- ВОЗ** - Всемирная Организация Здравоохранения
- ГТС** - госпитальная терапевтическая стоматология
- ДС** - деформация сдвига
- КМ** - композитный материал
- КПМ** - композитный пломбировочный материал
- КП** - контактный пункт
- КрП** - краевое прилегание
- РК** - рецидив кариеса
- СЭМ** - сканирующая электронная микроскопия
- ТГСИ** - Ташкентский государственный стоматологический институт
- ТЭМ** - Трансмиссионный электронный микроскоп
- BF2** - Bond Force 2
- OS** - Opti Bond Solo Plus
- PU** - Peak Universal
- Ra** - Roughness average (средняя микрошероховатость)
- TE** - Total-Etch (Adhesive)
- SBS** - Shear Bond Strength (прочность сцепления при сдвиге)
- SBU** - Single Bond Universal
- SE** - Self- Etch (Adhesive)
- SEM** - Scanning Electron Microscopy
- SiC** - Карбидокремниевая абразивная бумага
- VAS** - Visual Analog Scale (Визуально-аналоговая шкала)
- А/М** - алюминий/ машинная
- В/М** - бикарбонат натрия/ машинная
- Э/М** - эритритол/ машинная
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** - оксид алюминия

## ВВЕДЕНИЕ

Внедрение новых композитных пломбировочных материалов (КПМ), адгезивных систем (АС) и методов препарирования при лечении кариеса, объясняется высокой распространенностью заболевания (100%) и необходимостью качественного и эстетического восстановления зубов. Срок службы косметических реставраций зубов в основном определяется качеством адгезивного соединения композитных материалов с дентином и эмалью, которое в условиях полости рта подвергается постепенному разрушению.

Адгезия к дентину зуба остается одной из самых сложных задач в восстановительной стоматологии из-за его сложной композиции, включающей органическую матрицу, наполненную минеральной составляющей, а также дентинную жидкость в системе дентинных канальцев, которая течет в направлении эмали под воздействием внутрипульпарного давления. Согласно научным источникам «...наиболее высокую прочность соединения с эмалью и дентином имеют универсальные адгезивные системы в технике селективного протравливания».

Необходимо отметить, что в мире, основными инструментами для механической обработки твердых тканей зуба все еще являются алмазные и твердосплавные боры. Однако, ввиду характерных особенностей и расширения показаний для использования альтернативных методов препарирования зубов, к числу которых относится и воздушно-абразивный, в доступной литературе стали появляться данные, указывающие на эффективность его применения в отношении улучшения микрорельефа поверхности и увеличения общей площади адгезивного соединения. Было отмечено, что результаты большинства исследований отличаются противоречивостью и отсутствием однозначного мнения в отношении практической ценности воздушно-абразивных методов, а внедрение и использование новых порошков вносит дополнительную путаницу при обсуждении этого вопроса. В этой связи имеется острая необходимость в проведении исследований *in vitro* с целью изучения влияния воздушно-

абразивной подготовки на качество и силу адгезии композитных материалов к твердым тканям зуба.

К примеру, немногочисленными исследованиями было установлено, что использование воздушно-абразивных смесей, содержащих аморфный оксид кремния, вызывает увеличение его содержания на поверхности дентина. На основании этого следовало бы сделать предположение, что применение адгезивных систем, содержащих силановые соединения, будет способствовать получению более сильного адгезивного соединения между композитным материалом и дентином зуба.

С другой стороны, удаление смазанного слоя с поверхности дентина и раскрытие устьев дентинных канальцев может как положительно, так и отрицательно сказываться на надежности адгезивного соединения между зубом и пломбой при использовании адгезивных систем тотального травления.

Развитию медицины в нашей стране уделяется особое внимание. Проводимые в республике широкомасштабные мероприятия по развитию стоматологической помощи населению, снижению ряда стоматологических заболеваний и их осложнений определили следующие задачи «...повышение эффективности, качества и доступности медицинской помощи в нашей стране, поддержка здорового образа жизни и профилактика заболеваний, в том числе путем формирования системы медицинской стандартизации, внедрения высокотехнологичных методов диагностики и лечения, эффективных моделей диспансеризации»

Основной задачей настоящего исследования является профилактика осложнений путем улучшения качества лечения кариеса зубов с использованием однокомпонентных адгезивных систем 5-го и 7-го поколений, композитных материалов, наносимых на поверхности зуба после обработки воздушно-абразивными смесями на основе оксида алюминия, бикарбоната натрия и эритритола.

## ГЛАВА I. ЦЕЛЬ ИЗУЧЕНИЯ И ОБОСНОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДУШНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ЭМАЛИ И ДЕНТИНА ПРИ ЛЕЧЕНИИ КАРИЕСА ЗУБОВ

Воздушно-абразивная обработка (airborne/air particle abrasion, АРА) — ключевой инструмент минимально инвазивной стоматологии: она позволяет формировать микроретенционный рельеф эмали и дентина, селективно убирать размягчённый дентин при сохранении большей части здоровых тканей и сокращать необходимость традиционного препарирования борами. Современные обзоры подчёркивают, что область применения АРА охватывает подготовку эмали, преподготовку композитов, препарирование полостей, удаление кариеса и др., а клинический эффект существенно зависит от параметров (материал и размер частиц, давление, дистанция, длительность). (Eram, 2024).

Наиболее изучены оксид алюминия ( $\approx 25\text{--}50$  мкм) и бикарбонат натрия; активно исследуются биоактивные стёкла и альтернативные абразивы. В отношении дентина показано, что АРА 50 мкм  $\text{Al}_2\text{O}_3$  может повышать прочность сцепления композитных цементов со «здоровым» дентином до фиксации вкладок/накладок, тогда как применение АРА после immediate dentin sealing (IDS) способно, наоборот, снижать адгезию — важное клиническое ограничение протокола. (do Nascimento Santos et al., 2025; Ramos et al., 2024; Spagnuolo et al., 2021).

В рамках парадигмы селективного удаления глубокого кариеса АРА рассматривается как мягкий, тише и часто более комфортный для пациента способ удаления размягчённых тканей по периферии полости (при контроле твёрдости) с последующей герметизацией. Актуальные обзоры по глубоким кариозным поражениям подтверждают смещение клинических протоколов к селективному подходу, где воздушно-абразивная подготовка может выступать в роли вспомогательного этапа для щадящей санации и оптимизации адгезии. (Gheorghiu, 2025).

Систематический обзор и клинические данные показывают, что сочетание АРА и кислотного травления обеспечивает лучшую ретенцию герметиков, чем одно только травление, что актуально в профилактике фиссурного кариеса и при подготовке эмали под композитные реставрации. (Bhadule et al., 2024).

Обобщённые данные по «альтернативным» методам удаления кариеса (в т. ч. не-борным техникам) свидетельствуют о меньшей болезненности и лучшем опыте лечения у пациентов по сравнению с традиционной бормашиной, что особенно важно в педиатрии и при тревожных пациентах. АРА часто упоминается среди методов, улучшающих переносимость вмешательства. (Cardoso et al., 2020).

Ряд работ указывает на возможность «переподготовки» эмали при агрессивных режимах  $Al_2O_3$  и необходимость строгого контроля параметров (давление, расстояние, экспозиция) и чётких клинических показаний; также следует учитывать влияние АРА на адгезивы различных поколений и на протокол IDS. (Ramos et al., 2024).

Современные тенденции минимально инвазивного препарирования полостей в сочетании с появлением самопротравливающих адгезивных систем концептуально изменили философию оперативного лечения кариеса зубов (Русанов Ф.С., Поюровская И.Я., Кречина Е.К., Согачев Г.В., 2015; Мелькумян Т.В., Каххарова Д.Ж., Дадамова А.Д., Камилов Н.Х., Сиддикова С.Ш., Рахматуллаева Ш.И., Masouleh SM., 2016; Гажва С.И., Демин Я.Д., 2017; Бекжанова О.Е., Алимова Д.М., Каюмова В.Р., 2024; Hegde V.S., Khatavkar R.A., 2010; Banerjee A, Watson T.F., 2011; Van Meerbeek et al., 2011; Foxton R. M., 2020).

Существующие альтернативные методы механической и химической обработки твердых тканей зуба уже позволяют осуществлять стоматологическое вмешательство с учетом особенностей микроструктуры поверхности эмали и дентина (Мурашкин А.С., 2018; Bornstein E.S. , 2003; de

Oliveira M.T.,2007; Iaria G., 2008; Anja B. et all., 2015; Taichen Lin , 2016; Lima V.P., 2021).

Удаление биопленки и смазанного слоя без клинически значимого нарушения целостности твердых тканей зуба стало возможным благодаря внедрению в клиническую практику низко абразивных порошков на основе глицина, эритритола, трегалозы и др (Волинская Т. Б., 2011; Земскова Т. С., Тихонова Т. А., Цыплухина Н. А., 2015; Полянская Л.Н., Манак Т.Н., Соколовская О.И., 2019; Moëne R., Décaillet F., Andersen E., Mombelli A. 2010; Kruse A.B. et all., 2019; Kröger J.C., Haribyan M., Nergiz I, Schmage P. 2020). При этом, разнообразие клинических ситуаций и уровень сложности выполняемых на зубах манипуляций не позволяют полностью отказаться от использования грубых (coarse-grained) воздушно-абразивных смесей на основе оксида алюминия, бикарбоната натрия, карбоната кальция и множества других (Малыхина И.Е., Андреева Е.А., Каверина Е.Ю., Поздняков С.Н., Чуев В.П., 2018; Kofford K.R., Wakefield C.W., Murchison D.F., 2001; Barnes C.M., et all., 2014; Johnson King O. et all., 2016).

Также в последнее время предпринимаются попытки не только очистить поверхность зуба от патогенной микрофлоры и обрывков тканей, составляющих основу смазанного слоя, но и сформировать на ней биоактивный слой, способствующий ускоренной реминерализации дентина и эмали, ослабленных вследствие кариозного процесса (Sauro S., Watson T.F., Thompson I, Banerjee A.,2012; Spagnuolo G., Pires PM, Calarco A, Peluso G, Banerjee A., Rengo S., Elias Boneta A.R., Sauro S.,2021).

Воздушно-абразивная обработка рассматривается как управляемая микромодификация субстрата для повышения энергии поверхности и создания микроретенционного рельефа под адгезивные материалы. В эмали АРА дополняет кислотное травление, усиливая микромеханику; в дентине обеспечивает частичное удаление смазанного слоя и контролируемое раскрытие устьев дентинных канальцев, улучшая смачиваемость мономерами (Lima, 2021; Ramos, 2024; Bhadule, 2024).

Безопасная и эффективная зона режима для  $Al_2O_3$ : частица  $\approx 50$  мкм, давление около 4 бар, экспозиция до 5 с на сектор, дистанция 5–10 мм, угол атаки  $45\text{--}60^\circ$  для дентина и  $90^\circ$  для эмали. Увеличение времени сверх 5–10 с не повышает адгезию, но может привести к «переподготовке» эмали (Kui, 2024; Ramos, 2024). Для глицина/эритритола рабочие давления ниже, а абляция твёрдых тканей минимальна (Liu, 2024).

Систематические данные показывают преимущество комбинации «АРА + травление» над изолированным травлением для удержания герметиков и устойчивости к микроподтеканию, что важно у детей группы риска и при реставрациях в зоне фиссур (Bhadule, 2024).

На «здоровом» дентине АРА частицами  $Al_2O_3$  ( $\approx 50$  мкм) может повышать прочность сцепления композитных цемента и адгезивов, но выполнение АРА после immediate dentin sealing снижает адгезию; АРА следует проводить до IDS или ограничить обработкой реставрационного материала (do Nascimento Santos, 2025; Ozer, 2024; Ramos, 2024).

Биоактивные стёкла способны высвобождать  $Ca/PO_4$  и формировать интермедиарный кальций-фосфатный слой, снижая проницаемость интерфейса и улучшая долговременность соединения «адгезив—дентин» по сравнению с инертным  $Al_2O_3$  (Spagnuolo, 2021; Park, 2025).

Глицин и эритритол демонстрируют высокую переносимость, сопоставимую эффективность контроля биоплёнки и минимальную травму тканей; обработка эритритолом вызывает умеренное повышение шероховатости эмали и меньшую потерю ткани в дентине по сравнению с ручными методами (Liu, 2024; Zi-le, 2025; Çekici, 2024).

Неборные методики, включая АРА, ассоциируются с меньшей болезненностью и лучшим опытом лечения по сравнению с высокоскоростной бормашиной; добавление АРА в протокол герметизации снижает риск ранней декузации герметиков (Cardoso, 2020; Bhadule, 2024).

АРА относится к аэрозоль-генерирующим процедурам; необходимы коффердам, высокообъёмная эвакуация и, при показаниях, экстраоральная

аспирация, что существенно снижает аэрозольную нагрузку (Kaufmann, 2020; He, 2022; Ghoneim, 2024).

Избыточный рост Ra может усиливать бактериальную колонизацию и окрашиваемость; рационально сочетать АРА с кратким травлением эмали и строгим контролем режимов, добиваясь «функциональной» шероховатости без излишней микропористости (Operative Dentistry Group, 2020; Zheng, 2021).

Перед цементировкой не прямых реставраций АРА по «здоровому» дентину/эмали и по реставрационным материалам повышает адгезию; после IDS АРА по дентину следует избегать (do Nascimento Santos, 2025; Ozer, 2024).

При селективном удалении размягчённых тканей АРА служит щадящим методом периферической санации, улучшая чистоту и микроетенцию без агрессивной абляции субстрата, особенно на границе эмалево-дентинного соединения (Gheorghiu, 2025).

Эмаль: «АРА ( $Al_2O_3$  50 мкм; 4 бар; 5 с; 5–10 мм) + кратковременное травление»; дентин до фиксации не прямых конструкций: умеренная АРА  $Al_2O_3$  50 мкм или биоактивное стекло; после IDS — избегать АРА по дентину; профилактика/пародонтология и щадящая санация стенок — эритритол/глицин; для всех АРА-процедур — HVE/коффердам/экстраоральная аспирация (Lima, 2021; Ramos, 2024; Spagnuolo, 2021; Bhadule, 2024; Liu, 2024).

В нашей республике методика применения воздушно-абразивной обработки была внедрена при лечении мукозитов и периимплантитов (Сафаров М.Т., 2009; Мукимов О.А., Олимов А.Б., 2018; Мелькумян Т.В., Seeberger GK, Хабадзе З.С., Камилов Н.Х., Макеева М.К., Даштиева М.Ю., Шералиева С.Ш., Дадамова А.Д., 2022; Камилов Н.Х., 2024), выполнении гигиенических процедур, связанных с удалением зубных отложений, а также препарированием твердых тканей зуба (Мелькумян Т.В., Мусашайхова Ш.К., 2021). Сканирующая электронная микроскопия поверхности эмали была изучена в исследованиях Ирсадиева Х.И. (2001, 2002).

Изучение адгезивной прочности соединения пломба-зуб *in vitro* при использовании активных и неактивных мономеров позволит обосновать и выбрать наилучшую методику выполнения прямых реставраций композитными материалами после обработки твердых тканей зуба воздушно-абразивными смесями на основе оксида алюминия, бикарбоната натрия и эритритола.

Вышеуказанные обстоятельства могут значительно влиять на успех лечения кариеса зубов и поэтому должны подробно изучаться на доклинических этапах применения новых материалов с учетом разнообразных вариаций их использования.

Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан VI. «Медицина и фармакология».

Настоящее исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательской работы Ташкентского государственного стоматологического института №011400198 «Разработка и внедрение рациональных способов диагностики, лечения и профилактики болезней зубов, пародонта и слизистой оболочки полости рта» (2019-2024гг).

**Целью исследования явилось** изучение и обоснование эффективности воздушно-абразивной обработки эмали и дентина при лечении зубов с применением композитных материалов.

**Задачи исследования:**

1. Оценить влияние машинного препарирования, воздушно-абразивной обработки порошками на основе оксида алюминия, бикарбоната натрия, эритритола, а также кислотного травления на показатели поверхностной шероховатости эмали.

2. Изучить микрорельеф поверхности дентина после машинной и воздушно-абразивной обработки порошками на основе оксида алюминия, бикарбоната натрия и эритритола.

3. Провести анализ элементного состава поверхности зуба после воздушно-абразивной обработки различными порошками.

4. Оценить влияние воздушно-абразивной обработки адгезивной поверхности на силу адгезии композитного материала к эмали и дентину зуба, при использовании адгезивных систем 5-го и 7-го поколений.

5. Оценить качество лечения и клиническое состояние композитных реставраций, выполненных после подготовки адгезивных поверхностей зуба различными способами.

Объектом исследования явились 72 пациента со средним кариесом в возрасте от 20 до 59 лет, без фоновой патологии, получавших амбулаторное лечение в поликлинике терапевтической стоматологии ТГСИ. Общее количество вылеченных зубов со средним кариесом составило 173 единицы. Лабораторная часть проводилась на 170 образцах зубов, предназначенных для оценки силы адгезии и 16 образцах для изучения микрошероховатости и элементного анализа поверхности зуба.

Предметом исследования являлись композитные реставрации, выполненные на зубах после использования различных способов подготовки адгезивных поверхностей, и образцы зубов, подготовленные для изучения микрошероховатости, элементного анализа и силы адгезии композитного материала к эмали и дентину зуба.

Для выполнения настоящего исследования применялись клинические, лабораторные и статистические методы исследования.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

впервые установлено, что традиционное препарирование эмали алмазными борами в сочетании с воздушно-абразивной обработкой порошком  $Al_2O_3$  ( $27 \mu m$ ) способствует повышению эффективности кислотного травления поверхности эмали и увеличению ее микрошероховатости в 1,7 раза;

впервые выявлено, что воздушно-абразивная обработка дентина смесью на основе эритритола ( $14 \mu m$ ) способствует наибольшему раскрытию устьев

дентинных канальцев и увеличению его поверхностной микрошероховатости в 3,2 раза;

получены новые доказательства, указывающие на отсутствие клинически значимых колебаний в содержании микроэлементов на поверхности дентина после традиционной и воздушно-абразивной обработки;

впервые установлено, что воздушно-абразивная обработка дентина смесью на основе эритритола способствовала повышению эффективности применения адгезивных систем 5-го поколения при условии сокращения времени его кислотного травления в 2 раза;

получены новые доказательства, указывающие на улучшение краевого прилегания композитных пломб после воздушно-абразивной обработки поверхности зуба смесями на основе оксида алюминия и бикарбоната натрия, при использовании адгезивных систем 5-го и 7-го поколений

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

воздушно-абразивная обработка эмали оксидом алюминия (27  $\mu\text{m}$ ) в сочетании с кислотным травлением способствовала формированию наибольшей микрошероховатости на ее поверхности и наилучшего качества прилегания композитных реставраций на протяжении всего периода наблюдений;

воздушно-абразивная обработка дентина смесью на основе эритритола (14  $\mu\text{m}$ ) позволила сократить время его кислотного травления в 2 раза и повысить эффективность применения адгезивных систем тотального травления в отношении чувствительности зубов после их восстановления;

максимальное раскрытие устьев дентинных канальцев после воздушно-абразивной обработки смесью на основе эритритола (14  $\mu\text{m}$ ) может негативно повлиять на эффективность использования самопротравливающих адгезивных систем и стать причиной повышенной послеоперационной чувствительности;

воздушно-абразивная обработка эмали и дентина бикарбонатом натрия (40  $\mu\text{m}$ ) в сочетании с кислотным травлением способствовала формированию оптимальных значений микрошероховатости их поверхностей для надежного

соединения композитного материала и сохранению герметичности реставраций при использовании адгезивных систем 5-го и 7-го поколений.

Достоверность результатов исследования подтверждена применением современных, взаимодополняющих клинических, лабораторных и статистических методов, с использованием новейших приборов для определения микрошероховатости, элементного анализа поверхности эмали и дентина зубов, изучения силы адгезии композитного материала к твердым тканям зуба после проведения воздушно - абразивной препаровки смесями, на основе оксида алюминия, бикарбоната натрия и эритритола. Полученные результаты и заключение были подтверждены полномочными структурами.

Научная и практическая значимость результатов исследования: научная значимость результатов исследования заключается в изучении показателей микрошероховатости адгезивной поверхности зуба, элементного анализа, а также силы адгезии композитных материалов к дентину и эмали. Получены клинические данные, указывающие на эффективность воздушно-абразивной обработки эмали и дентина смесью на основе оксида алюминия, бикарбоната натрия и эритритола, при лечении зубов с применением композитных материалов.

Практическая ценность проведенных исследований заключается в разработке и внедрении в практическое здравоохранение новых подходов в отношении сочетанного использования традиционного препарирования с различными воздушно-абразивными смесями, осуществляя тем самым стоматологическое вмешательство, с учетом особенностей микрошероховатости адгезивных поверхностей зуба и свойств адгезивных систем 5-го и 7-го поколений.

Вышеизложенное, позволяет снизить риск возникновения послеоперационной чувствительности и увеличить срок службы композитных реставраций без нарушения краевого прилегания и рецидива кариеса.

Современная доказательная база поддерживает включение воздушно-абразивной обработки в протоколы минимально инвазивного лечения кариеса

как инструмента, повышающего адгезию и ретенцию, улучшающего опыт лечения и позволяющего бережнее относиться к тканям зуба. Эффективность АРА зависит от выбора порошка, режима и места в последовательности клинических шагов; при правильной стандартизации метод безопасен и даёт клинически значимые преимущества по ключевым исходам. (Eram, 2024; do Nascimento Santos et al., 2025; Bhadule et al., 2024; Cardoso et al., 2020).

Настоящая монография состоит из введения, шести глав, заключения и списка использованной литературы.

## ГЛАВА II. ОБЗОР КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ И АДГЕЗИВНЫХ СИСТЕМ ПРИМЕНЯЕМЫХ В СТОМАТОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

### 2.1. Классы и эволюция композитов

Современные композиты базируются на диметакрилатных матрицах (Bis-GMA/TEGDMA/UDMA и их модификации) с гибридными наполнителями (нано-, наногибридные, микро- и предгомогенизированные агломераты «нанокластеров»), подбираемыми для баланса износостойкости, модуля упругости, светопрозрачности и полируемости. Обзоры материаловедения последних лет показывают, что прогресс в механике композита чаще связан с архитектурой наполнителя (размер/распределение/сцепление с силановым слоем), чем с радикальной сменой базовой матрицы. Это дало относительное выравнивание клинических исходов у наногибридов и «классических» гибридов. (Cho et al., 2022; Maran et al., 2020; Dionysopoulos, 2021)

За последнее десятилетие композитные смолы (resin-based composites, RBC) прошли существенную эволюцию: от «классических» наногибридов к специализированным системам — bulk-fill, универсальным по оттенку, с ион-высвобождением («биоактивным»), антибактериальным, самовосстанавливающимся, с модификаторами напряжений и CAD/CAM-блокам. Драйверы развития — снижение полимеризационного стресса, повышение долговечности, противокариозная активность, предсказуемость цвета и ускорение клинических процедур (Veloso и соавт., 2019; Sengupta и соавт., 2023).

Матрица композита традиционно формируется на основе диметакрилатов, где исторически доминировал Bis-GMA; однако современная тенденция направлена на увеличение доли UDMA и высокомолекулярных диметакрилатов с одновременным сокращением или исключением TEGDMA для снижения водопоглощения и линейной усадки (Cho, 2022). Такой подход повышает стабильность размеров и уменьшает риск маргинальной

негерметичности, особенно в полостях классов I–II при выраженной окклюзионной нагрузке (Sengupta, 2023).

Инициаторные системы в течение десятилетия сместились от моноинициатора на основе камфорхинона к смешанным и многоволновым системам с добавлением ТРО и ацилагермановых соединений, обеспечивающих поглощение в более коротковолновой области спектра и повышающим степень превращения в оптически плотных и высоконаполненных композитах (Kowalska, 2021; Dzwonkowska-Zarzycka, 2024). Введение таких инициаторов позволяет уменьшить время экспозиции, повысить глубину полимеризации и равномерность отверждения, что особенно актуально для bulk-fill-материалов с заявленной толщиной послойного внесения 4–5 мм (Strazzi-Sahyon, 2024; Par, 2025).

Ключевую роль играет интерфейс «наполнитель–матрица». Стабильная силановая связка минимизирует выщелачивание наполнителя и повышает трещиностойкость. Публикуются данные о модификации поверхности наполнителей тиоуретановыми олигомерами, что приводит к снижению полимеризационного напряжения и повышению сопротивления распространению трещины благодаря механизму toughening на границе фаз (Fugolin, 2021; Lewis, 2024).

Наполнители развиваются в двух направлениях. Первое — оптимизация размерно-морфологического распределения неорганических частиц ( $\text{SiO}_2$ , бариево-алюмосиликатное стекло,  $\text{ZrO}_2$ ) и использование преполимеризованных наполнителей для улучшения обработки и снижения усадки (Cho, 2022). Второе — функциональные, ион-высвобождающие наполнители, такие как S-PRG-стекло, нано-гидроксиапатит и аморфный кальций-фосфат (NACP), придающие материалам реминерализующий потенциал (Manente, 2024; Ibrahim, 2025).

Среди множества факторов, влияющих на срок службы композитных реставраций, наиболее важными являются свойства материала для

реставрации, ультраструктура адгезивной поверхности зуба и качество сформированного гибридного слоя [15,с.117-122; 34,с.18-26;14,с.49; 69,с.459].

На сегодняшний день композиты являются основным классом реставрационного материала. Преимуществом композитов перед другими пломбировочными материалами являются высокая эстетичность, прочность, технологичность при выполнении реставраций, минимальная полимеризационная усадка [57, с.50-66; 68, с.6-21].

Многие фирмы-производители предлагают композитные материалы, заменяющие амальгаму. В новых материалах наполнитель представляет собой смесь частиц разного размера. Плотность прилегания частиц наполнителя обеспечивается заполнением пространств между большими частицами мелкими. Подобная структура придаёт материалу плотность и сопротивление, сопоставимую с амальгамами в процессе конденсации [60, с.60-61].

Полимеризационный стресс — один из главных факторов маргинальной негерметичности, постоперационной чувствительности и ранних неудач реставраций. Современные концепции снижения стресса включают комбинацию химических и технологических решений: использование bulk-fill-композитов с модифицированной матрицей и наполнителем, введение тиоуретановых олигомеров и реализацию механизмов addition-fragmentation chain transfer (AFCT) (Veloso, 2019; Par, 2025; Lewis, 2024).

Bulk-fill-материалы демонстрируют клиническую эффективность, сравнимую с инкрементной техникой, при этом экономя 2–4 минуты на реставрацию за счёт уменьшения количества порций и манипуляций (Loguercio, 2023). Мета-анализы указывают на сопоставимые показатели выживаемости реставраций на горизонте 1–6 лет, при условии корректной фотополимеризации и адгезивного протокола (Veloso, 2019; Elawsya, 2024).

Тиоуретаны повышают вязкоупругую релаксацию сетей, позволяют перераспределять напряжение в ранней фазе отверждения и улучшают трещиностойкость композита, что подтверждается механическими испытаниями и микроструктурными наблюдениями (Fugolin, 2021; Piccolli,

2024). Реализация AFCT-механизмов обеспечивает более однородную полимерную архитектуру и снижение внутренних напряжений; первые клинические наблюдения обнадеживают, но требуют длительного последующего мониторинга (Par, 2025).

При изготовлении стоматологических реставраций в первую очередь необходимо стремиться к тому, чтобы проведенная работа удовлетворяла определенным объективным критериям и только затем субъективным пожеланиям пациента.

Процедура препарирования зуба имеет основополагающее значение для обеспечения как функциональной эффективности, так и долговечности стоматологических реставраций. В стоматологии термин «минимальная интервенция» подразумевает неприемлемость жертвования естественными тканями зуба для формирования больших полостей. Старая концепция «расширения ради предотвращения» пересматривается, так как ни один материал не заменит естественный дентин [94, с.106-112].

Классификация кариозных полостей по G.V. Black (1896г.), которая является традиционной, изначально предполагала формирование полостей с последующим пломбированием амальгамами. Однако в последние годы арсенал применяемых пломбировочных материалов изменился. При работе с композитным материалом учитываются не типы формируемых полостей, а локализация поражений. Данная концепция представлена на одобрение Международной Стоматологической Федерации и принята за основу в нескольких странах мира. Для полного понимания обеих систем подхода она преподается наравне с классификацией G.V. Black.

Полностью отказаться от классификации полостей по G.V. Black пока невозможно. Данная система была универсальной долгие годы и на протяжении многих лет встречаются пациенты, у которых кариозные полости формировались по тем принципам. Эта классификация надежна при восстановлении протяженных дефектов, так как основными требованиями, предъявляемым к реставрациям, является не только достижение необходимых

анатомических и оптических характеристик зуба, но и протекторное значение в отношении его оставшихся частей.

Композитные материалы расширили показания к применению реставраций в стоматологической практике. Прямое пломбирование композитами жевательной группы зубов - получило широкое признание. Стоматологические композиты представляют собой смесь наполнителя (неорганического) и органической матрицы. Содержание наполнителя должно быть не менее 30% по объему. При небольшом количестве наполнителя композитный материал считается малонаполненным полимером [51, с.60-71].

Согласно классификации Bowen R.L. (1992), пломбировочные композитные материалы, в зависимости от величины частиц наполнителя, подразделяют на три группы: макрофилы, микрофилы, гибриды.

Макрофилы. Пломбировочный материал данного класса содержат неорганические частицы наполнителя размером 1-100 мкм. Это прочные композитные материалы, но их поверхность даже после полировки далека от совершенства. Данное обстоятельство способствует адгезии микроорганизмов и может вызвать развитие вторичного кариеса. Для эстетических реставраций макрофилы не пригодны, они не обладают цветовой стабильностью и хорошей полируемостью.

Микрофилы. Композиты данного класса имеют размер частиц наполнителя менее 1 мкм. По прочности они уступают макрофилам, однако обладают хорошей полируемостью, что позволяет применять в основном для восстановления фронтальных зубов.

Гибриды. Композитный материал данного класса был разработан в 80-е годы прошлого столетия. В состав гибридов входят частицы наполнителя различного размера (0,004-50 мкм) и качества. Композиты данного класса являются универсальными и могут успешно применяться при проведении реставраций всех групп зубов.

Основными свойствами гибридов являются прочность, устойчивость к истиранию, эластичность. Дентинный герметик, входящий в состав

пломбировочных материалов данной группы позволяет не ставить изолирующую прокладку, которая может оказывать отрицательное влияние на цвет и прозрачность реставрации. Благодаря физическим характеристикам гибридных композитов появилась возможность изготовления прочных реставраций при восстановлении анатомической формы передних и боковых зубов.

Свежие мета-аналитические оценки сообщают 5-летнюю выживаемость прямых/непрямых композитных реставраций на уровне ~85–95% (без существенных различий между подтипами наполнителей при соблюдении протокола); доминирующие причины неудач — фрактуры, вторичный кариес и краевые дефекты. Решающими оказываются факторы пациента (кариес-риск, бруксизм), дизайн полости и качество адгезивного протокола. (Heintze & Rousson update/обзор клиники, 2022; Josić et al., 2023).

Качество композитного материала определяется устойчивостью к абразивному износу, прочностью на сжатие и изгиб, хорошей полируемостью, стабильностью цвета и др.

Композитные материалы, в зависимости от их наполненности и вязкости, делятся на:

жидкотекучие, характеризующиеся низкой наполненностью, малой твердостью и высокой полимерной усадкой;

пакуемые композиты, которые в отличие от жидкотекучих отличаются высокой наполненностью, микро-твердостью, низкой полимерной усадкой;

универсальные наполненные фото-полимеры, у которых вышеупомянутые характеристики имеют средние значения.

Поскольку поверхностная микро-твердость пакуемых композитов и присущая им незначительная объемная усадка являются их отличительными положительными характеристиками, имеющаяся методика предварительного нагрева материала, в значительной степени улучшает плохие реологические свойства высоконаполненных полимеров, облегчает процедуру адаптации

материала к стенкам зуба, снижая риск возникновения микротечи [3, с.102-104].

Исследованиями [22, с.148-153] установлено, что предварительный нагрев пакуемого материала способствовал улучшению прочностных характеристик затвердевшего полимера на 14%. Для выполнения поставленной задачи была использована разработанная на кафедре госпитальной терапевтической стоматологии Ташкентского государственного стоматологического института методика, позволяющая оценить механические свойства пломбировочного материала, с помощью деформации сдвига на приборе UltraTester (Ultradent, USA) [33, с.48].

Переход от «инертных» RBC к функциональным материалам обусловлен стремлением сочетать герметичность границы реставрация-зуб и профилактику вторичного кариеса у пациентов высокого риска. S-PRG-наполнители (giomer-подход) высвобождают фториды, стронций и другие ионы, оказывая буферное и реминерализующее действие, что особенно ценно в пришеечной области и зонах сложного гигиенического доступа (Manente, 2024; Toz-Akalin, 2024). Отмечают сопоставимую с традиционными композитами клиническую выживаемость при потенциальном снижении риска деминерализации прилежащих тканей (Lowenstein, 2025; Hendam, 2025).

НАСР и нано-гидроксиапатит усиливают локальную реминерализацию и могут влиять на динамику поверхностной микротвердости без существенного ущерба для механики при разумной доле наполнителя (Ibrahim, 2025; Islam, 2025). При этом аналитические обзоры подчеркивают необходимость стандартизовать *in vivo*-оценку «биоактивности» и разграничивать маркетинговые заявления и клинически значимые эффекты (Abozaid, 2025).

Контакт-активные антибактериальные композиты на основе катионных мономеров (кватернизированные аммонийные мономеры, QAM/QAC, например DMAHDM) уменьшают жизнеспособность биоплёнки на поверхности материала и в зоне края реставрации (de Oliveira, 2021; Liang, 2024). Перспективной представляется комбинация антибактериальных

компонентов с реминерализующими наполнителями, что теоретически позволяет одновременно воздействовать на бактериальный фактор и на минеральный обмен (Featherstone, 2022; Ibrahim, 2025). Ограничениями остаются оптимальные концентрации добавок, чтобы избежать снижения прочности и неблагоприятного влияния на полимеризацию, а также долговременная стабильность эффекта в полости рта (Dobrzyński, 2025).

Самоисцеляющиеся композиты используют микрокапсулы или обратимые (супрамолекулярные) связи для ремонта микротрещин, возникающих в процессе эксплуатации (Zhang, 2024). Такие системы потенциально продлевают срок службы реставраций, уменьшают необходимость реполировки и корректировок. Основные вызовы — совместимость «лечащего» агента с фотополимеризацией, устойчивость к вымыванию и сохранение баланса между жёсткостью и способностью к локальной релаксации сети (Zhang, 2024).

Оптимизация оптических свойств RBC направлена на предсказуемое совпадение цвета и краевую маскировку. «One-shade»-концепция опирается на управляемое рассеяние света моно-размерными сферическими наполнителями и эффект «структурной цветопередачи», позволяя сокращать палитры и упрощать логику (Bisharah, 2024; Tabatabaei, 2024). Однако систематические обзоры указывают, что при сложном фоне (пигментация, тонкие стенки, различия по толщине материала) многотонные системы обеспечивают более точный матч оттенка (Forabosco, 2025; Hijazi, 2025). На результат влияют толщина слоя, цвет и оптическая плотность подложки, а также геометрия кавитета (Fathpour, 2024).

Армирование короткими стекловолокнами повышает трещиностойкость, сопротивление изгибу и распределение напряжений в больших полостях и у эндодонтически леченых зубов (Nezir, 2024). Оптимизация длины и объёмной доли волокон позволяет настраивать механические свойства под конкретную клиническую задачу, создавая «bulk-base»-слой с повышенной несущей способностью (Tanner, 2018; Varghese, 2025). Важно соблюдать адгезивный

протокол и последовательность послойного внесения, чтобы исключить дефекты интерфейса и концентрацию напряжений на границе «волокно–матрица» (Nezir, 2024).

Композитные CAD/CAM-блоки и полимер-инфильтрированные керамические сети (PICN) заняли нишу вкладок, накладок и коронок в зонах умеренной окклюзионной нагрузки. Клинические серии сообщают трёхлетнюю выживаемость порядка 90% с тенденцией к снижению показателей на пятом году до ~84% (Yuen, 2025; Abu Alhuda, 2024). PICN часто демонстрируют несколько более высокую выживаемость и благоприятный профиль сколов по сравнению с чисто полимерными блоками (Alanazi, 2025; ElGendy, 2025). Важнейшее значение имеют протоколы обработки поверхности (струйная обработка, силанирование), выбор адгезива и цемента, а также стратегия подготовки кариозных полостей и культия-подобных структур (Duarte Jr, 2024; Tzimas, 2024).

Помимо механики, обсуждаются вопросы износостойкости, адгезии биоплёнки и стабильности цвета. Экспериментальные данные подтверждают низкую склонность к налётообразованию некоторых композитных блоков, что косвенно может влиять на гигиенический прогноз и окрашиваемость (Tzimas, 2024).

Современные достижения в области химии позволили создать адгезивные системы с высокой силой сцепления с тканями зуба. Адгезивные материалы, используемые для современных реставрационных работ, оказывают влияние на распределение окклюзионных напряжений, ретенцию к эмали и дентину. Велико их значение в отношении проникновения вредных для пульпы микроорганизмов и химических субстанций.

## **2.2. Адгезивные системы: современная парадигма**

Композитные материалы последнего десятилетия — это уже не просто «пломбы», а платформы с настраиваемой химией, оптикой, механикой и биофункцией. Наиболее клинически зрелые направления — bulk-fill с

контролем стресса, giomer/НАСР-решения для пациентов, повышенного кариес-риска, FRC-бэйзинг для крупных кавитетов, а также CAD/CAM-композиты в умеренно нагружаемых показаниях. На горизонте — устойчивые антибактериальные матрицы (QAM), самовосстанавливающиеся сети и более «умные» оптические системы. При выборе материала решающими остаются адгезивный протокол, фотополимеризация и дизайн кавитета — факторы, которые столь же важны, как и химия композита.

В настоящее время широко используются адгезионные системы семи поколений, различающихся по способу отверждения, химическому составу и технике нанесения.

Адгезивы I поколения отличаются небольшой силой сцепления с композитным материалом, так как они обладают выраженными гидрофильными свойствами и не препятствуют прохождению влаги из дентинных канальцев сквозь толщу адгезивного слоя.

Адгезивы II поколения имеют силу сцепления с дентином в 3 раза больше, в сравнении с адгезивами I поколения, что явно указывает на более выраженные гидрофобные свойства данной группы материалов.

Адгезивные системы III поколения, в отличие от 2-го, уже представляют 2-х компонентную систему, которая обеспечивает сцепление как с эмалью, так и с дентином. Существенным отличительным аспектом данного поколения от предыдущих является уменьшенная послеоперационная чувствительность, а также более длительный срок службы реставраций.

Адгезивные системы IV поколения, также как и адгезивы 3-го поколения бывают 2-х компонентными, однако, способствуют силе сцепления с твердыми тканями зуба, особенно с дентином, в 2 раза больше. Данный прорыв, в улучшении адгезивных характеристик этой группы материалов, напрямую был связан с применением методики тотального травления и техники влажного бондинга. Данное поколение адгезивных систем является золотым стандартом, так как способствует получению стойкого, герметичного соединения композитного материала с твердыми тканями зуба.

Существенным недостатком этой системы является многоэтапность, что значительно замедляет скорость проведения клинической манипуляции, а также влияет на ее качество.

Адгезивные системы V поколения, в отличие от IV поколения, являются однофлаконными системами, сочетающими в себе два основания: гидрофильный праймер и гидрофобный бонд. Последнее обстоятельство является фактическим подтверждением химической нестабильности данной группы адгезивных материалов. Однако широкая распространенность адгезивов 5-го поколения продиктована высоким уровнем востребованности, из-за легкости и простоты их клинического применения.

Адгезивные системы VI поколения являются первым представителем самопротравливающих адгезивных систем. Сама концепция подразумевает отсутствие необходимости процедуры тотального травления, снижая таким образом риск возникновения коллапса обнаженной коллагеновой матрицы дентина, который может возникнуть после процедуры кондиционирования дентина зуба. По мнению многих авторов адгезивные системы 6 поколения являются самопротравливающими аналогами адгезивов 4 поколения.

Адгезивные системы VII поколения, также как и адгезивы 6 поколения, относятся к группе самопротравливающих адгезивных материалов, предоставляющих возможность более быстрого и в то же время качественного клинического применения. Преимуществом самопротравливающих адгезивных систем как 6-го, так и 7-го поколения, по сравнению с адгезивными системами тотального травления, является их способность не только микромеханического сцепления с твердыми тканями зуба, но и возможности образования химической связи с кристаллами гидроксиапатита за счет улучшенных свойств мономеров, входящих в их состав.

Для адгезивов класса «Etch-and-Rinse» сниженная степень диффузии мономера в созданные кислотным травлением пространства приводит к возникновению зон неполной инфильтрации с открытыми участками коллагеновых волокон. Такое же явление наблюдается и в случаях применения

адгезивов класса «Self-etch» несмотря на то, что процесс травления твердых тканей зуба и их гибридикация происходят одновременно. Возникновение данного феномена объясняется наличием избыточной влаги, обусловленной выраженными гидрофильными свойствами кислого мономера [74, с.329-334].

На данный момент существуют различные механизмы адгезии, успешно применяемые в современных бондинговых системах [123, с.215-235]. Использование адгезивов «Etch-and-Rinse» подразумевает отдельные фазы травления и промывания. Кислотная подготовка поверхностей осуществляется в основном 30 -40% ортофосфорной кислотой. По истечении установленного времени кислота удаляется тщательным промыванием водой, затем наносится праймер и адгезив, формируя таким образом трехэтапную процедуру нанесения. Двухэтапные, упрощенные адгезионные системы «Etch-and-Rinse» подразумевают нанесение праймера и адгезива одновременно.

От традиционных трехэтапных «Etch-and Rinse» адгезивов, упрощенные двухэтапные, отличаются совмещением в одном флаконе праймера и адгезива. Трех- и двухэтапные адгезивы типа «Etch-and Rinse», выпускаемые одним производителем, в отношении растворителя и мономера, как правило, имеют одинаковый состав. Поскольку наиболее важным компонентом адгезивов данного класса является растворитель их подразделение осуществляется соответственно данной категории [119, с.472-476].

Широко распространенными адгезивными системами на основе этанола считаются Opti Bond (Kerr), Adper Single Bond (3M ESPE).

Данная группа характеризуется определенным удобством в отношении эксплуатации и хранения из-за невысокой летучести растворителя, хотя в сравнении с адгезионными системами на основе ацетона (One-Step (Bisco), Prime & Bond NT (Dentsply De Trey), представители этаноловой группы формируют менее выраженный гибридный слой. Недостатком адгезивов на основе ацетона считается их нестабильность из-за высокой летучести растворителя.

К адгезивным системам, где в качестве растворителя используется вода, относят Scotch Bond-I (3M ESPE). Формируемый ими гибридный слой характеризуется высокой гидролитической нестабильностью [55, с.22-26].

Главной общей проблемой двухэтапных адгезивов «Etch-and- Rinse» является их неспособность полноценно инфильтрировать открытую коллагеновую сеть и наличие остаточного растворителя, особенно воды, из-за их невысокой летучести.

Более того, изучение реакции сосудов пульпы показало [12, с.39-44], что воздействие адгезионных систем, содержащих ацетон, сразу же вызывает констрикторную реакцию. При применении без ацетоновой адгезионной системы изменения функционального состояния сосудов пульпы минимальны.

Применение самопротравливающих адгезивов класса «Self-etch» основано на использовании не споласкиваемого кислого мономера, который одновременно протравливает и гибридует дентин. Принимая во внимание технические сложности, связанные с многоэтапностью, использование адгезивных систем типа «Self-etch», с клинической точки зрения, является многообещающим. В данном случае отсутствует фаза промывания, что не только уменьшает затраты времени, но и значительно снижает риск возникновения ошибок, связанных с выполнением технически чувствительных манипуляций.

Выделяют две модификации адгезивов типа «Self-etch»: мягкие и сильные [122, с.119-144]. Сильные самопротравливающие адгезивы имеют очень низкую pH (<1). В данную группу входят наиболее популярные Adper Prompt L-Pop (3M ESPE), Absolut (Dentsply-Sankin).

По своему механизму связывания и ультраморфологическим изменениям в дентине они напоминают адгезивы типа «Etch-and-Rinse», так как способны протравливать твердые ткани зуба на глубину от 3 до 5 нм [48, с.39-49; 81, с.401-408].

Мягкие самопротравливающие адгезивы, рН которых превышает 2, только частично растворяют поверхность дентина и оставляют значительное количество кристаллов гидроксиапатита внутри гибридного слоя. Яркими представителями этой группы являются Clear fil Tri-S Bond (Kuraray Medical), Reactmer Bond (Shofu).

Отдельные карбоксильные и фосфатные группы активного мономера могут фактически взаимодействовать с оставшимся гидроксиапатитом [128, с.454-458]. Этот двойной механизм сцепления (микромеханический и химический) имеет большие преимущества в отношении срока службы реставраций. Микромеханический момент сцепления, в частности, оказывает сопротивление различным дебондинговым стрессам. Химическое взаимодействие является причиной возникновения связей, устойчивых к гидролитическому распаду, что создает условия для более длительной герметизации. Однако необходимо отметить, что адгезивы данной группы вызывают деминерализацию на глубину менее 1 нм и формируют тонкий гибридный слой. Это обстоятельство делает их более уязвимыми к полимерному стрессу, возникающему в процессе твердения основного композита.

Наиболее значимым недостатком современных адгезионных систем является их ограниченная устойчивость *in vivo* [47, с.12]. Основными проявлениями неуспешной эксплуатации композитов являются выпадение пломб и нарушение краевого прилегания [17, с.7-11; 44, с.265-271].

Таким образом, улучшение качества интеграции биоматериала к тканям зуба может стать залогом длительного клинического срока службы композитных реставраций [102, с.109-115; 56, с.637-643].

Имеются данные, указывающие на то, что содержание неорганического наполнителя в композитах, тип мономера, интенсивность светового пучка и метод засвечивания оказывают влияние на объём полимерной усадки [62, с.44-70].

Для преодоления проблемы полимерной усадки было предложено несколько способов [42, с.200-206]. Один из них сводится к замедлению полимерного процесса путём начальной редукции химической реакции [41, с.636-638]. При этом поэтапном методе композитный материал сначала засвечивается светом низкой интенсивности, а затем высокой [121, с.147-152]. Основная цель данной методики заключается в снижении полимерного стресса за счет стимуляции текучих свойств композитного материала в догелевой фазе. Это приводит к небольшому снижению объёма полимерной усадки, однако спектр излучения пониженной интенсивности не обладает достаточной мощностью для полноценной полимеризации композитного материала [77, с.1215 -1223].

Наиболее значимым недостатком современных адгезивных систем является их ограниченная устойчивость *in vivo*. Основными проявлениями неуспешной эксплуатации композитов являются выпадение пломб и нарушение краевого прилегания. Изучены возможности микроиспытания на разрыв на примере бондинговой системы 5-го поколения. Метод позволяет с высокой степенью точности изучать адгезивные свойства современных пломбирочных материалов, оценивать величину сцепления в полостях с различной локализацией и идентифицировать вид разрыва [90, с.117-123].

Стоматологические адгезивные системы подразделяются по принципу тотального травления и самотравления. Материалы для тотального травления (адгезивы IV и V поколения) требуют отдельного нанесения фосфорной кислоты для деминерализации смазанного слоя и структуры зуба.

Что касается дентина, то после нанесения фосфорной кислоты смазанный слой полностью удаляется, а лежащий под ним дентин деминерализуется, обнажая коллаген дентина. Обнаженный коллаген в последующем пропитывается мономером смолы для формирования так называемого гибридного слоя. Оптимальная концентрация фосфорной кислоты, которая обычно используется, составляет 30 -40%. [2, с.6-7;16, с.31-76; 98, с.758-67;100, с.1-16;35 с.272-8; 59, с.41-53].

В самопротравливающих адгезивах используется кислотный праймер, который деминерализует структуру зуба и одновременно проникает в дентин.

Из-за слабого рН кислотного праймера, происходит частичная деминерализация смазанного слоя, в результате, остаточный смазанный слой попадает в гибридный, образуя так называемый «гибридизированный смазанный слой».

Исследования *in vitro* показали, что прочность связи самопротравливающих адгезивов может быть улучшена с помощью различных методов модификации связи [7, с.78-81; 49, с. 317-24; 89, с.1147-53; 104, с.246-54].

От состава смазанного слоя зависит сила сцепления самопротравливающих адгезивов. Толщина смазанного слоя, его плотность зависят от выбора метода подготовки поверхности дентина (скорости резки, размера абразивных частиц режущих инструментов и др.).

Остатки смазанного слоя, зачастую, блокируют устья дентинных канальцев, образуя пробки, снижая тем самым проницаемость дентина на 86%. Однако жидкость из дентинных канальцев может проникать через смазанный слой благодаря его микропористой структуре. В основном смазанный слой состоит из гидроксиапатита и коллагена, которые денатурируются под воздействием трения и тепла во время подготовки зуба [61, с.3-10].

До использования фосфорной кислоты стоматологические адгезивы ранних поколений связывались непосредственно с поверхностью, покрытой смазанным слоем. *In vitro*, прочность связи этих адгезивов составляла менее 5 МПа, что могло легко привести к клиническому отслоению. Образцы с отслоившимся соединением также в основном классифицировались как когезионное разрушение в пределах смазанного слоя, поскольку адгезивная смола была гидрофобной и, следовательно, не могла проникнуть через зону обломков.

Проведенными исследованиями показано, что долгосрочная деградация коллагена дентина более выражена при использовании адгезива,

протравливающего и смываемого, по сравнению с самопротравливающим адгезивом.

Возможно, это связано с агрессивной деминерализацией фосфорной кислоты, которая обнажает больше коллагеновых фибрилл дентина. Следовательно, матриксные металлопротеиназы (ММП), эндогенный фермент, ответственный за коллагенолитическую активность, активируются и со временем разрушают обнаженный коллаген [64, с.843-8; 88, с.82-86].

Из-за недостатков фосфорной кислоты стали доступны новые альтернативные протравители, например, Multi Etchant (Yamakin, Осака, Япония), Shofu Enamel Conditioner (Shofu, Киото, Япония) и экспериментальный кондиционер на основе оксинитрата циркония (Ivoclar Vivadent, Шаан, Лихтенштейн).

Более того, также было продемонстрировано ингибирующее действие экспериментального кондиционера оксинитрата циркония на ММП. Необходимы дополнительные исследования для дальнейшей оценки эффектов этих новых травителей на различные препараты смазанного слоя [110, с.77-85;86].

Сокращение времени травления фосфорной кислотой, явилось очередным подходом к минимизации деградации коллагена дентина, вызванной травлением фосфорной кислотой. Хотя предполагалось, что глубина деминерализации дентина связана со временем травления, не наблюдалось никакого неблагоприятного воздействия на прочность связи с дентином при сокращении времени травления до 5 секунд.

С другой стороны, прочность связи первичного дентина значительно улучшилась, когда время травления фосфорной кислотой было сокращено на 50% [101, с.19-26;126, с.293-9].

Проведенными исследованиями было показано, что травление дентина фосфорной кислотой в течение 3 секунд улучшает прочность связи и долговечность сцепления универсальных адгезивов.

Заявлено, что сокращение времени травления может уменьшить неблагоприятное воздействие фосфорной кислоты на деградацию связи, однако необходимы дальнейшие исследования влияния сокращения времени травления на активность ММП [108, с.355-62; 116, с.210-218].

При использовании самопротравливающих адгезивных систем характеристики смазанного слоя и протравливающая способность адгезивов являются двумя основными факторами, которые влияют на результат связывания [109, с.467-75].

Во многих исследованиях оценивались эффекты смазанного слоя, создаваемые различными инструментами. Однако в большинстве исследований контрольная группа с поверхностью без смазанного слоя не была включена для сравнения. Поэтому влияние смазанного слоя на адгезию дентина может быть недооценено. В 2000 году Тэй и др. представили технику с трещинами дентина, чтобы сравнить прочность связи самопротравливающего адгезива с дентином без смазанного слоя и с дентином, покрытым смазанным слоем. Результаты показали, что прочность связи двухэтапного самопротравливающего адгезива Clearfil SE Bond не зависит от смазанного слоя, созданного бумагой из карбида кремния (SiC) [118, с.83-98].

В проведенных исследованиях [114, с.317-324] сравнивалась прочность связи на сломанном дентине с прочностью связи на дентине, обработанном алмазным бором. Было обнаружено, что смазанные слои, созданные с помощью различных инструментов, по-разному влияют на сцепление с самопротравливающими адгезивами.

Самопротравливающие адгезивы подразделяются на: сильные ( $\text{pH} \leq 1$ ), среднесильные ( $\text{pH} 1-2$ ), мягкие ( $\text{pH} \sim 2$ ), сверхмягкие ( $\text{pH} > 2,5$ ). Показано, что адгезивы с низким pH имеют лучшую способность к травлению [73, с.129-36; 75, с.1160-4; 53, с.978-985].

Универсальные адгезивы в основном аналогичны адгезивам предыдущего поколения, с небольшими улучшениями. Функциональным

мономером в них является 10-МДП, который в отличие от других более гидрофобен. У адгезивов данного класса, рН от 1,5 до 3,2. В большинстве своем они мягкие и сверхмягкие [54, с.317-323; 63, с.497-505].

Подготовка поверхности дентина проводится чаще всего алмазными борами и карбидокремниевой (SiC) абразивной бумагой для сухого и мокрого шлифования что, как правило, используется только в лабораторных исследованиях для стандартизации смазанного слоя и придания шероховатости перед выполнением теста на прочность адгезии.

В литературе имеются сообщения о положительных результатах при подготовке поверхности зуба с использованием лазера. Однако дальнейшими результатами исследований были обнаружены трещины в дентине и ухудшение адгезии [96, с. 2121 -31].

Для препарирования кариозной полости, создания шероховатой поверхности, также используется воздушно-абразивная обработка [127, с.360-366; 67, с.241-8].

Шероховатая поверхность благоприятно влияет на адгезионные свойства клея, увеличивая площадь поверхности для адгезии смолы. Для воздушно-абразивной подготовки поверхности зуба довольно часто применяют оксид алюминия [43, с.556-563].

В ряде исследований [99, с.196-208] отмечается, что прочность связи универсальных адгезивов с дентином снижается после обработки частицами оксида алюминия. Такой неблагоприятный эффект авторы объясняют уплотнением смазанного слоя после пескоструйной обработки оксидом алюминия, что могло препятствовать проникновению адгезионной смолы.

Однако, согласно недавнему систематическому обзору, был сделан вывод о том, что абразивное воздействие оксида алюминия не оказывает отрицательного воздействия на прочность связи с дентином. Рекомендовано использование размера частиц более 30 мкм при давлении воздуха выше 5 бар, для улучшения прочности связи.

На амбулаторном приеме, в процессе работы, разбрызгивание частиц в операционном поле неизбежно, в связи с чем, необходимо использование резиновой изоляции (коффердам, оптидам), а пациенты и стоматологический персонал должны быть обязательно оснащены защитными очками для предотвращения случайного раздражения глаз [4, с.86-88;30, с.92-98;103, с.360-364].

Исследованиями установлено, что чем больше размер абразивных частиц, тем толще сформированный смазанный слой. В среднем, толщина смазанного слоя, варьирует от 0,9 до 2,6 м, полученного с помощью SiC-шлифа и от 1,0 до 2,8 м для смазанного слоя, полученного с помощью алмазного бора.

На плотность смазанного слоя также влияют методы подготовки зуба. При использовании алмазных боров образуется плотный смазанный слой. Рыхлый смазанный слой обнаружен после применения бумаги SiC [25, с.23-25; 107, с.24-31]. На сканирующем электронном микроскопе оценивается плотность смазанного слоя, путем подсчета количества закупоренных дентинных канальцев [112, с.317-23].

Исследованиями последних лет [106, с.59-66], были продемонстрированы характеристики смазанного слоя с использованием трансмиссионной электронной микроскопии (ТЭМ) в продольном направлении. Данный метод позволяет напрямую оценивать плотность и реакцию смазанного слоя на кислые функциональные мономеры.

Адгезивы наносятся либо активным методом, либо многократным нанесением. Активный метод подразумевает втирание адгезива с силой в зуб, в результате чего смазанный слой легче растворяется [105, с.357-65].

Однако, как показали проведенные исследования, при использовании различной силы втирания существенной разницы не было обнаружено [61, с.139-45].

Существует также много других преимуществ активной техники нанесения, таких как усиление химического взаимодействия с мономером 10-

MDP, улучшение испарения растворителя [85, с.1060-70], усиление прочности связи [92, с.188-199], увеличение проникновения смолы [120, с.197-204].

Многokратное нанесение адгезива гарантирует полное покрытие поверхности дентина клеем. Исследованиями продемонстрировано преимущество нанесения адгезива дважды, как со светоотверждением, так и без него между каждым слоем [45, с.59-66].

Время нанесения адгезива, указанное в инструкциях производителя, является минимальным требованием для обеспечения взаимодействия между мономером смолы и подлежащим дентином.

Некоторые производители универсальных клеев, считают возможным уменьшить время нанесения, без ущерба для прочности соединения. Однако большинство исследований указывает на то, что удлинение времени аппликации адгезива на поверхности дентина, способствует лучшей его инфильтрации в неровности и поднутрения шероховатой поверхности, обеспечивая наиболее высокую гибридизацию на границе интерфейса композитный материал - твердые ткани зуба, гарантируя при этом, надежную герметичность и длительный срок службы реставрации без возникновения осложнений [71, с.54-63].

Таким образом, улучшение качества интеграции биоматериала к тканям зуба может стать залогом длительного клинического срока службы композитных реставраций. Большинство современных адгезивных материалов достаточно эффективно применяются в практической стоматологии независимо от класса, к которому они принадлежат [15, с.117-122].

## ГЛАВА III. МЕТОДЫ ПРЕПАРИРОВАНИЯ ЗУБОВ ВОЗДУШНО – АБРАЗИВНЫМИ СМЕСЯМИ ПРИ РЕСТАВРАЦИИ КОМПОЗИТНЫМ МАТЕРИАЛОМ

### 3.1. Введение и место метода в минимально инвазивной стоматологии

Воздушно-абразивная обработка (airborne/air particle abrasion, АРА) формирует контролируруемую микрошероховатость эмали и дентина, селективно удаляя размягчённый дентин и снижая потребность в ротационных инструментах. По данным Eram (2024), клинический эффект АРА критически зависит от выбора абразива (оксид алюминия, бикарбонат, биоактивные стёкла), размера частиц, давления, угла и времени экспозиции; при корректной настройке АРА вписывается в парадигму минимально инвазивного лечения, улучшая подготовку под адгезивные реставрации.

В управлении глубоким кариесом современный тренд — селективное удаление по твердости поверхности с сохранением витальности пульпы. По данным Gheorghiu (2025), селективная экскавация снижает риск вскрытия пульпы и лучше согласуется с биологией реминерализации; АРА здесь выступает как щадящий этап санации и оптимизации субстрата под адгезию.

По данным Ramos и соавт. (2024), влияние АРА на прочность связи к дентину зависит от порошка и режима: в целом АРА не ухудшает связь для универсальных адгезивов, а при использовании биоактивного стекла возможен даже положительный эффект; предпочтителен режим *etch-and-rinse* при адгезии к «абразивированному» дентину.

Дополнительно, обобщённые обзоры указывают на «рабочие коридоры» (частицы 30–50 мкм, давление ~0,2–0,4 МПа, короткая экспозиция 3–5 с на участок) как компромисс безопасности и эффективности, однако единых стандартов пока нет (Eram, 2024).

По данным Bhadule и соавт. (2024), АРА + кислотное травление обеспечивает лучшую ретенцию герметиков, чем одно кислотное травление; вывод поддержан систематическим обзором и актуальными данными по

технике запечатывания фиссур. Практически это означает: короткая АРА эмали фиссур ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  27–50 мкм, 0,2–0,3 МПа, 2–3 с, 2–5 мм; параллельно — аспирация), далее селективное травление эмали 35–37%  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и нанесение герметика. Этот протокол повышает микро-ретенцию без избыточного съёма тканей.

При средних/глубоких поражениях АРА применяется как дополнение к ручной/щадящей механической экскавации, чтобы: (1) убрать пигментированный/размягчённый дентин по периферии; (2) снять смазанный слой; (3) создать микрорельеф под адгезию. По данным Gheorghiu (2025), селективная экскавация в сочетании с современными адгезивными протоколами повышает шансы сохранить витальность пульпы. С точки зрения переносимости, альтернативные методики «не-борного» удаления кариеса, куда часто относят АРА-подходы, могут уменьшать боль и тревогу, особенно в педиатрии, — по данным Cardoso и соавт. (2020) в систематическом обзоре.

Ключевой вопрос — не разрушает ли АРА адгезию. По данным Ramos и соавт. (2024), АРА не ухудшает прочность соединения к дентину при применении универсального адгезива; более того, в ряде групп (включая «air-polishing» биоактивным стеклом) отмечен рост прочности. Предпочтителен режим etch-and-rinse после АРА, тогда как чистый self-etch на абразивированном дентине может давать худшие исходы. Методически: краткая АРА ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  30–50 мкм) → промывка/сушка до «влажно-матовой» поверхности → селективное травление эмали (15–20 с) → универсальный адгезив с активным втиранием  $\geq 20$ –30 с и тщательным испарением растворителя → композит. Такой порядок согласован с обзором Doshi и соавт. (2023) по универсальным адгезивам и их клинической надёжности.

Воздушно-абразивные методы препарирования — эффективный и биосберегающий инструмент при композитных реставрациях. При соблюдении корректных параметров (частицы 30–50 мкм, умеренное давление, короткая экспозиция) и адгезивной последовательности (селективное травление эмали, активное втирание универсального адгезива,

тщательное испарение растворителя) АРА не снижает прочность связи к дентину и улучшает ретенцию герметиков; биостеклянные порошки демонстрируют благоприятный профиль безопасности. В клинике следует избегать агрессивных режимов и учитывать, что на долговечность результата в равной степени влияют дизайн полости, фактор пациента и дисциплина адгезивного протокола (Eram, 2024; Ramos, 2024; Bhadule, 2024; Spagnuolo, 2021; Josić, 2022; de Figueiredo Barros, 2024).

### **3.2. Что происходит с субстратом: морфология, адгезия, долговечность**

АРА удаляет «smear-layer», открывает устья дентинных канальцев и увеличивает площадь адгезии. По данным Spagnuolo и соавт. (2021), биоактивные стёкла при АРА могут снижать ферментативную деградацию гибридного слоя и не нарушают клеточную биологию, что косвенно поддерживает долговечность связи.

Систематический апдейт по универсальным адгезивам показывает их в целом надёжную клинику (2–5 лет) при разных стратегиях, при этом техника нанесения (активное втирание, испарение растворителя) влияет не меньше, чем «бренд» (Doshi и соавт., 2023).

Режимы чрезмерной агрессии (крупная фракция, высокое давление, длительная экспозиция, малое расстояние) способны «переподготовить» эмаль и создать слишком глубокий рельеф — по данным Eram (2024) и клинических наблюдений это повышает риск окрашивания краёв и гиперчувствительности. Оптимизация включает короткие проходы, угол  $\approx 90^\circ$  к поверхности, дистанцию 2–5 мм, аспирацию и защиту мягких тканей.

Важно помнить, что часть клинических обзоров по альтернативным методам удаления кариеса (в совокупности) ставят их не выше классического бор-препарирования по эффективности и времени (Senthilkumar, 2020); однако по переносимости АРА выигрывает у части пациентов (Cardoso, 2020).

Одной из основных мер профилактики кариозного процесса можно считать удаление зубного налета, снятие над и поддесневых зубных отложений.

Процессам, протекающим под зубным налетом, находящимся на поверхности зуба, отводится особое внимание. Микробиологический состав биопленки, рацион питания и др. имеют большое значение. Направленная профилактическая гигиена полости рта снижает процент возникновения кариеса [87, с.93-100].

Профессиональная чистка зубов снижает интенсивность образования зубной бляшки – основного этиологического фактора кариеса. Частота проведения профессиональной гигиены зависит от индивидуальных особенностей и бывает от двух недель до нескольких месяцев [70, с.564-576].

Успех профилактики стоматологической патологии, согласно литературным данным, более чем на 50% определяется регулярной профессиональной чисткой зубов [79, с.351-356; 97, с.328-34].

При снятии зубных отложений ответственным и ключевым моментом является безопасное и менее травматичное проведение процедуры. Методы удаления зубных отложений ручными инструментами (экскаваторы, кюреты, скелеры) и ультразвуком (ультразвуковые скелеры), считаются традиционными. Ультразвуковые аппараты комфортны, требуют малого затрата времени.

Основным преимуществом является возможность использования жидких лекарственных препаратов, орошающих рабочее поле.

Немногочисленные исследования указывают на отрицательное воздействие ультразвуковой обработки (повреждение керамических реставраций, поверхности композитных пломб, корня при лечении заболеваний пародонта) [117, с.1-16].

Обработка чистящими и полирующими щетками, резиновыми головками является более приятной альтернативой, однако не удается полностью обработать поддесневую область и удалить зубные отложения.

В последнее время, для профессионального удаления зубных отложений применяются воздушно-абразивные системы [93, с.371-376; 84, с.446], которые в зависимости от абразивности делятся на 2 группы: воздушно-абразивные (без воды) и менее абразивные воздушно-полирующие (с водой). Постоянное развитие новейших технологий привело к появлению менее абразивных технологий (с применением воды).

В клинической практике широко используется методика воздушно-абразивной полировки с использованием хендибластеров и полирующих порошков [65, с.435-451; 95, с. 883 -889; 46, с.104-109].

В аппаратах имеется два канала, через которые подается вода и смесь воздуха с порошком. В конце насадки эти два канала соединяются. Данные аппараты выпускаются в виде отдельного прибора или насадки для стоматологической установки.

Лидером разработки и внедрения технологии воздушно-абразивной полировки зубов вот уже около 40 лет является Швейцарская компания EMS (Electro Medical System). Предложенная методика Air Flow заключалась в очистке поверхности зуба смесью воды и порошка, которая приводилась в движение сжатым под высоким давлением воздухом [27].

Технология Air Flow изначально была предназначена для полирования эмали после снятия зубных отложений, удаления с поверхности зуба окрашенных отложений, очистки поверхностей зуба перед герметизацией, фиксацией брекетов и др.

Методика имеет большое количество преимуществ, ее можно проводить практически во всех стоматологических клиниках и кабинетах, затрачиваемое время значительно ниже, в сравнении с другими методиками. Становятся доступными межзубные промежутки, смесь обладает бактерицидным, отбеливающим эффектами, препятствует образованию твердых отложений на зубах. Однако следует отметить, что с помощью данной процедуры невозможно удалить твердые наддесневые и поддесневые зубные отложения.

Исходя из этого, вначале удаляются скелером или ультразвуком плотные зубные отложения, а затем проводится обработка Air Flow.

Ранее, методика Air Flow была противопоказана детям до 18 лет. Объяснялось это тем, что большинство порошков состояли из бикарбоната натрия ( $\text{NaHCO}_3$ ), имеющего высокую абразивность и при нанесении на поверхность зуба они вызывали потерю тканей, с дальнейшими последствиями. В связи с тем, что толщина эмали зубов формируется именно к этому возрасту и объясняется противопоказание [26, с.125].

Проведены исследования, где с помощью сканирующей электронной микроскопии, сравнивали однократную обработку зубов воздушно-абразивными средствами, содержащими карбонат кальция и гидрокарбонат натрия, абразивностью менее 200 мкм с необработанными поверхностями тех же зубов, являющихся контролем. Поверхность эмали зубов после воздушно-абразивной обработки с применением гидрокарбоната натрия была как после протравливания. Авторы рекомендуют проведение дополнительной обработки лечебно-профилактическими средствами и в целях уменьшения накопления зубного налета – полирование [39, с.46-49].

При использовании воздушно-абразивных средств на основе карбоната кальция не было выявлено ультраструктурных изменений поверхности эмали. Показана высокая полирующая способность микрокристаллов карбоната кальция, что приводит к уменьшению стирания поверхности эмали. Результаты исследований указывают на явное преимущество воздушно-абразивных средств, содержащих карбонат кальция.

Существенным достижением компании EMS (Electro Medical System) является разработка нового порошка Air Flow PLUS, который безвреден, нетоксичен, низкоабразивен (размер частиц 14-цт), что указывает на его применение, без ограничений, как во взрослой, так и в детской стоматологии [8, с.24; 52, с.125-36].

На стоматологическом рынке появился порошок фирмы 3M ESPE Clinpro TM Prophy PoWder, содержащий на 99% глицин. Глицин является природной

аминокислотой, которая используется для построения белков организма. В порошке больше 90% частиц глицина имеют размер частиц меньше 63 мкм. Порошок имеет минимальную абразивность и может быть использован для удаления поддесневого зубного камня.

Наиболее изученными абразивами для воздушной обработки тканей зуба являются порошки на основе оксида алюминия, бикарбоната натрия, глицина, эритритола и др.

Низкий абразивный потенциал водных порошковых смесей во многом связан с малым размером частиц и их незначительной твердостью, величина которой, при условии использования водорастворимых смесей, в значительной степени определяется содержанием диоксида кремния в структуре зерна, выполняющего роль каркаса или оболочки.

На кафедре госпитальной терапевтической стоматологии ТГСИ ведутся исследования по изучению влияния различных воздушно-абразивных смесей на силу адгезии композитных материалов к твердым тканям зуба, а также выявлению клинической эффективности использования данного метода обработки адгезивных поверхностей при лечении и восстановлении зубов наполненными фото-полимерами с применением адгезивных систем 5-го и 7-го поколений [20, с. 451-455].

Также, проводятся исследования по применению воздушно-абразивной обработки при лечении болезней пародонта [5, с.72-76], мукозитов и периимплантитов [13, с.60].

## **ГЛАВА IV. ЛАБОРАТОРНЫЕ И КЛИНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ МАТЕРИАЛА ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **4.1. Протокол лабораторных и клинических исследований**

Для выполнения поставленных задач проведено обследование и лечение 72 пациентов со средним кариесом, без фоновой патологии, в возрасте от 20 до 59 лет, получавшим амбулаторное лечение в поликлинике терапевтической стоматологии Ташкентского государственного стоматологического института. Средний возраст пациентов - 37 лет. Среди них женщин- 36 (50%), мужчин- 36 (50%).

Диагноз средний кариес ставился на основании данных субъективных и объективных исследований. Общее количество вылеченных зубов со средним кариесом составило 173 единицы.

Лабораторная часть проводилась на 170 образцах зубов, предназначенных для оценки силы адгезии и 16 - для изучения микрошероховатости и элементного анализа поверхности зуба.

Больные были распределены по возрасту и полу в соответствии классификационной возрастной схеме, утвержденной ВОЗ в 1989 году [32, с.61].

### **4.2. Сканирующая электронная микроскопия, профилометрия и элементный анализ поверхности эмали и дентина образцов зубов человека**

Сканирующую электронную микроскопию (СЭМ) и определение элементного состава поверхностей образцов проводили в Центре Высоких технологий (ЦВТ) на микроскопе SEM EVOMA 10 (CarlZeiss) (рис.2.2.1.) с энергодисперсионным рентгеновским спектрометром EDSAztec Energy Advanced X-Act (Oxford Instruments). Для этого были подготовлены 16 дополнительных образцов (рис.2.2.2.), по 4 на каждый из выбранных методов обработки поверхности зубов. Измерения профиля эмали и дентина, а также элементный состав их поверхностей на каждом образце проводили в 10 секторах, после чего проводился анализ полученных данных и

подсчитывались средние значения микрошероховатости ( $R_a$ ) и относительного содержания химических элементов.



**Рис. 4.2.1. Сканирующий электронный микроскоп SEMEVOMA 10 (CarlZeiss)**

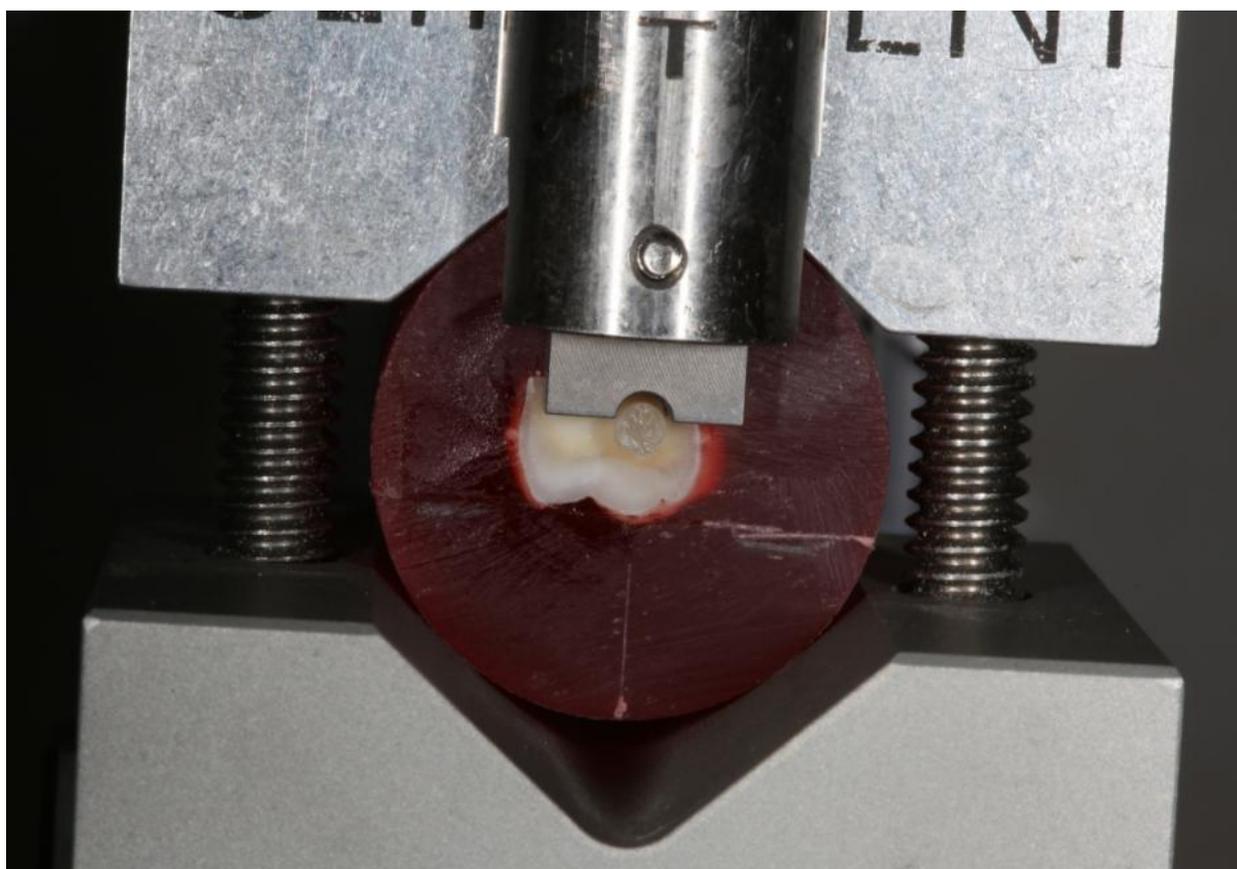


**Рис. 4.2.2. Образцы зубов, покрытые золотом для изучения микрорельефа поверхности эмали и дентина**

### **4.3. Определение силы адгезии композитного материала к эмали и дентину зуба методом деформации сдвига (SBS – Shear Bond Strength)**

На кафедре госпитальной терапевтической стоматологии Ташкентского государственного стоматологического института в лаборатории функциональной диагностики и экспериментальных исследований проводилась оценка адгезивной прочности склеенных интерфейсов на приборе UltraTester (Ultradent Products Inc., США) (рис.2.3.1.), без имитации процесса старения.

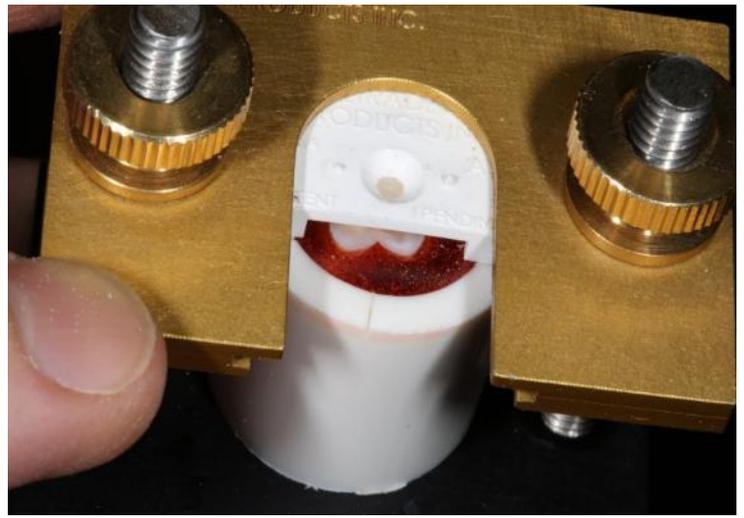
Исследования проводились на зубах, удаленных по ортодонтическим показаниям (рис.2.3.2.). Скорость подъема тестового зажима с установленным образцом устанавливалась на отметке 1 мм/мин. Максимальное значение разрыва соединения фиксировалось в фунтах (lb).



**Рис. 4.3.1. Прибор UltraTester для определения силы адгезии (Ultradent Products Inc., США)**



а



б

**Рис. 4.3.2. Подготовленные образцы зубов (а) в соответствии с методом Ультратеста (б)**

В качестве композитного материала использовали «XRV Herculite» (Kerr, Italy. (рис.4.3.3.). Нанесение и полимеризацию адгезивной смолы проводили в соответствии с инструкциями производителя.

Фотополимеризацию осуществляли с помощью лампы VALO (Ultradent Products Inc., США) в обычном режиме (рис.4.3.4).



**Рис. 4.3.3. Композитный материал «XR V Herculite»**



**Рис. 4.3.4. Фотополимеризующая лампа VALO (Ultradent )**

Адгезивный протокол выполняли с применением однокомпонентных систем 5-го (Opti Bond Solo Plus (OS), (Kerr, Italy) и Peak Universal (PU), (Ultradent, USA) и 7-го (Single Bond Universal (SBU) (3M ESPE, USA) и Bond Force 2 (BF2) (Тоquyama, Japan) поколений (рис. 4.3.5. и 4.3.6.).



а

б

**Рис. 4.3.5. Однокомпонентные системы V поколения  
Opti Bond Solo Plus (а) и Peak Universal Bond (б)**



а
б  
**Рис. 4.3.6. Однокомпонентные системы VII поколения  
 Single Bond Universal (а) и Bond Force 2 (б)**

Для проведения воздушно-абразивной обработки адгезивных поверхностей зубов, в исследовании использовали порошки на основе оксида алюминия 27 мкм (KaVo, Viberach, Germany), бикарбоната натрия 40 мкм и эритритола 14 мкм (Air-Flow Classic comfort, Air-FlowPlus, EMS, Nyon, (Switzerland) (рис.4.3.7).



а
б
в  
**Рис. 4.3.7. Абразивные порошки для воздушной обработки на основе:  
 а- оксида алюминия, б- бикарбоната натрия, в- эритритола**

Прочность адгезивного соединения композитного материала с дентином зуба определялась на 170 образцах зубов, подготовленных в соответствии с методом Ультратеста (Ultradent Shear Bond Strength Test).

Техника проведения воздушно-абразивной обработки адгезивных поверхностей заключалась в воздействии постоянного потока частиц под давлением 0,25 МПа в течение 30 секунд. Препарирование осуществляли на расстоянии 3 -5 мм и углом наклона инструмента 45° (рис. 4.3.8.).

После этого поверхность зубов тщательно промывали воздушно-водяным спреем в течение 30 секунд и приступали к выполнению адгезивного протокола. При этом, у образцов А-подгрупп использовали Single Bond Universal (3М ESPE, USA), а в В-подгруппах применяли Bond Force 2 (Тоquyama, Japan).



**Рис. 4.3.8. Воздушно-абразивная обработка поверхности зуба под углом наклона инструмента 45°**

#### **4.4. Клиническая оценка качества выполненных композитных реставраций**

На этапах клинического обследования, постановки диагноза, формирования групп исследования и регистрации результатов лечения, в процессе работы с пациентами, применялась шкала клинической оценки состояния выполненных реставраций Х.П. Камилова (2004) [12, с.39-44].

Определение степени чувствительности зубов осуществляли по шкале визуальных аналогов (Visual Analog Scale - VAS). Отдаленные результаты лечения оценивались в среднем на протяжении 2-х лет.

Принимая во внимание цель настоящего исследования и 2 -х летний срок наблюдения за пациентами после лечения, клиническая оценка качества выполненных реставраций в основном складывалась из критерия краевого прилегания (КрП) и рецидива кариеса (РК), поскольку за весь период наблюдения не наблюдалось клинически значимых изменений в отношении показателей анатомической формы (АФ) и нарушений качества сформированного контактного пункта (КП).

Каждый критерий рассматривался по четырех бальной оценочной шкале, отражающей его клинические признаки:

- 4 балла – безупречная по всем показателям;
- 3 балла – с незначительными отклонениями;
- 2 балла – подлежащая замене из профилактических соображений;
- 1 балл – требующая немедленной замены.

#### **4.5. Определение степени чувствительности зубов по шкале визуальных аналогов**

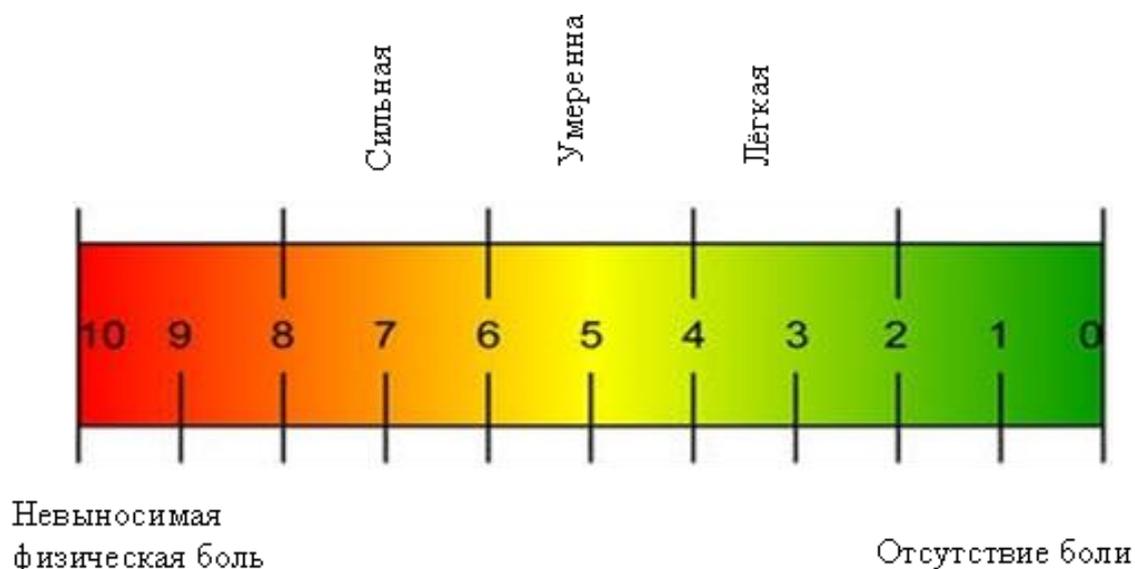
Определение степени чувствительности зубов осуществляли по шкале визуальных аналогов (Visual Analog Scale – VAS).

Степень чувствительности зубов определяли по 100 мм визуально-аналоговой шкале (Visual Analog Scale - VAS), разделенной на сектора,

каждый из которых описывает характер болевых ощущений: отсутствие боли, легкая, умеренная, сильная (рис.4.5.1.).

Пациенту необходимо было точно охарактеризовать степень своих ощущений и на диаграмме сделать отметку. Реакция на температурный раздражитель (стимуляция холодом) определялась до проведения вмешательства, через 2 и 12 недель после лечения.

Учитывая субъективность и относительность данного метода, уровень чувствительности пораженных зубов на каждом этапе оценивался параллельно с интактными соседними зубами. Для более достоверного исследования дополнительно привлекались ещё два стоматолога.



**Рис. 4.5.1. Шкала визуальных аналогов (VAS)**

## **ГЛАВА V. ЛАБОРАТОРНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДОВ ПРЕПАРИРОВАНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА АДГЕЗИВНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ**

Задача лабораторного блока – сопоставить влияние машинного препарирования и воздушно-абразивной обработки с различными абразивами ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  27–50 мкм,  $\text{NaHCO}_3$ , эритритол) на микрорельеф и потенциальную адгезию эмали и дентина. По данным Egam (2024), параметры АРА (фракция, давление, экспозиция, угол, дистанция) определяют глубину рельефа и очищение от smear-layer (2024). По данным Spagnuolo и соавт. (2021), биоактивные стеклянные порошки демонстрируют благоприятный биологический профиль и могут стабилизировать интерфейс (2021).

Заключение к главе V. Эмаль: комбинация « $\text{Al}_2\text{O}_3$  + кислотное травление» обеспечивает выраженную микроретенцию и готовность к адгезии (Bhadule и соавт., 2024). Дентин: обработка эритритолом увеличивает открытость устьев канальцев и требует коррекции времени травления для контроля чувствительности; после АРА предпочтителен режим etch-and-rinse для универсальных адгезивов (Ramos и соавт., 2024). Элементный анализ в целом не выявляет клинически значимой контаминации поверхностей при корректной промывке и сушке (Spagnuolo и соавт., 2021).

### **5.1. Влияние машинного препарирования, воздушно-абразивной обработки порошками на основе оксида алюминия, бикарбоната натрия, эритритола, а также кислотного травления на показатели поверхностной шероховатости эмали**

В данной главе представлены результаты лабораторных и клинических исследований, полученных в процессе работы с образцами зубов и за период наблюдения за пациентами.

Уровень поверхностной микрошероховатости эмали может оказывать существенное влияние на качество и силу адгезии композитных материалов к ней.

Минеральная составляющая самой твердой ткани в организме составляет более 95 %, что создает в определенной степени благоприятные условия для формирования надежного, влагостойкого соединения между пломбой и зубом.

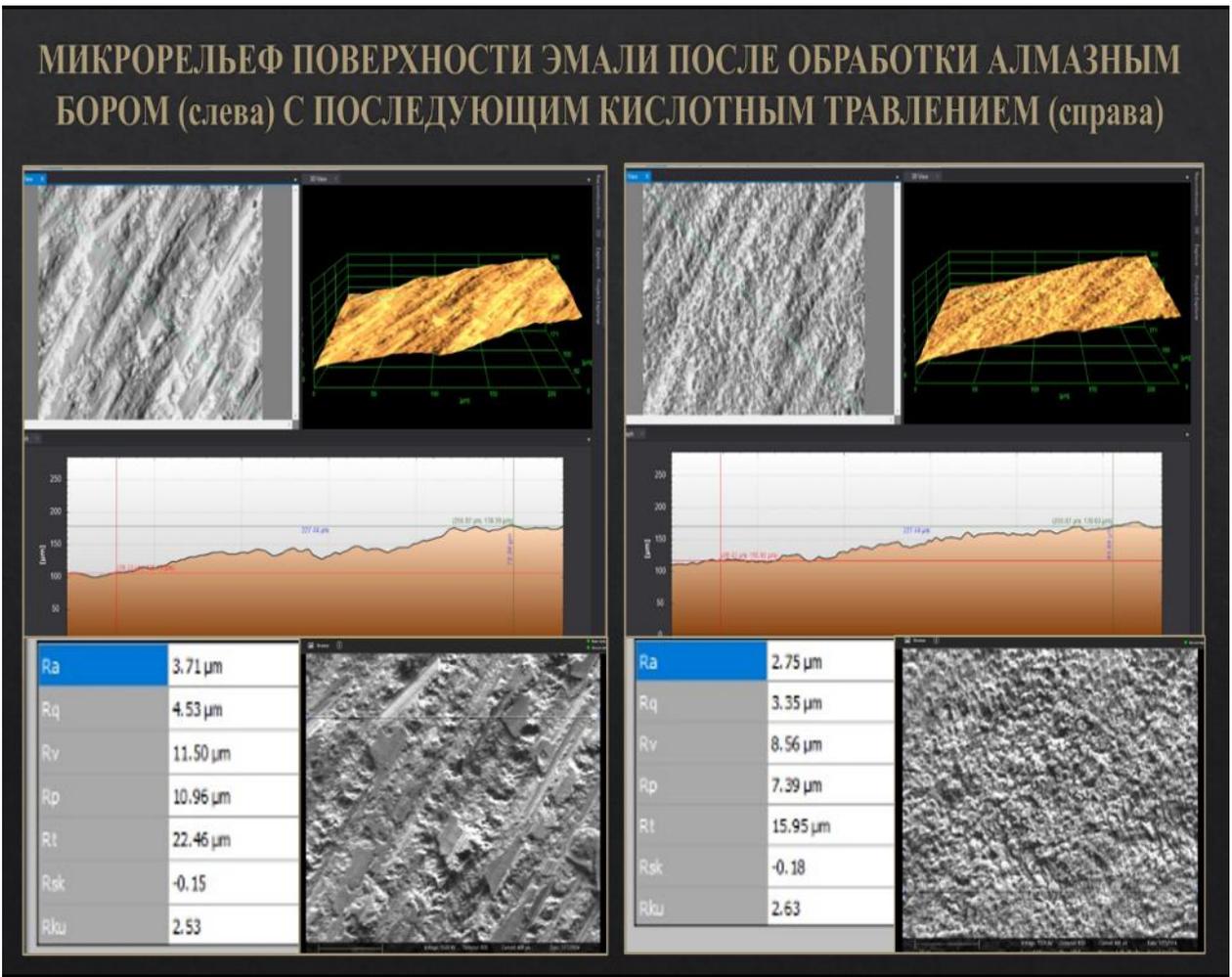
Однако хрупкость эмалевых призм и высокая вероятность формирования микротрещин в процессе механической обработки являются основными причинами формирования поверхностного напряжения и возникновения когезивных отрывов, вызванных полимерным стрессом и несостоятельностью гибридного слоя в противостоянии ему.

На сегодняшний день, традиционным методом подготовки поверхности эмали к нанесению адгезивной смолы и композитного материала является ее сошлифовывание алмазными борами, сопровождающееся последующим кислотным травлением.

Механическая препаровка эмали режущими вращающимися инструментами приводит к разрушению эмалевых призм, возникновению микротрещин и формированию затертого слоя, представленного в основном порошком собственного гидроксиапатита эмали.

Образующаяся таким образом структура поверхности не может стать надежным основанием для будущей адгезивной реставрации, несмотря на высокий уровень микрошероховатости, который был установлен при изучении изображений сканирующей электронной микроскопии.

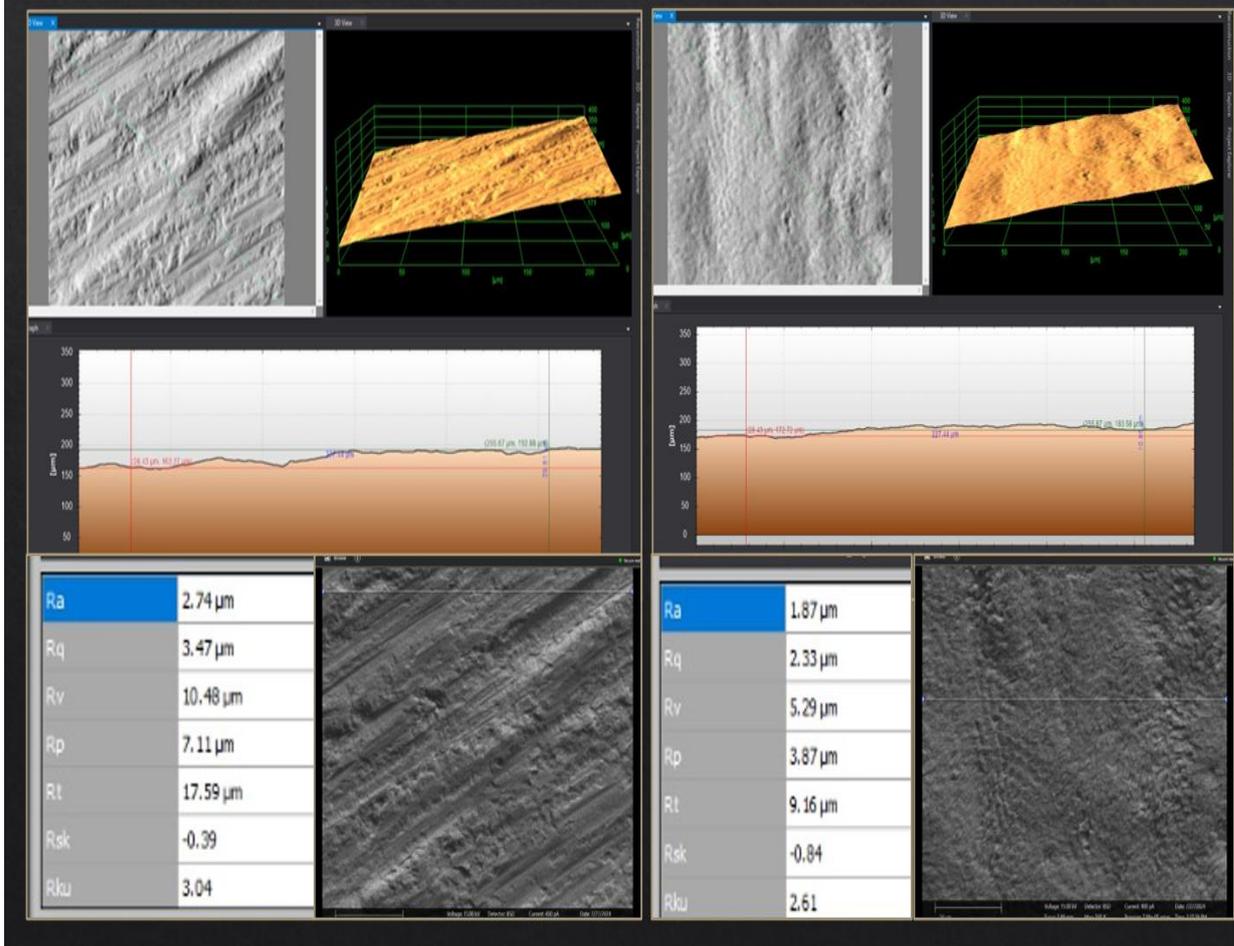
Кислотное травление шлифованной эмали позволяет очистить ее поверхность от поврежденных участков. Однако, в соответствии с полученными данными, это способствовало снижению уровню микрошероховатости поверхности эмали в целом (рис.5.1.1).



**Рис. 5.1.1. Микрорельеф поверхности эмали после обработки алмазным бором (слева) с последующим кислотным травлением (справа)**

Воздушно-абразивная обработка сошлифованной эмали порошком на основе эритритола способствовала очищению ее поверхности от частиц гидроксиапатита, но снижению уровня микрошероховатости. При этом последующее кислотное травление приводило к еще большему снижению изучаемого показателя (рис. 5.1.2.).

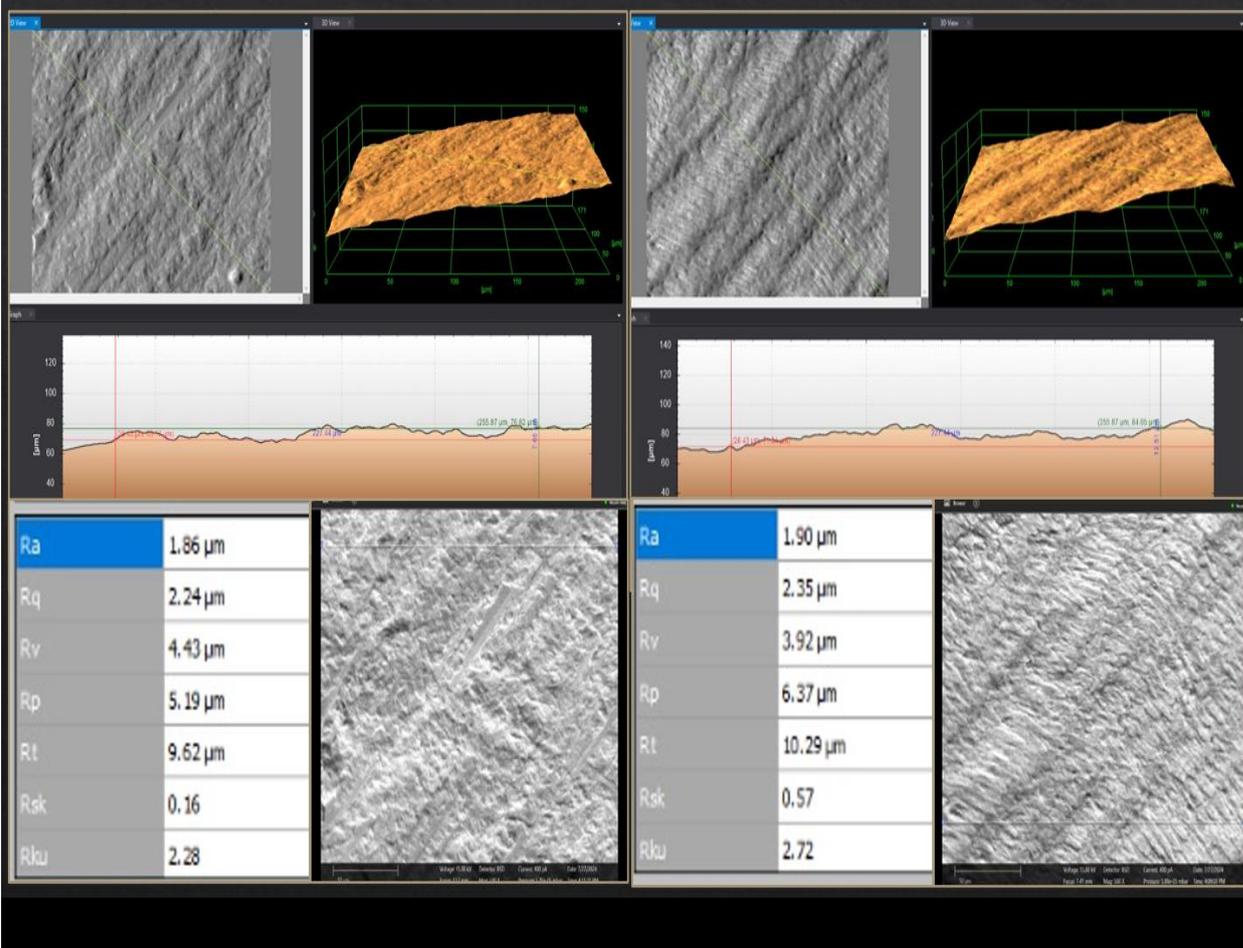
## МИКРОРЕЛЬЕФ ПОВЕРХНОСТИ ЭМАЛИ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ЭРИТРИТОЛОМ (слева) С ПОСЛЕДУЮЩИМ КИСЛОТНЫМ ТРАВЛЕНИЕМ (справа)



**Рис. 5.1.2. Микрорельеф поверхности эмали после обработки эритритолом (слева) с последующим кислотным травлением (справа)**

В случаях использования воздушно-абразивных смесей на основе бикарбоната натрия, отрицательная тенденция, как в случае с эритритолом, уже не отмечалась, и значения микрошероховатости поверхности эмали, несмотря на достоверное снижение после абразивной обработки, положительно корректировались благодаря кислотному травлению (рис. 5.1.3.).

## МИКРОРЕЛЬЕФ ПОВЕРХНОСТИ ЭМАЛИ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ БИКАРБОНАТОМ НАТРИЯ (слева) С ПОСЛЕДУЮЩИМ КИСЛОТНЫМ ТРАВЛЕНИЕМ (справа)

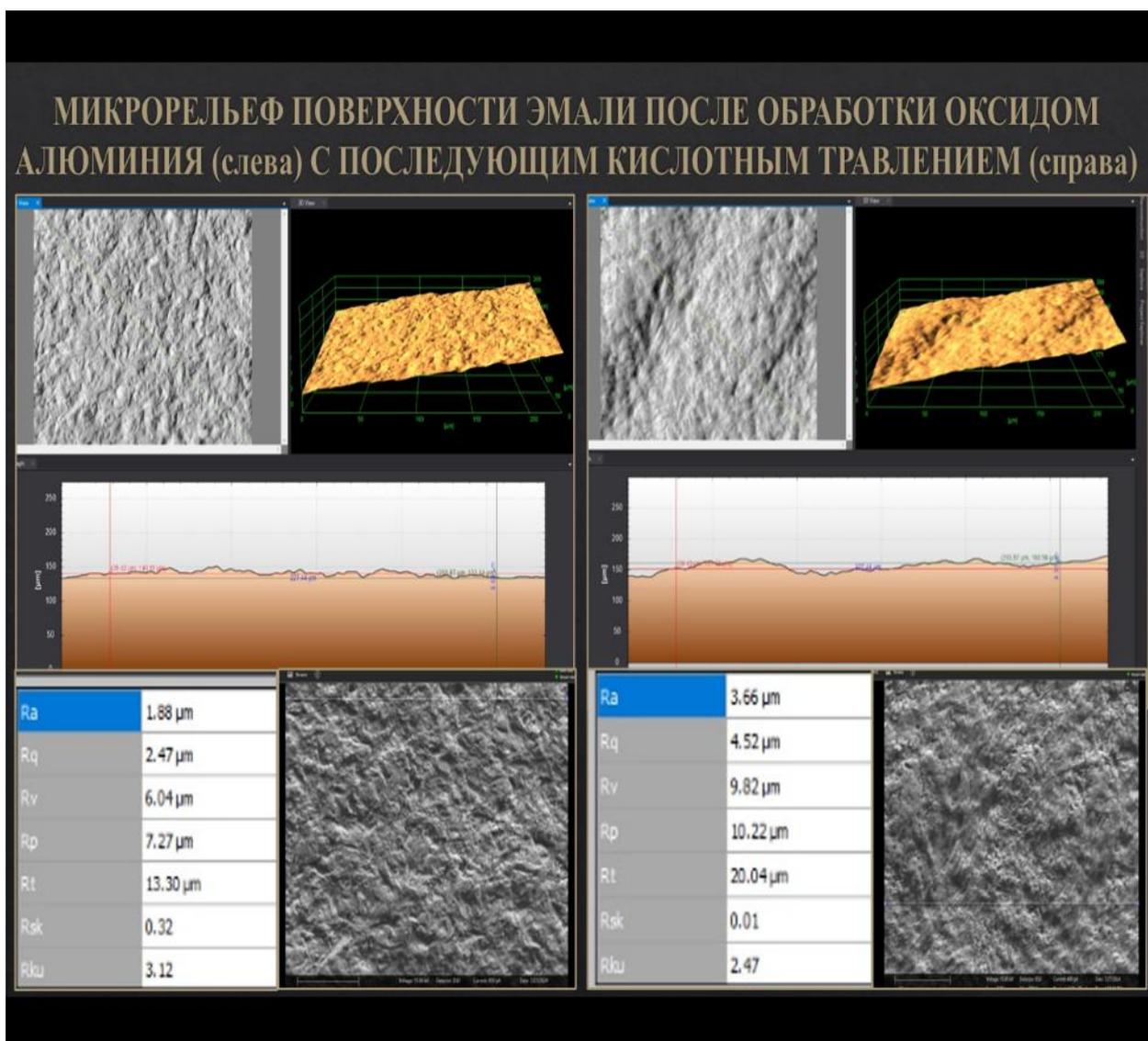


**Рис. 5.1.3. Микрорельеф поверхности эмали после обработки бикарбонатом натрия (слева) с последующим кислотным травлением (справа)**

Высокие значения микрошероховатости эмали были получены после воздушно-абразивной обработки ее поверхности порошком  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в сочетании с кислотным травлением (рис.5.1.4.).

И хотя эти показатели не имели достоверных отличий со значениями Ra эмали после традиционного сошлифовывания алмазным бором, визуальный анализ микроснимков поверхности продемонстрировал трехмерное формирование микропор на поверхности эмали после кислотного травления,

в отличие от традиционного препарирования.



**Рис. 5.1.4. Микрорельеф поверхности эмали после обработки оксидом алюминия (слева) с последующим кислотным травлением (справа)**

Таким образом было установлено, что традиционное препарирование эмали алмазными борами в сочетании с воздушно-абразивной обработкой порошком Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (27 μm) способствовало повышению эффективности кислотного травления поверхности эмали и увеличению ее микрошероховатости в 1,7 раза.

Также было выявлено, что кислотное травление эмали, препарированной алмазным бором или дополнительно обработанной воздушно-абразивной смесью на основе эритритола, приводит к снижению значений микрошероховатости в 1,3 и 1,2 раза соответственно. При этом кислотное

травление эмали после традиционного препарирования алмазными борами в сочетании с воздушно-абразивной обработкой смесью на основе бикарбоната натрия не влияло на показатель микрошероховатости ее поверхности.

## **5.2. Микрорельеф поверхности дентина после воздушно-абразивной обработки порошками на основе оксида алюминия, бикарбоната натрия и эритритола**

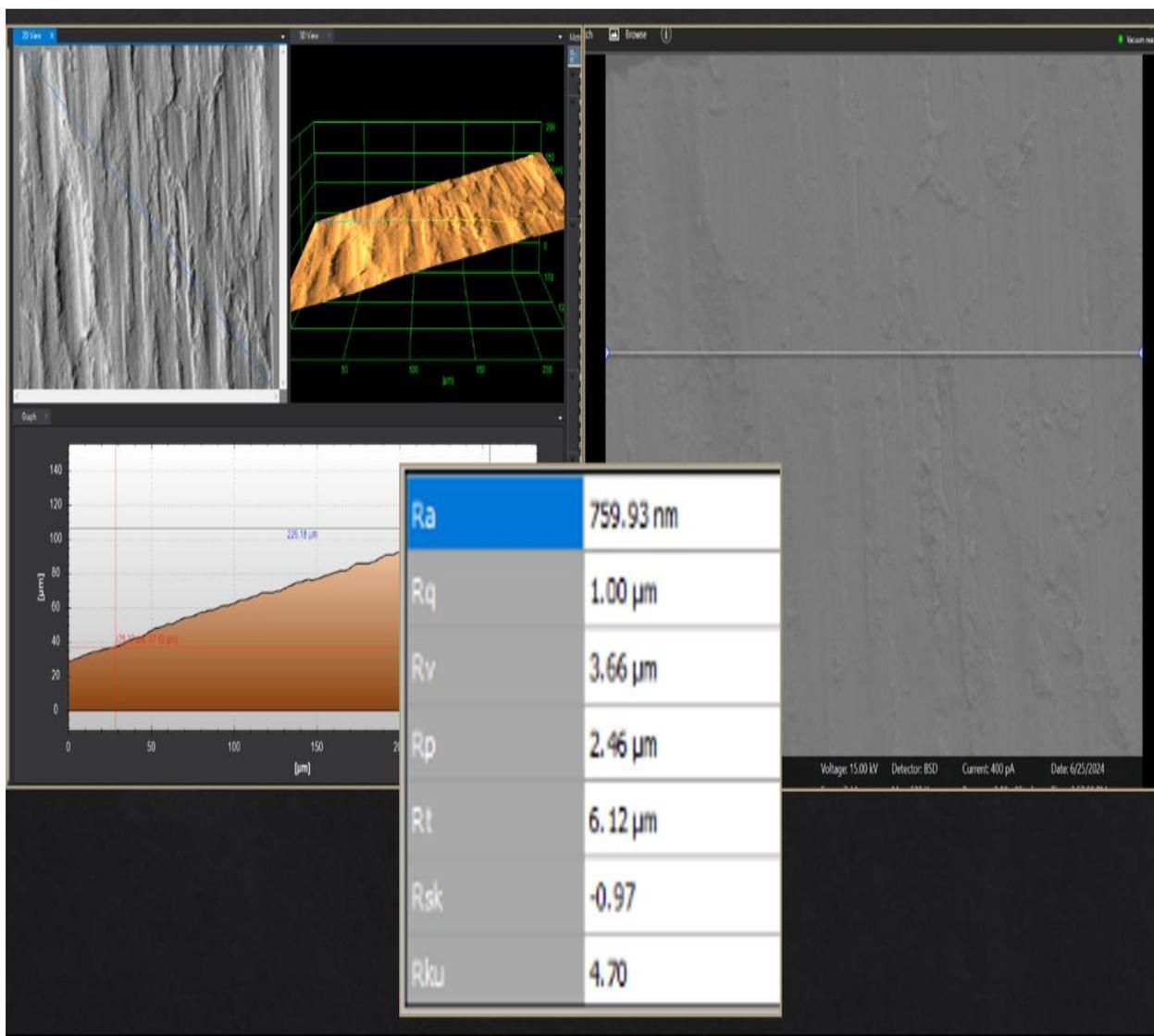
В отличие от эмали, качество адгезивной поверхности дентина не только влияет на силу сцепления с композитными материалами, но также сказывается на надежности краевого прилегания пломбы, силе послеоперационной чувствительности и высокой вероятности рецидива кариеса.

Вероятность данных осложнений в первую очередь связана с высокой долей органической составляющей дентина и естественным содержанием влаги, объем и масса которой колеблется в пределах 10%.

Описанные выше особенности композиции второй по твердости ткани, создают отчасти неблагоприятные условия для формирования надежного и влагостойкого соединения между пломбой и зубом.

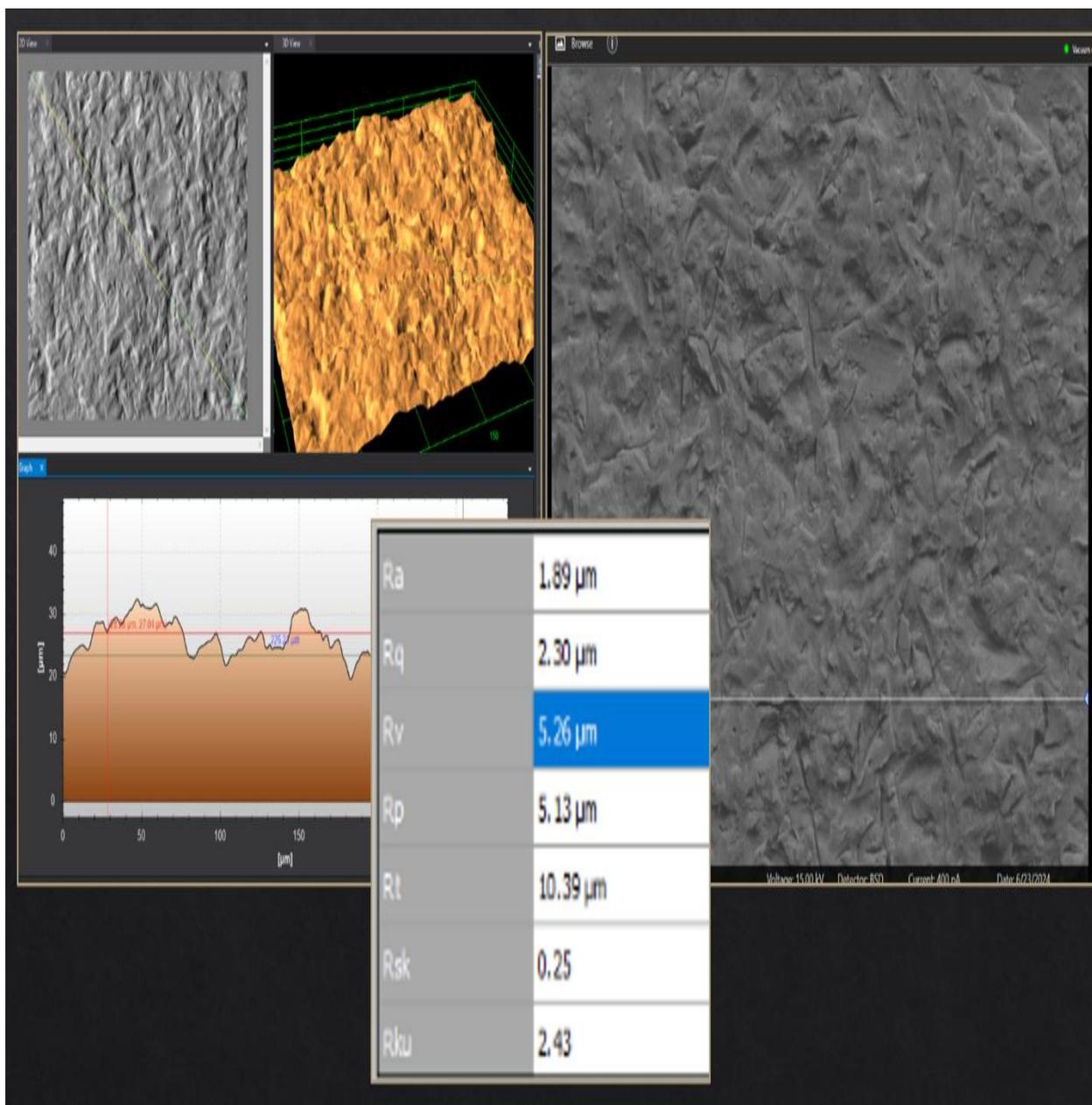
В результате анализа данных было установлено, что воздушно-абразивная обработка препарированного дентина, несмотря на удаление смазанного слоя, может способствовать как раскрытию значительного количества устьев дентинных канальцев, так и их obturation за счет пластической деформации перитубулярных зон на поверхности.

При анализе изображений с поверхности дентина было выявлено, что его препарирование твердосплавным бором (рис. 5.2.1.) приводит к obturation устьев дентинных канальцев обрывками твердых тканей зуба и способствует формированию наименьшей по величине микрошероховатости поверхности.



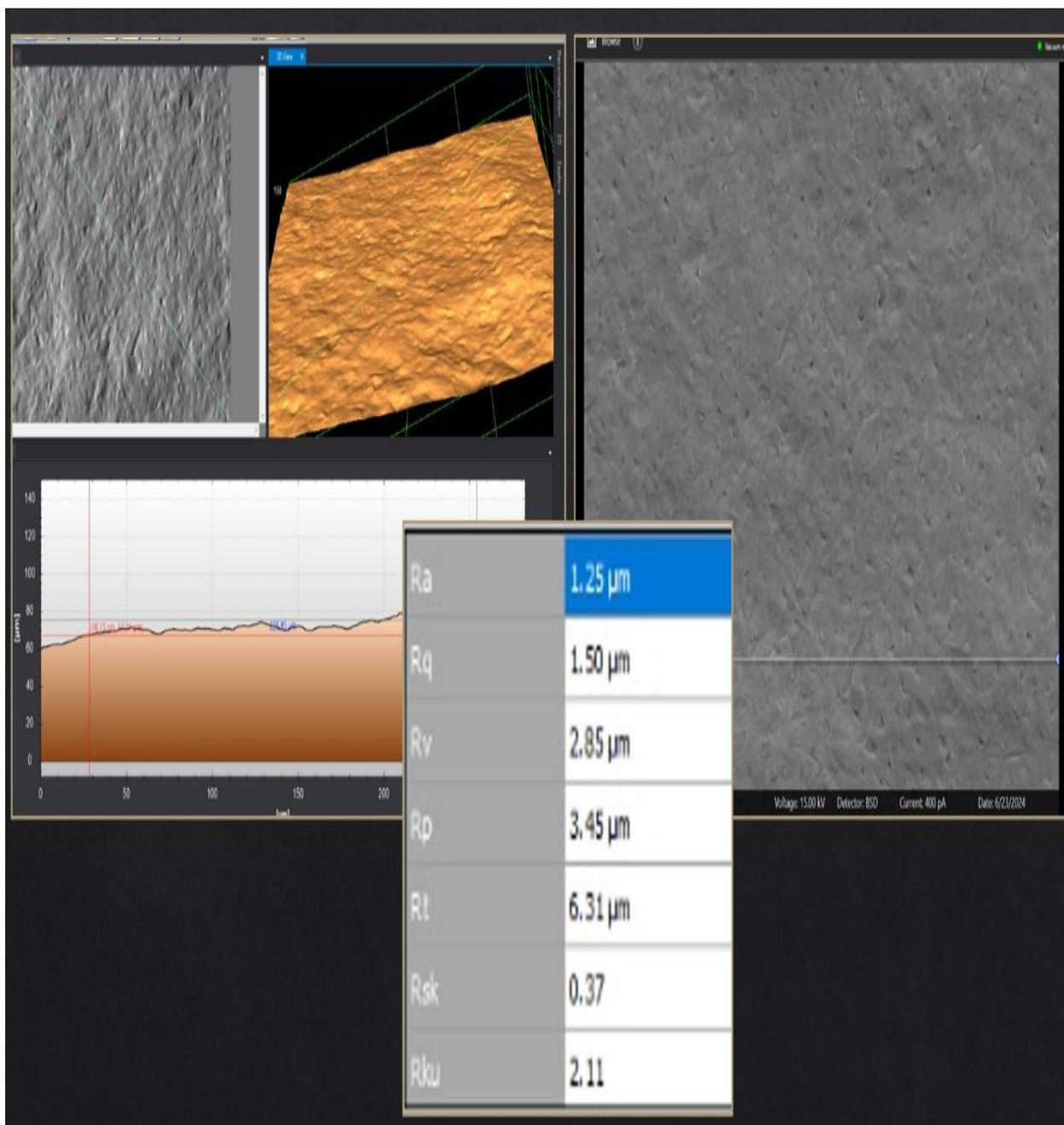
**Рис. 5.2.1. Микрорельеф поверхности дентина после обработки твердосплавным бором**

При этом последующая воздушно-абразивная обработка дентина порошком  $Al_2O_3$  (27 μm) (рис. 5.2.2.) не приводит к раскрытию устьев дентинных канальцев, но способствует увеличению его микрошероховатости почти в 2,5 раза.



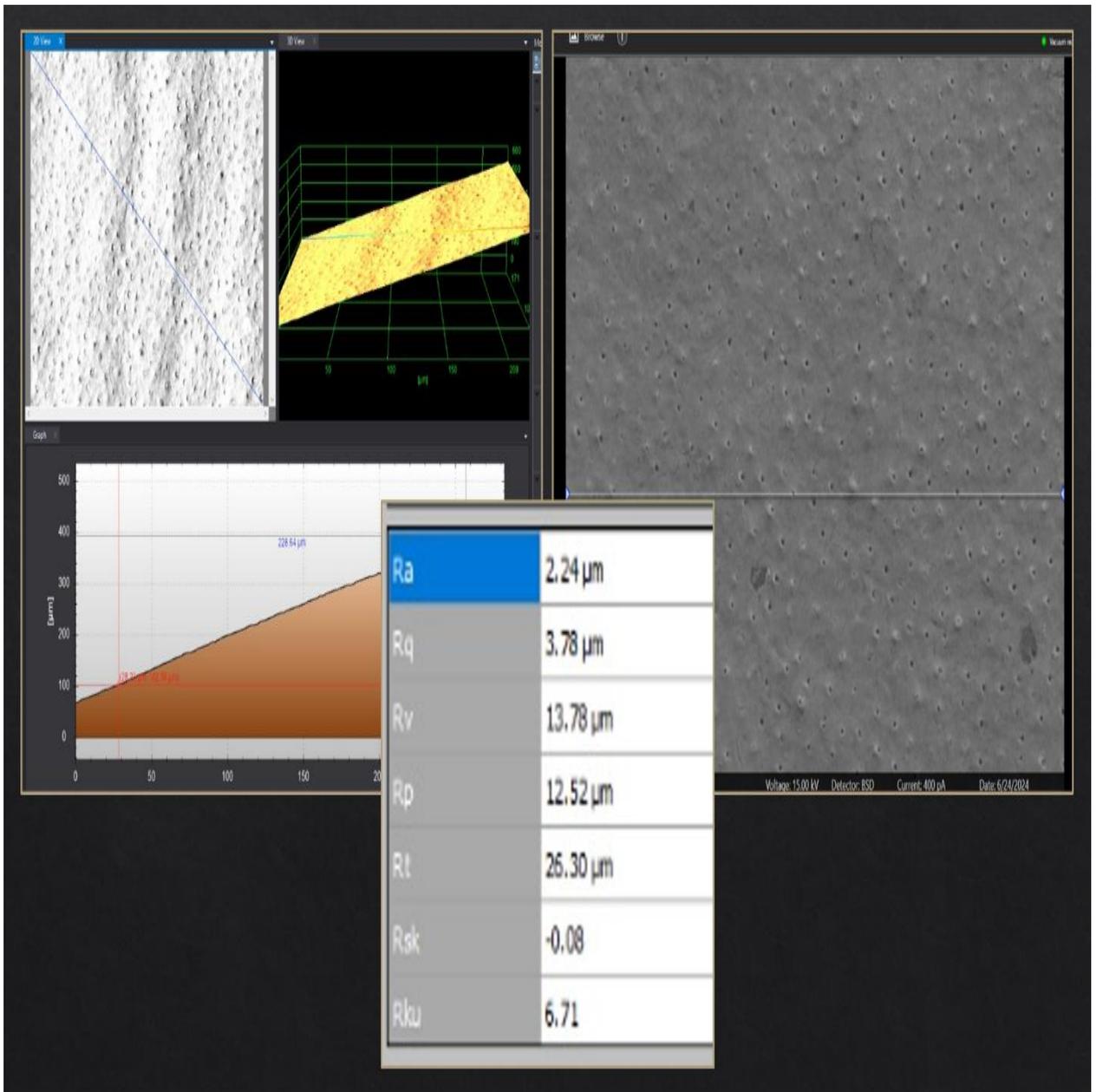
**Рис. 5.2.2. Микрорельеф поверхности дентина после обработки порошком оксида алюминия**

Также было установлено, что частичному раскрытию устьев дентинных канальцев после их obturation, связанной с традиционным препарированием, способствовала воздушно-абразивная обработка дентина смесью бикарбоната натрия ( $40 \mu\text{m}$ ) (рис. 5.2.3). При этом уровень микрошероховатости адгезивной поверхности увеличился в 1,7 раза.



**Рис. 5.2.3. Микрорельеф поверхности дентина после обработки смесью на основе бикарбоната натрия**

Однако, удаление смазанного слоя с поверхности дентина без признаков его пластической деформации и раскрытие наибольшего числа устьев дентинных канальцев (рис. 5.2.4) стало возможным благодаря воздушно-абразивной обработке смесью на основе эритритола, которая также приводила к увеличению поверхностной микрошероховатости дентина в 3,2 раза.



**Рис. 5.2.4. Микрорельеф поверхности дентина после обработки смесью на основе эритритола**

Таким образом, воздушно-абразивная обработка препарированного дентина несхожими по твердости и размеру частиц абразивными смесями, способствует получению значительно отличающихся друг от друга качественных и количественных показателей поверхности (табл.5.2.1.), которые, в свою очередь, могут стать причиной возникновения достоверных различий в прочности интерфейса пломба - зуб после использования адгезивных систем тотального травления и бондов на основе активных мономеров.

Таблица 5.2.1

**Показатели микрошероховатости дентина после обработки  
различными методами**

<b>ГРУППЫ ИССЛЕДОВАНИЯ</b>	<b>1-я группа</b> (препарирование твёрдо-сплавным бором)	<b>2-я группа</b> (воздушно- абразивная обработка Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	<b>3-я группа</b> (воздушно- абразивная обработка бикарбонатом натрия)	<b>4-я группа</b> (воздушно- абразивная обработка эритритолом)
<b>МИКРО- ШЕРОХО- ВАТОСТЬ Ra (µm)</b>	<b>0,63±0,08</b>	<b>1,56±0,26</b>	<b>1,07±0,12</b>	<b>2,02±0,15</b>
<b><i>P</i></b>	<b>1-2 (&lt;0,05)</b>	<b>1-4 (&lt;0,05)</b>	<b>2-4 (&lt;0,05)</b>	
	<b>1-3 (&lt;0,05)</b>	<b>2-3 (&lt;0,05)</b>	<b>3-4 (&lt;0,05)</b>	

Воздушно-абразивные методы обработки твердых тканей можно отнести к разряду струйных или ударных, которые, в отличие от обычных шлифующих с применением вращающихся инструментов, режут и очищают эмаль и дентин без формирования затертого или смазанного слоя на обрабатываемых поверхностях.

Среди немногочисленных и незначительных недостатков этих методов наиболее существенным может быть возможная контаминация препарированных объектов частицами абразива, сталкивающихся с поверхностью твердых тканей зуба на высокой скорости под действием сжатого воздуха.

В силу того, что контаминация поверхности эмали и дентина частицами абразива может сказаться как на силе адгезии композитного материала к твердым тканям зуба, так и результатах лечения, в очередную задачу настоящего исследования вошло изучение вероятных изменений в элементном составе поверхности эмали и дентина после воздушно-абразивной обработки.

### 5.3. Анализ элементного состава поверхности зуба после воздушно-абразивной обработки различными порошками

При анализе данных энергодисперсионной спектроскопии было установлено, что воздушно-абразивная обработка интактной эмали смесью на основе эритритола способствовала максимальному сохранению атомов фтора на ее поверхности, обычно входящих в состав фторапатита (рис. 5.3.1.).

При этом воздушно-абразивная обработка интактной эмали порошком  $Al_2O_3$  стала причиной полного исчезновения с ее поверхности атомов фтора (рис. 5.3.2).

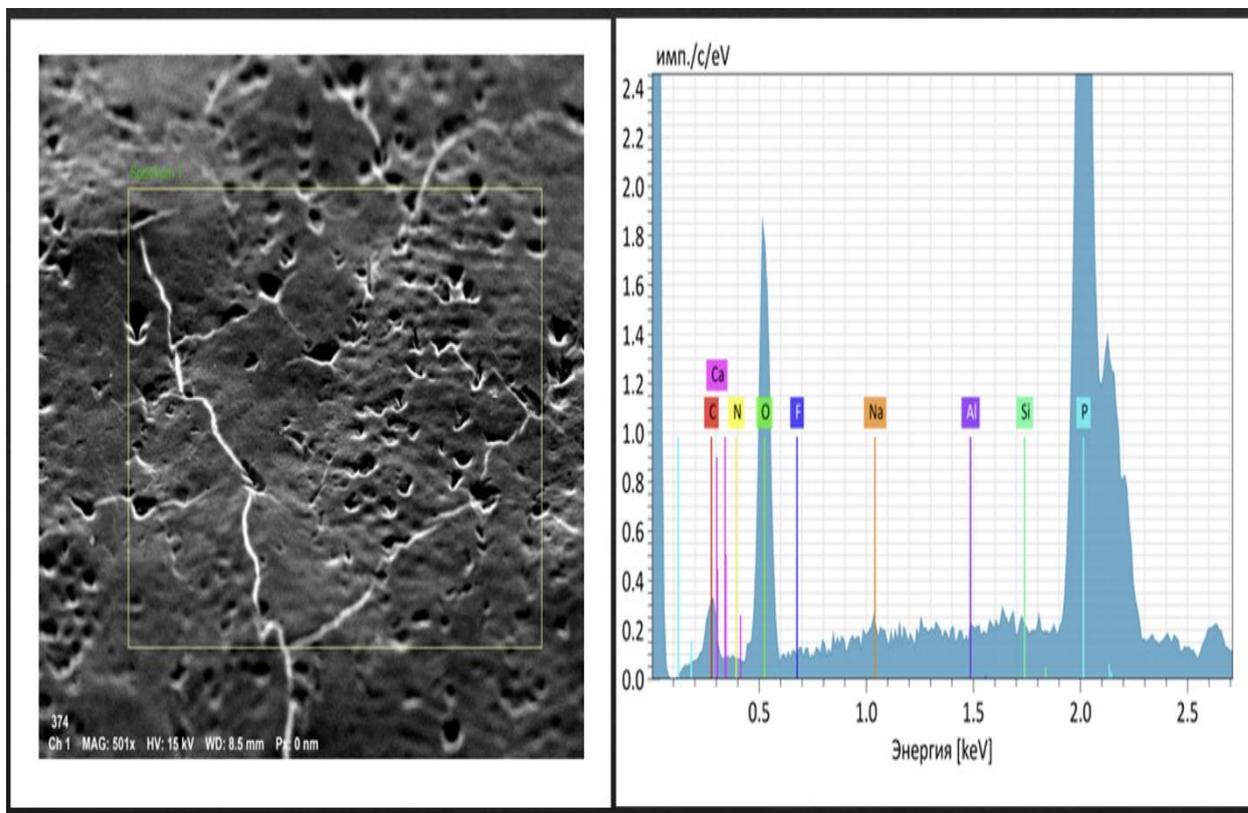
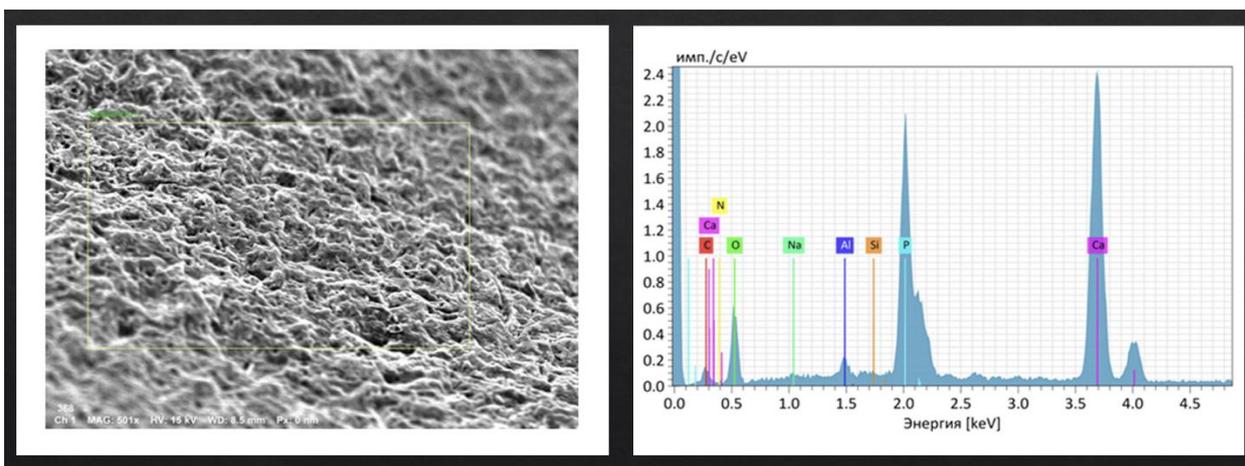
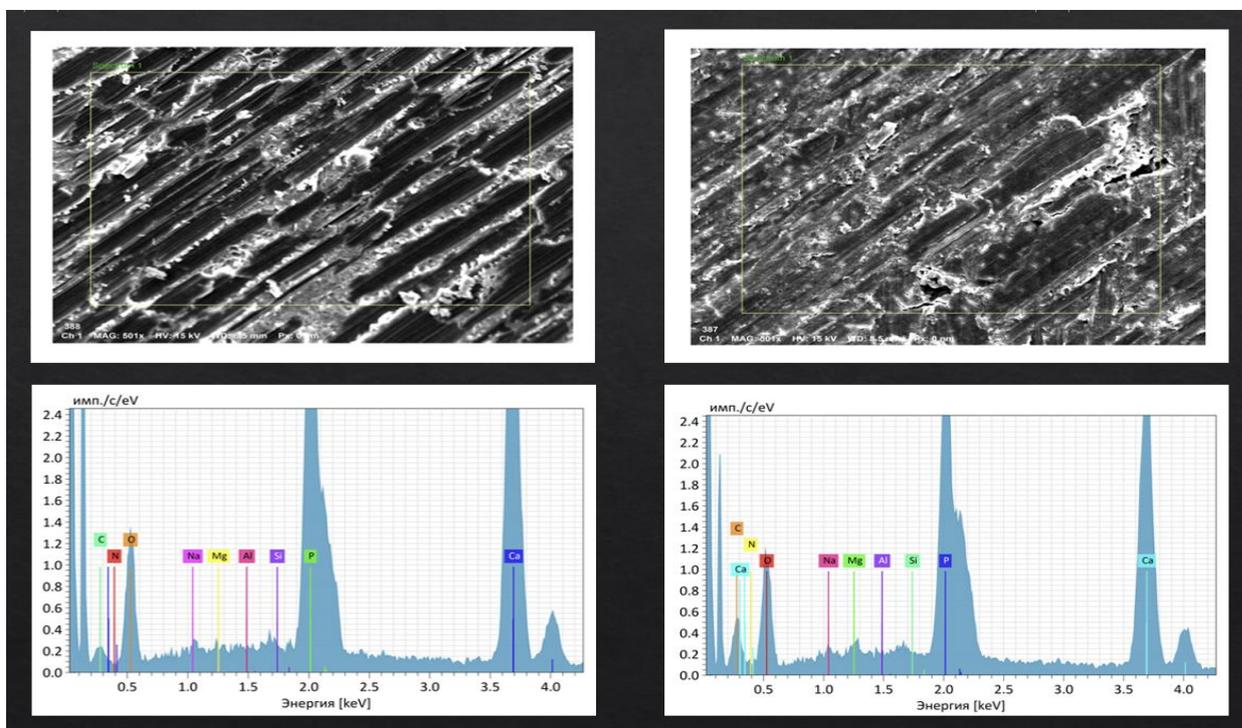


Рис. 5.3.1. Микрорельеф (слева) и элементный состав (справа) интактной поверхности эмали после обработки эритритолом

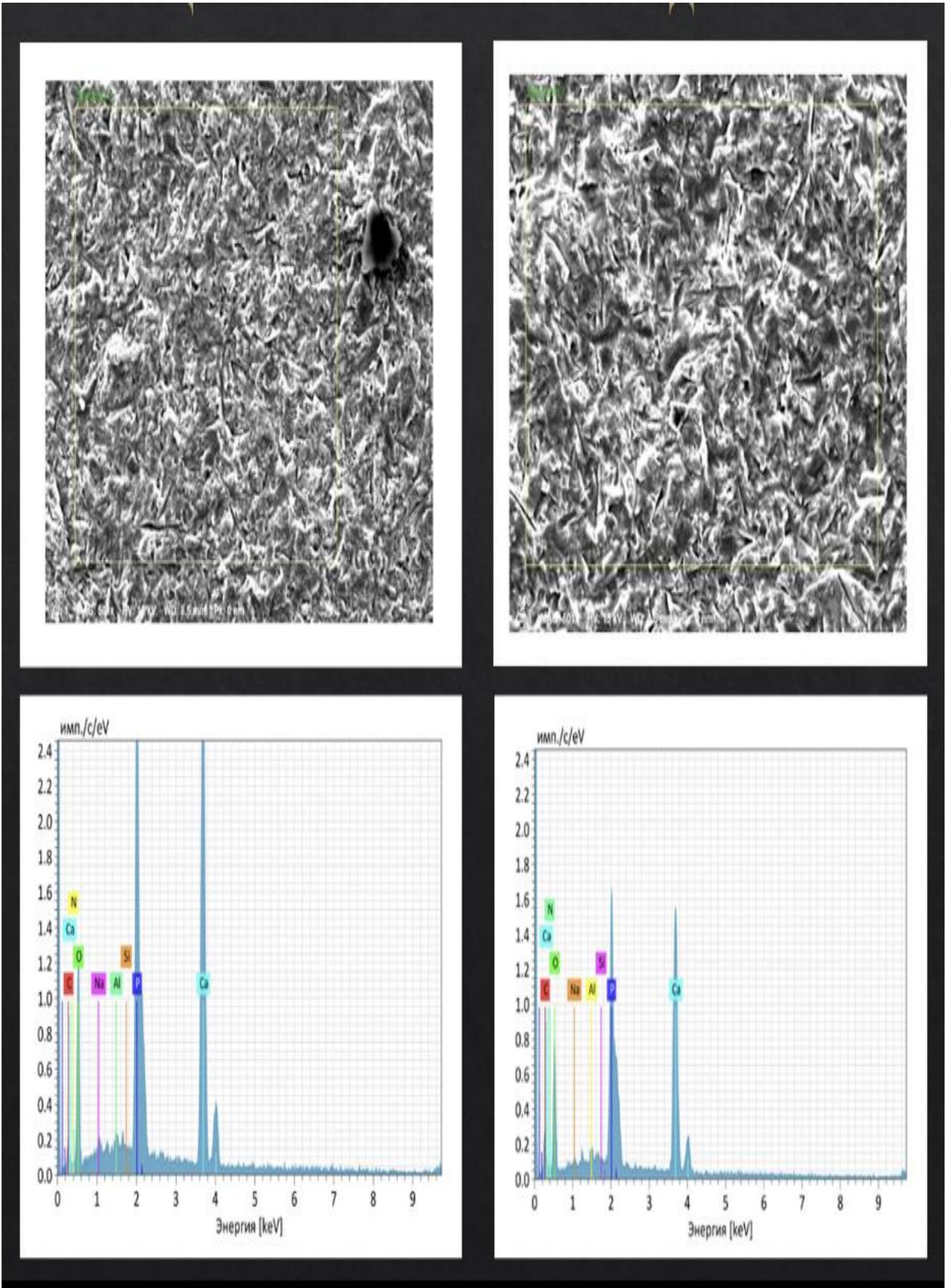
Также было установлено, что после традиционной препаровки эмали алмазным бором на поверхности шлифов отмечалось снижение в содержании атомов азота и углерода в среднем в 3,5 и 3,2 раза ( $p < 0,05$ ) и повышение уровня кальция, кислорода и фосфора на 2,3%, 11,7% и 4,3% ( $p > 0,05$ ) соответственно, вероятной причиной которых стала затирка неровностей гидроксиапатитной пылью (рис.5.3.3.).



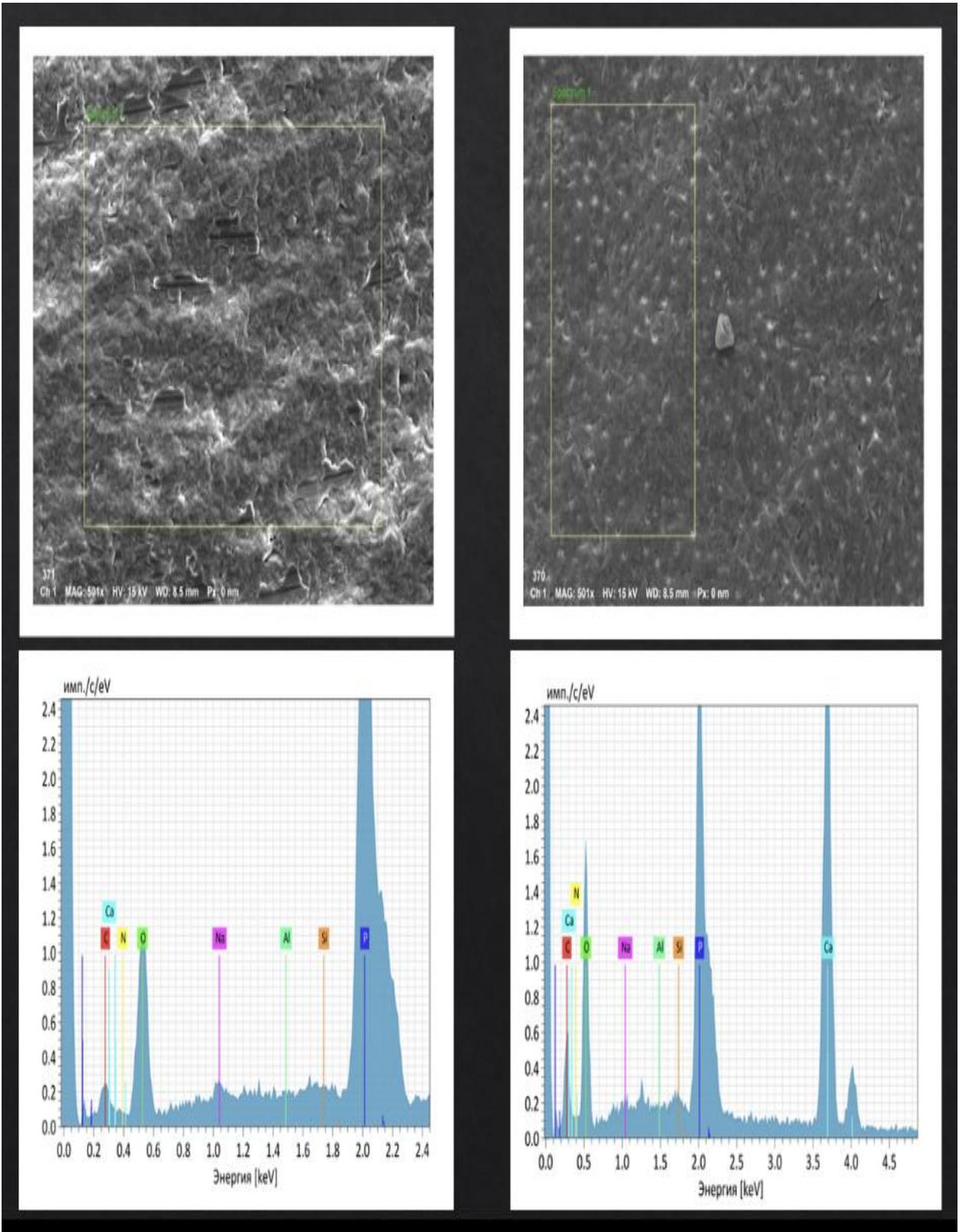
**Рис. 5.3.2. Микрорельеф (слева) и элементный состав (справа) интактной поверхности эмали после обработки порошком  $\text{Al}_2\text{O}_3$**



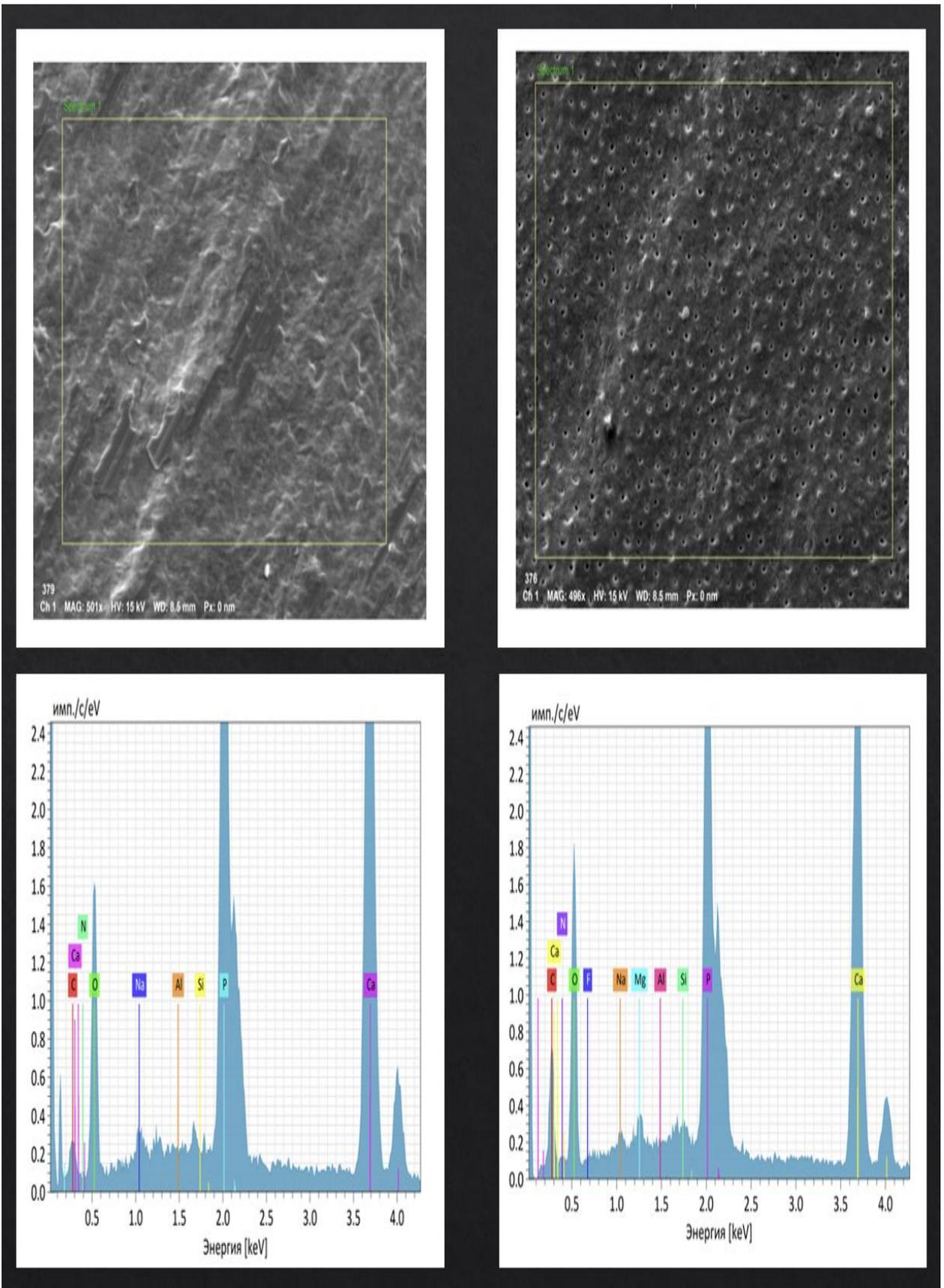
**Рис. 5.3.3. Микрорельеф и элементный состав шлифов эмали (слева) и дентина (справа) после традиционной обработки борами**



**Рис. 5.3.4. Микрорельеф и элементный состав поверхности шлифов эмали (слева) и дентина (справа) после воздушно-абразивной обработки порошком  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и пневмогидробластинга**



**Рис. 5.3.5. Микрорельеф и элементный состав поверхности шлифов эмали (слева) и дентина (справа) после воздушно-абразивной обработки порошком бикарбоната натрия и пневмогидробластинга**



**Рис.5.3.6. Микрорельеф и элементный состав поверхности шлифов эмали (слева) и дентина (справа) после воздушно-абразивной обработки смесью эритритола и пневмогидробластинга**

Однако, несмотря на выявленные изменения в содержании элементов, сравнительный анализ поверхностей шлифов эмали и дентина, препарированных воздушно-абразивными смесями на основе  $Al_2O_3$ , бикарбоната натрия и эритритола, не выявил клинически значимого увеличения в содержании элементов, входящих в состав этих порошков.

Таким образом, вышеизложенные факты являются подтверждением отсутствия контаминации адгезивных поверхностей зубов частицами абразива и стали основанием для более полного понимания причин удовлетворительного и неудовлетворительного исходов лечения кариеса с применением композитных материалов.

## **ГЛАВА VI. КЛИНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И АДГЕЗИВНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ПОДГОТОВКИ**

Цель клинического блока – оценить силы сцепления и поведенческие характеристики реставраций при использовании адгезивов различных поколений после разных методов подготовки. По данным Doshi и соавт. (2023) и Наак и соавт. (2023), универсальные адгезивы демонстрируют надёжные 2–5-летние клинические результаты при условии селективного травления эмали, активного втирания и тщательного испарения растворителя (2023). По данным Cardoso и соавт. (2020), альтернативные «не-борные» методики, включая АРА-подходы, лучше переносятся пациентами (2020).

Заключение к главе VI. Алгоритм для эмали: краткая АРА  $Al_2O_3$  → селективное травление эмали → универсальный адгезив с активным втиранием, что повышает краевую стабильность и ретенцию (Bhadule и соавт., 2024). Алгоритм для дентина: при обработке эритритолом целесообразно сокращение времени травления для сочетания высокой адгезии с контролем чувствительности; для иных абразивов – приоритетен режим etch-and-rinse (Ramos и соавт., 2024). В клинике мягкие абразивы помогают снизить послеоперационную чувствительность; суммарная переносимость выше при альтернативных методиках удаления кариеса (Cardoso и соавт., 2020).

### **6.1. Влияние воздушно-абразивной обработки адгезивной поверхности на силу адгезии композитного материала к эмали и дентину зуба, при использовании адгезивных систем 5-го и 7-го поколений**

Согласно результатам очередной, доклинической части исследования, выполнение которой было необходимо для выявления логических взаимосвязей между качеством структуры адгезивных поверхностей зуба и типом адгезивных систем было установлено, что сила сцепления композитного материала с эмалью и дентином зависит не только от типа

порошка, используемого для воздушно-абразивной обработки, но также и от разновидности применяемой адгезивной системы.

Одним из наиболее ценных наблюдений стал тот факт, что воздушно-абразивная обработка эмали порошком  $Al_2O_3$  позволила повысить эффективность использования адгезивных систем 5-го и 7-го поколений на 16% и 14 % соответственно в случае их сопоставления с данными контрольной группы (табл. 6.1.1).

При этом разница оказалась намного значительней, когда сравнение проводили между 2-й и 4-й группами. В этом случае сила адгезии композита к эмали после обработки поверхности зуба порошком  $Al_2O_3$  была выше на 36% у адгезивов 5-го поколения, и на 28% у мономеров 7-го ( $p < 0,05$ ).

**Таблица 6.1.1.**

**Сила адгезии композитного материала к эмали и дентину зуба после использования адгезивных систем 5-го поколения в зависимости от метода обработки поверхности**

Адгезивная система		1-я группа lb	2-я группа lb	3-я группа lb	4-я группа lb
OS (Kerr)	эмаль	30,5 ± 3,6	35,5 ± 4,4	29,0 ± 6,0	26,2 ± 3,8
	дентин	28,4 ± 3,3	27,6 ± 3,4	25,9 ± 6,0	23,2 ± 3,9
PU (Ult)	эмаль	29,3 ± 4,1	34,1 ± 4,3	27,8 ± 6,2	24,9 ± 3,7
	дентин	27,3 ± 5,5	28,9 ± 5,6	26,6 ± 6,0	19,7 ± 4,2

Ранее было отмечено, что воздушно-абразивная обработка дентина смесью на основе эритритола способствовала раскрытию наибольшего количества устьев дентинных канальцев на поверхности дентина.

Это привело к повышению эффективности применения адгезивных систем 5-го поколения в среднем на 30%, но только при условии сокращения времени кислотного травления в 2 раза (табл. 6.1.2).

**Таблица 6.1.2.**

**Сила адгезии композитного материала к дентину зуба у образцов 4-й группы после использования адгезивных систем 5-го поколения в зависимости от длительности кислотного травления поверхности**

Адгезивная система	Тип обработки поверхности дентина	Время травления (20 сек) lb	Время травления (10 сек) lb
OS (Kerr)	Традиционная + Эритритол	23,2 ± 3,9	28,2 ± 3,5
PU (Ult)	Традиционная + Эритритол	19,7 ± 4,2	27,3 ± 5,4

Анализ полученных значений силы адгезивного соединения композитного материала к дентину зуба при использовании адгезивных систем 7-го поколения не выявил никаких логических закономерностей, однако продемонстрировал высокую практическую ценность адгезивной смолы SBU, эффективность использования которой не зависела от типа обработки поверхностей дентина (табл. 6.1.3).

**Таблица 6.1.3.**

**Сила адгезии композитного материала к эмали и дентину зуба после использования адгезивных систем 7-го поколения в зависимости от метода обработки поверхности**

Адгезивная система		1-я группа lb	2-я группа lb	3-я группа lb	4-я группа lb
SBU (3M)	эмаль	25,9 ± 2,9	28,4 ± 3,8	22,3 ± 4,4	21,8 ± 4,7
	дентин	23,5 ± 2,3	24,6 ± 4,7	21,4 ± 2,0	21,8 ± 4,7
BF2 (Tqm)	эмаль	20,2 ± 3,3	24,0 ± 2,1	19,3 ± 2,7	19,1 ± 1,5
	дентин	16,5 ± 2,4	15,6 ± 1,7	13,6 ± 2,3	9,9 ± 3,0

## 6.2. Клиническая оценка качества лечения и состояния композитных реставраций выполненных после подготовки адгезивных поверхностей зуба различными способами

Результаты клинической части исследования не противоречили данным доклинических испытаний и стали очередным доказательством сильных и слабых сторон различных методов обработки поверхности зубов в аспекте их послеоперационной чувствительности и клинического состояния композитных пломб в отдаленные сроки.

**Таблица 6.2.1**

### Клиническая оценка степени чувствительности зубов до и после лечения с использованием адгезивных систем 5-го поколения

Время теста	Исследуемые зубы	1-группа		2-группа		3-группа	
		OS (n=10)	PU (n=10)	OS (n=10)	PU (n=10)	OS (n=10)	PU (n=11)
До лечения	интактные	2,5±2,6	3±2,6	2±2,6	2,5±2,6	2±2,6	2,3±2,6
	пораженные	20±14, 3	19±16, 1	18±16, 3	17±15, 8	18±16, 4	16,4±1 5,2
	<i>P</i>	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Через 2 недели	интактные	2,5±2,6	2,5 ±2,6	3 ±3,5	2±2,6	3±3,5	2,3±2,6
	пораженные	15,5±6, 9	15±5,8	14,5±6, 9	13,5±6, 3	6±7	4,5±4,7
	<i>P</i>	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	>0,05	>0,05
Через 12 недель	интактные	2,5±3,5	2,5±2,6	2,5±3,5	2±2,6	2,5±3,5	3,6±3,9
	пораженные	5±5,3	4±3,9	4,5±6	3,5±4,1	3±4,8	2,3±3,4
	<i>P</i>	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05

Клиническая оценка степени чувствительности зубов, проводимая в группах, в которых использовали адгезивные системы 5-го поколения, показала высокую эффективность мягких абразивных смесей и быструю нормализацию чувствительности зубов после лечения (табл. 6.2.1).

**Таблица 6.2.2.**

**Клиническая оценка степени чувствительности зубов 4 -группы до и после лечения с использованием адгезивных систем 5-го поколения в зависимости от длительности кислотного травления поверхности**

Время теста	Исследуемые зубы	4-группа (время травления дентина 20 сек)		4-группа (время травления дентина 10 сек)	
		OS (n=5)	PU (n=5)	OS (n=5)	PU (n=5)
До лечения	интактные	3±2,7	3±4,5	3±2,8	2±2,8
	пораженные	20±12,2	19±16,7	18±13	20±17,3
	<i>P</i>	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Через 2 недели	интактные	3±2,7	4±4,2	3±2,7	3±2,7
	пораженные	46±11,4	44±11,4	6±5,5	5±5
	<i>P</i>	<0,05	<0,05	>0,05	>0,05
Через 12 недель	интактные	4±4,2	3±4,5	3±4,5	2±2,7
	пораженные	9±7,4	8±7,6	4±4,2	3±4,5
	<i>P</i>	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05

При этом была отмечена крайне важная необходимость сокращения времени кислотного травления дентина в случае его обработки смесью на основе эритритола, во избежание появления стойкой послеоперационной чувствительности зубов (табл. 6.2.2).

Также была отмечена позитивная перспектива для самотравящих адгезивных систем 7-го поколения. Использование различных методов обработки и подготовки полостей зубов к пломбированию композитным

материалом не приводило к возникновению серьезных послеоперационных осложнений в случае их применения (табл.6.2.3).

**Таблица 6.2.3.**

**Клиническая оценка степени чувствительности зубов до и после  
лечения с использованием адгезивных систем 7-го поколения**

Вре- мя тес- та	Иссле- дуемые зубы	1-группа		2-группа		3-группа		4-группа	
		SBU (n=10)	BF (n=11)	SBU (n=11)	BF (n=12)	SBU (n=12)	BF (n=12)	SBU (n=11)	BF (n=13)
До леч- е- ния	Интакт- ные	2,5 ± 2,6	2,7 ± 2,6	3,2 ± 3,4	2,5 ± 2,6	2,9 ± 3,3	3,3 ± 3,6	3,6 ± 3,9	3,8 ± 3
	Пораже- нные	20 ± 14,3	18,2 ± 15,5	18,6 ± 15,5	18,3 ± 14,8	19,2 ± 15,2	15,8 ± 14,6	17,3 ± 15,7	16,2 ± 14
	<i>P</i>	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Че- рез 2 не- дел- и	Интакт- ные	2,5 ± 2,6	3,2 ± 2,5	3,6 ± 3,9	2,5 ± 2,6	2,5 ± 2,6	3,8 ± 3,1	4,1 ± 3,8	3,8 ± 3,6
	Пораже- нные	5 ± 5,3	6,4 ± 5	5,5 ± 5,2	7 ± 5,8	5,8 ± 5,1	6,7 ± 6,5	6,4 ± 8	6,9 ± 4,8
	<i>P</i>	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05
Че- рез 12 не- дел- ь	Интакт- ные	3 ± 3,5	2,7 ± 2,6	3,2 ± 4	2,1 ± 2,6	2,5 ± 3,4	3,3 ± 3,9	3,6 ± 3,2	3,8 ± 3,5
	Пораже- нные	4 ± 5,2	3,6 ± 3,9	3,6 ± 5	4,6 ± 5	2,9 ± 4,5	5 ± 6,4	3,6 ± 5	5 ± 4,6
	<i>P</i>	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05

В отношении косметического состояния реставраций, воздушно-абразивная обработка поверхности зуба смесями на основе оксида алюминия и бикарбоната натрия способствовала поддержанию наилучшего краевого прилегания композитных пломб при использовании адгезивных систем как 5-го, так и 7-го поколений (рис.6.2.1. и 6.2.2.).

Таблица 6.2.4.

## Показатели клинического состояния композитных реставраций

Группы	1-я группа				2-я группа				3-я группа				4-я группа			
	OS	PU	SB	B	OS	PU	SB	B	OS	PU	SB	BF	OS	PU	SB	BF
Подгруппы	10	10	U 10	F 11	10	10	U 11	F 12	10	11	U 12	12	10	10	U 11	13
Показатели состояния пломб	3,3± 0,5	3,4 ± 0,7	3,4 ± 0,7	3 ± 0,6	3,7 ± 0,5	3,6 ± 0,5	3,6 ± 0,5	3, 5 ± 0,7	3,5 ± 0,5	3,6 ± 0,7	3,4 ± 0,7	3,4 ± 0,7	3,2 ± 0,4	3,3 ± 0,7	3,4 ± 0,7	2,8 ± 0,7

Таким образом, в случае использования адгезивных систем 5-го поколения воздушно-абразивная обработка поверхности дентина мягкими абразивными смесями на основе бикарбоната натрия и эритритола способствовала нормализации чувствительности зубов уже через 2 недели после лечения, в отличие от традиционного метода обработки дентина твердосплавным бором или альтернативного с применением порошка  $Al_2O_3$ .

Также, быстрой нормализацией чувствительности зубов сопровождалось применение адгезивных систем 7-го поколения, при чем не зависимо от использованного метода обработки эмали и дентина.

Однако, только воздушно-абразивная обработка поверхности зуба смесями на основе оксида алюминия и бикарбоната натрия способствовала

поддержанию наилучшего краевого прилегания композитных пломб при использовании адгезивных систем как 5-го, так и 7-го поколений.

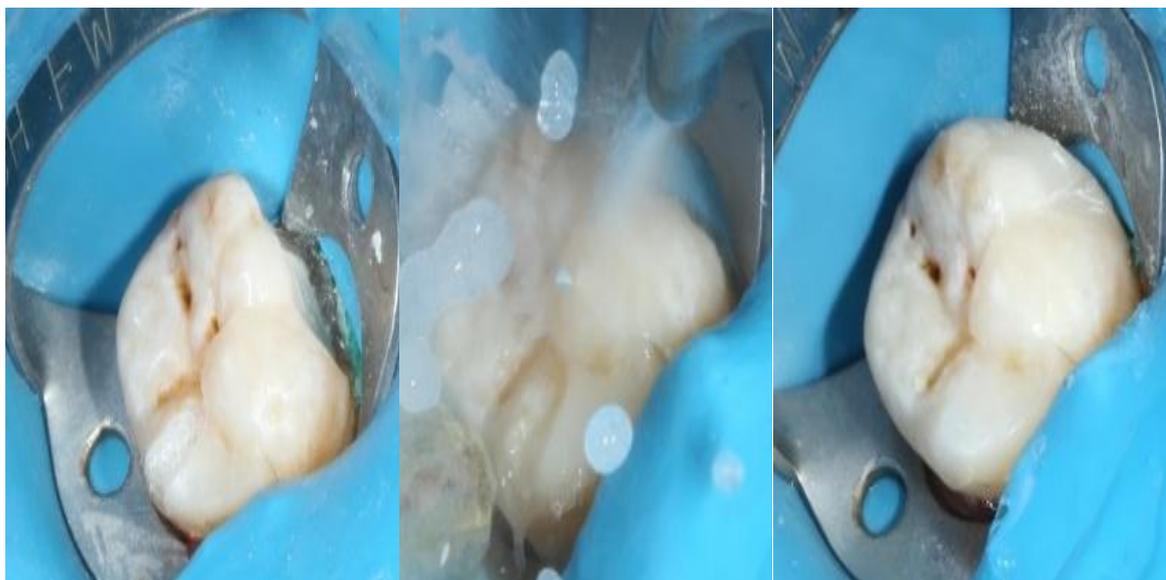


а

б

в

**Рис. 6.2.1. Клиническое состояние композитной реставрации после воздушно-абразивной обработки бикарбонатом натрия: а-после восстановления; б-через 2 года после восстановления; в-через 3 года после восстановления**



а

б

**Рис. 6.2.2. Клиническое состояние композитной реставрации после воздушно-абразивной обработки оксидом алюминия: а-после восстановления; б-через 1 год после восстановления**

Переходя к оглашению результатов, отражающих влияние качества ультраструктуры поверхности дентина и эмали на силу адгезии композитного материала к твердым тканям зуба, и оценивающих клиническое состояние

выполненных реставраций, нужно отметить, что несмотря на распространенность и достаточную изученность метода воздушно-абразивной обработки зубов, изучение данного вопроса остается актуальным как в следствие постоянной разработки и внедрения в практику новых воздушных абразивов, так и появления современных адгезивных материалов.

С практической точки зрения было отмечено, что использование оксида алюминия с размером частиц 27 мкм является оптимальным для очистки поверхности эмали в области фиссурного кариеса.

Применение 50-микронного порошка позволяло также производить препарирование декальцинированной эмали, что наиболее четко видно на примере апроксимального кариеса.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Чистота и микро-шероховатость поверхности эмали оказывают существенное влияние на качество и силу адгезии композитных материалов к ней.

Минеральная составляющая самой твердой ткани в организме составляет более 95%, что создает благоприятные условия для формирования надежного, влагостойкого соединения между пломбой и зубом.

Однако хрупкость эмалевых призм и высокая вероятность формирования микротрещин в процессе механической обработки являются основными причинами возникновения когезивных отрывов, вызванных полимерным стрессом и несостоятельностью гибридного слоя в противостоянии ему.

Алмазные боры и абразивные порошки пока остаются основными инструментами и материалами для препарирования и очистки поверхности эмали. При этом каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки.

К примеру, использование вращающихся режущих инструментов позволяет придавать кариозной полости необходимую конфигурацию, но не защищает от возможного перегрева и сглаживания поверхности твердых тканей зуба, вероятно из-за повышенного давления на инструмент, высоких оборотов и слабого водяного охлаждения.

С другой стороны, применение воздушно - абразивных методов с целью механического препарирования поверхности зуба способствует получению наиболее однородной микроструктуры без риска возникновения трения и повышения температуры в обрабатываемых твердых тканях.

Поэтому, оба метода являются взаимодополняющими и востребованными.

Однако, в аспекте качества подготовки адгезивных поверхностей, существенным недостатком обоих методов является формирование неровностей, характеристика которых основана на высотных и шаговых параметрах профиля.

В этой связи, в практической стоматологии, несмотря на широкое использование самопротравливающих систем 6-го и 7-го поколений, финишную подготовку поверхности эмали перед нанесением адгезивной смолы осуществляют путем химического травления гелями на основе ортофосфорной кислоты. Такой метод изолированного кислотного воздействия на эмаль называют селективным.

В доступной литературе накопилось большое количество данных, указывающих на острую необходимость кислотного травления эмали с момента его открытия М. Буонокором в 1955 г.

Однако, разработка и использование новых методов и материалов для механической обработки поверхности зуба может по-разному влиять на качество структуры поверхности эмали, и как следствие на эффективность ее кислотного травления.

Исходя из этого задачей настоящего исследования стало изучение влияния кислотного травления на микро-шероховатость зубной эмали после традиционной обработки алмазными борами и воздушно-абразивными смесями на основе  $Al_2O_3$  и эритритола.

В настоящем исследовании были использованы порошки на основе оксида алюминия (27; 50 мкм), бикарбоната натрия (40 мкм) и эритритола (14 мкм).

На основании проведенных исследований сделаны следующие выводы.

1. Традиционное препарирование эмали алмазным бором снижает эффективность кислотного травления в 1,32 раза. Однако, дополнительная воздушно-абразивная обработка шлифованной эмали порошком  $Al_2O_3$  (27  $\mu m$ ) повышает эффективность кислотного травления и увеличивает ее микрошероховатость в 1,7 раза.

2. Воздушно абразивная обработка дентина порошком  $Al_2O_3$  (27  $\mu m$ ) не приводит к раскрытию устьев дентинных канальцев, но способствует увеличению его микрошероховатости почти в 2,5 раза. Наибольшее раскрытие устьев дентинных канальцев и увеличение микрошероховатости дентина в 3,2

раза наблюдается после воздушно-абразивной обработки дентина смесью на основе эритритола (14  $\mu\text{m}$ ).

3. Воздушно-абразивная обработка эмали и дентина в сочетании с пневмогидробластингом не способствует контаминации адгезивных поверхностей частицами абразива.

4. Воздушно-абразивная обработка дентина смесью на основе эритритола позволяет сократить время кислотного травления и повысить силу адгезии композитных материалов при использовании адгезивных систем 5-го поколения. Аналогичная обработка эмали порошком оксида алюминия (27 мкм) повышает эффективность использования адгезивных систем как 5-го, так и 7-го поколений.

5. Дифференцированная воздушно-абразивная подготовка поверхности зуба, предусматривающая обработку дентина смесями на основе бикарбоната натрия (40 мкм) или эритритола (14  $\mu\text{m}$ ), а также препаровку эмали порошком оксида алюминия (27 мкм), способствует получению наилучших клинических результатов, отличающихся стабильным краевым прилеганием пломб, отсутствием стойкой послеоперационной чувствительности и рецидива кариеса.

### **Итоговый научно-практический синтез**

В рамках представленных исследований продемонстрировано, что качество подготовки адгезивных поверхностей — ключевой предиктор долговечности композитных реставраций. По данным авторов настоящего исследования (2024–2025), традиционное формообразование борами обеспечивает геометрию полости, но формирует выраженный смазанный слой и сглаживает микрорельеф, снижая эффективную площадь адгезии; добавление короткой воздушно-абразивной обработки (АРА) модифицирует топографию эмали и дентина, улучшает эффективность травления и инфильтрацию адгезивов (2024–2025). В совокупности это позволяет перейти от «механического» понимания препарирования к биомеханической

настройке интерфейса «ткань-адгезив-композит», что и составляет основную практическую ценность данного труда.

Эмаль при правильной микроархитектуре (микропоры, края призм, отсутствие контаминации) обеспечивает высокоэнергетическое сцепление после селективного травления. На дентине решающими оказываются открытость устьев канальцев, сохранность коллагеновой матрицы и контроль влаги. Наши данные подтверждают: краткая АРА с правильно подобранным абразивом ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  27 мкм для эмали; эритритол 14 мкм или  $\text{NaHCO}_3$  40 мкм для дентина) повышает пригодность субстрата к гибридизации, при этом время кислотного травления следует адаптировать под характер рельефа (2024–2025).

Дифференцированная воздушно-абразивная подготовка (DAP) — предложенная в монографии модель, при которой выбор абразива и режимов зависит от субстрата и клинической задачи. Для эмали: короткая АРА  $\text{Al}_2\text{O}_3$  27 мкм → селективное травление → универсальный адгезив с активным втиранием и тщательным испарением → композит. Для дентина: АРА эритритолом 14 мкм (при риске гиперестезии — с сокращением времени травления) либо  $\text{NaHCO}_3$  40 мкм → etch-and-rinse/универсальный адгезив → композит. Такая персонализация снижает частоту послеоперационной чувствительности и улучшает краевую стабильность (2024–2025).

Ротационные инструменты остаются базовым способом формообразования, однако сопряжены с термической и механической нагрузкой и образованием smear-layer. АРА не заменяет, а дополняет бор: оптимальная последовательность — геометрия бором, затем короткая АРА для создания равномерного микрорельефа и удаления смазанного слоя, далее селективное травление/адгезив. Именно комбинация методов, а не их противопоставление, даёт максимальный клинический эффект (2024–2025).

Серии ЭДС-измерений показали отсутствие клинически значимой контаминации абразивами при соблюдении регламентов промывки/сушки. Наблюдаемые сдвиги по Ca/O/P отражают апатитную пыль и не ухудшают

адгезию при последующей кондиционирующей обработке. Этот вывод важен для безопасности и воспроизводимости DAP в повседневной практике (2024–2025).

На эмали золотым стандартом остаётся селективное травление после АРА  $\text{Al}_2\text{O}_3$  27 мкм. На dentине универсальные адгезивы наиболее предсказуемы в режиме etch-and-rinse после АРА; при эритритоле критично сократить время травления. Для систем 5-го поколения DAP даёт выраженный прирост адгезии, а для 7-го поколения — выравнивает показатели при условии строгого контроля владения техникой (активное втирание, испарение растворителя) (2024–2025).

В клинических наблюдениях DAP ассоциировалась со стабильным краевым прилеганием, снижением микроподтекания и быстрой нормализацией чувствительности, особенно при использовании мягких абразивов на dentине с адаптированным временем травления. Такая комбинация факторов снижает риск вторичного кариеса и увеличивает срок службы реставраций (2024–2025).

### **Алгоритмы внедрения (стандартизация)**

Эмалевые полости (классы I–II): формообразование → АРА  $\text{Al}_2\text{O}_3$  27 мкм (короткий проход) → селективное травление эмали 35–37%  $\text{H}_3\text{PO}_4$  → универсальный адгезив (активное втирание  $\geq 20$ –30 с; тщательное испарение) → композит (bulk-fill допустим с «крышкой» из наногибрида).

Dентин-доминантные полости/риск гиперестезии: щадящее формообразование → АРА эритритолом 14 мкм или  $\text{NaHCO}_3$  40 мкм → травление с сокращённой/стандартной экспозицией (по абразиву) → универсальный адгезив в режиме etch-and-rinse → композит.

Профилактика фиссур/NCCL: короткая АРА эмали → селективное травление → универсальный адгезив → герметик/текучий композит.

Все шаги сопровождаются абсолютной/относительной изоляцией, контролем влаги и дозой света согласно паспорту лампы (2024–2025).

Для масштабирования DAP необходимы: локальные регламенты параметров (фракция, давление, экспозиция, дистанция), чек-лист адгезивного протокола (селективное травление эмали; активное втирание; расширенное испарение; валидация экспозиции света), обучающие модули для команды и аудит качества (фотофиксация краёв, мониторинг VAS-чувствительности, контроль повторных вмешательств).

Результаты получены при стандартизированных настройках и строгой изоляции операционного поля. В реальной практике варибельность оборудования, навыков и условий полости рта может снижать воспроизводимость. Это требует внутреннего контроля качества, обучения и регулярных обновлений протоколов (2024–2025).

### **Интеграция выводов и практических рекомендаций**

Сводные клинико-практические положения встроены в само заключение и развёрнуты в логике алгоритмов внедрения. Для эмали оправдана короткая воздушно-абразивная обработка оксидом алюминия ( $\approx 27$  мкм) с последующим селективным травлением и применением универсального адгезива с активным втиранием и тщательным испарением растворителя; такая последовательность обеспечивает устойчивую краевую герметичность и высокую ретенцию реставраций. Для дентина целесообразен выбор мягких абразивов (эритритол  $\approx 14$  мкм или  $\text{NaHCO}_3 \approx 40$  мкм) с адаптацией времени кислотного травления и предпочтением стратегии etch-and-rinse; это позволяет совместить высокую прочность сцепления с контролем послеоперационной чувствительности. Клинический контроль включает осмотр краёв реставрации и динамику VAS-чувствительности через 1–2 недели, затем 6 и 12 месяцев с фотофиксацией и чек-листом осложнений. Эти положения являются частью итогового вывода монографии и не требуют отдельной главы.

### **Вектор дальнейших исследований:**

Первоочередны: долговременные наблюдения ( $\geq 5$ –10 лет) для разных абразивов и адгезивов; оптимальные окна травления дентина после эритритола с учётом возраста и исходной гиперестезии; влияние DAP на

поведение bulk-fill и коротковолокно-усиленных композитов; интеграция цифровой метрологии (оптическая профилометрия, ОКТ) как рутины контроля качества; оценка экономической эффективности DAP-протоколов.

Дифференцированная воздушно-абразивная подготовка трансформирует этап препарирования из механической процедуры в управляемую биомеханическую настройку адгезивного интерфейса. Интеграция DAP с селективным травлением эмали и дисциплинированным адгезивным протоколом обеспечивает устойчивую краевую герметичность, снижение послеоперационной чувствительности и профилактику рецидива кариеса. В результате DAP формирует современный стандарт адгезивной реставрации с доказанной клинической ценностью (2024–2025).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бекжанова О.Е., Алимова Д.М., Каюмова В.Р. Показатели интенсивности кариеса у пациентов, перенесших Covid-19. Ж. Dentistry Kazakhstan. 2024; 1:44-50.
2. Борисова З.Г., Идрис А.Я. Сравнительная характеристика адгезивных систем в современной стоматологии // Ж. Стоматолог-практик. 2019; 1:6-7.
3. Бочаров В.С. Критерии выбора метода реставрации жевательных зубов//Ж. Новое в стоматологии. 2018; 3:102-104.
4. Бутова В.Г., Зуев М. В., Смирнова Л. Е. Медицинская и социально-экономическая значимость санации рта/ Ж. Стоматология. 2020; 1:86-88.
5. Волинская Т. Б. Дифференциальный подход в выборе порошка для использования в хендблестерах при лечении больных с заболеваниями тканей пародонта//Ж. Современная стоматология. 2011; 3:72-76.
6. Гажва С.И., Демин Я. Д. Новый уровень знаний в области адгезивных систем - реальный успех в практической стоматологии//Ж. Современные проблемы науки и образования. 2017; 6:13.
7. Гветадзе Р.Ш., Ряховский А.Н., Мурадов М. А., Чкалин В.А., Поюровская И.Я. Толщина пленки композитов разной степени вязкости//Ж. Стоматология. 2020; 6:78-81.
8. Жаров И. А. Влияние различных воздушно-абразивных средств на минеральный обмен и микроструктуру эмали зуба при лечении поверхностного кариеса: Автореф. Дис.... канд. мед. наук. Воронеж, 2011. - 24с.
9. Земскова Т. С., Тихонова Т. А., Цыплухина Н. А. Сравнение клинической эффективности абразивных препаратов системы Air-Flow // Bulletin of Medical Internet Conferences. 2015; 5:1282 -1283.
10. Ирсадиев Х.И., Рахманов Х.Ш., Ханазаров Д.А., Байбеков И.М.Функциональная морфология барьерно-защитных комплексов полости рта//Монография.2001.-С.122.

11. Ирсадиев Х.И., Рахманов Х.Ш., Холматов Б.А., Байбеков И.М., Хабилов Н.Л. Сканирующая электронная микроскопия твердых тканей зубов при патологической стираемости// Ж. Stomatologiya.2002;3-4(17-18):19-21.

12. Камилов Х.П., Бекжанова О.Е., Азимова Н.Н. Состояние пломб у взрослого населения г. Ташкента //Dental Forum. 2004; 1:39-44.

13. Камилов Н.Х. Клинико-экспериментальное обоснование нехирургического лечения периимплантатных мукозитов и дентальных периимплантитов: Автореф. Дис. ... канд. мед. наук. - Ташкентский государственный стоматологический институт, Ташкент, 2024.- 60с.

14. Каххарова Д. Ж. Современные аспекты улучшения адгезии при реставрации зубов композитным материалом: Автореф. Дис. ... канд. мед. наук. - Ташкентский государственный стоматологический институт. Ташкент, 2022.- 49с.

15. Кодзаева З. С., Туркина А. Ю., Дорошина В. Ю. Отдаленные результаты реставрации зубов композитными материалами светового отверждения: обзор литературы //Ж. Стоматология. 2019; 3:117-122.

16. Крихели Н.И., Бычкова М. Н., Саврасова Е. В. Использование универсальной адгезивной системы при проведении прямой композитной реставрации. Материалы Всероссийского стоматологического форума. 11-13.02.21, Москва, Россия //Ж. Российская стоматология. 2021;14(1):31-76.

17. Крихели Н.И., Бычкова М. Н., Саврасова Е. В. Сравнительная оценка адгезионной прочности методом сдвига универсальной адгезивной системы в различных техниках протравливания и адгезивной системы тотального протравливания//Ж. Стоматология.2022;101(3):7-11.

18. Малыгина И. Е., Андреева Е. А., Каверина Е. Ю., Поздняков С. Н., Чуев В. П. Опыт клинического применения воздушно-абразивной системы Air-flow с использованием материала АЭР- Клинз - проф при проведении профессиональной гигиены полости рта// Ж. Клиническая стоматология. 2018; 2:26-30.

19. Melkumyan T.V., Kakhkharova D.J., Dadamova A.D, Kamilov N.Kh., Siddikova S.Sh., Rakhmatullaeva Sh.I., Seyederfan M. Masouleh. Comparative analysis of *in vitro* performance of total-etch and self-etch adhesives // International Journal of Biomedicine. 2016; 6(4): 283-286. doi: 10.21103/Article6(4)OA7.

20. Melkumyan T.V., Musashaykhova Sh.K., Daurova F.Yu, Kamilov N.Kh., Sheraliyeva S.Sh., Dadamova A.D. Effect of AIR abrasion on shear bond strength of resin composite to dentin: study *in vitro* // IJBM.- 2021 International Journal of Biomedicine.2021;11(4):451-455. doi:10.21103/ Article11 (4) O A

21. Melkumyan T.V., Seeberger G.K., Khabadze Z.S., Kamilov N.Kh, Makeeva M.K., Dashtieva M.U., Sheraliea S.Sh., Dadamova A.D. Air Abrasion of Titanium Dental Implants with Water-Soluble Powders: An In Vitro Study // International Journal of Biomedicine. -2022.-12(3):428-432. doi:10.21103 / Article 12(3) OA15.

22. Мелькумян Т.В., Шералиева С. Ш., Дадамова А. Д. Влияние предварительного нагрева на прочность светоотверждаемых пломбировочных материалов// Сб. научных статей по итогам работы международного научного форума “Наука и инновации-современные концепции”. Москва, 2023;10 августа 2023г. С. 148-153.

23. Мукимов О. А., Олимов А.Б. Применение метода Perio-Flow для лечения периимплантита //Ж. Stomatologiya. 2018; 71(2):29-32.

24. Мурашкин А. С. Адгезивная стоматология. Взгляд генералиста // Ж. Новое в стоматологии. 2018; 5:88-90.

25. Овчинников И.В. Сравнительная оценка эффективности клинического применения стандартных и гибридных алмазных боров//Ж. Клиническая стоматология. 2019; 2:23-25.

26. Оксас Н.С. Сравнительная оценка использования воздушно-абразивных средств на основе карбоната кальция и гидрокарбоната натрия в комплексном лечении воспалительных заболеваний пародонта: Дис....к.м.н. Санкт-Петербург, 2008.-125с.

27. Патент US 4676749 A. Nozzle head for the hand piece of a dental prophylactic apparatus / Mabile Pierre; Electro Medical Systems, S.A. - Заявка US 06/706,090; 27.02.1985. -Опубл. 30.06.1987.

28. Полянская Л. Н., Манак Т. Н., Соколовская О. И. Абразивный потенциал порошков для воздушной полировки зубов//Ж. Современная стоматология. 2019; 4:68-70.

29. Русанов Ф.С., Поюровская И.Я., Кречина Е.К., Согачев Г.В. Адгезия как критерий выбора материала для реставрации зубов с дефектами в пришеечной области//Ж. Стоматология. 2015; 4:29-34.

30. Салеев Р.А., Федорова Н. С., Салеева Л. Р. Стоматологическое здоровье и качество жизни: исторические вехи и перспективы развития (обзор литературы)//Ж. Клиническая стоматология. 2020; 4(96):92-98.

31. Сафаров М.Т. Клинико-микробиологическая характеристика воспалительных осложнений при дентальной имплантации//Ж. Stomatologiya. 2009; 1-2(39-40):30-32.

32. Стоматологическое обследование. Основные методы. - 3- издание. - Женева: ВОЗ,1989;61.

33. Шералиева С. Ш. Клинико-экспериментальное обоснование применения нагретого композита при реставрации зубов: Автореф. Дис. ... канд. мед. наук. - Ташкентский государственный стоматологический институт. Ташкент, 2021.- 48с.

34. Юдина Н. А., Манюк О.Н. Оценка качества эстетических реставраций по критериям FDI//Ж. Стоматология. 2020; 1: 18-26.

35. Ancheta R.B., Oliveira F.G., Sundfeld R.H., Rahal V., Machado L.S., Alexandre R.S., Sundfeld M.L., Rocha E.P. Analysis of hybrid layer thickness, resin tag length and their correlation with microtensile bond strength using a total etch adhesive to intact dentin// Acta OdontolLatinoam. 2011; 24(3):272-8.

36. Anja B, Walter D, Nicoletta C, Marco F, Pezelj Ribarić S, Ivana M. Influence of air abrasion and sonic technique on microtensile bond strength of one-step self-

etch adhesive on human dentin// Scientific World Journal. 2015; 368745. doi: 10.1155/2015/368745.

37. Banerjee A, Watson TF. Pickard's Manual of Operative Dentistry, 9th edition. Oxford, UK: OUP Oxford; 2011

38. Barnes CM, Covey D, Watanabe H, Simentich B, Schulte J.R, Chen H. An in vitro comparison of the effects of various air polishing powders on enamel and selected esthetic restorative materials// J Clin Dent. 2014;25(4):76-87.

39. Бестинг Г. Х., Хильгер Р., Фас С., Бергман П. Профессиональная гигиена полости рта// Ж. Стоматолог. 2012;8:46-49.

40. Bornstein E.S. Why wavelength and delivery systems are the most important factors in using a dental hard-tissue laser: a literature review// Compend Contin Educ Dent. 2003 Nov;24(11):837-8, 841, 843 passim; quiz 848.

41. Caughman WF, Rueggeberg FA. Shedding new light on composite polymerization. //Oper Dent. 2002;27:636-638.

42. Cavalcante LMA, Peris AR, Amaral CM. Influence of polymerization technique on microleakage and microhardness of resin composite restorations// Oper Dent. 2003;28:200 -206. [PubMed]

43. Chaiyabutr Y, Kois JC. The effects of tooth preparation cleansing protocols on the bond strength of self-adhesive resin luting cement to contaminated dentin// Oper Dent. 2008; 33:556–63.

44. Chan DC, Browning WD, Fraizer KB, Brackett MG. Clinical evaluation of the soft-start (pulse-delay) polymerization technique in Class I and II composite restorations//Oper Dent. 2008;33:265-271. [PubMed]

45. Chowdhury AFMA, Saikaew P, Alam A, Sun J, Carvalho RM, Sano H. Effects of double application of contemporary self-etch adhesives on their bonding performance to dentin with clinically relevant smear layers// J Adhes Dent. 2019;21:59–66.

46. De Cock P. Erythritol Functional Roles in Oral-Systemic Health//Advances in Dental Research.2018;29(1):104-109. <https://doi.org/10.1177/002203451773>

47. De Gee et Cees A.J., Kleverlaan J. Усадка и усадочный стресс при полимеризации композитных материалов // Институт стоматологии.-2008.-№ 4.- С.12.

48. De Munck J., Vargas M., Iracki J. One-day bonding effectiveness of new self-etch adhesives to bur-cut enamel and dentin//Oper.Dent. 2005;30: 39-49.

49. De Munck J, Mine A, Poitevin A, Yamada T, Van Meerbeek B, Cardoso MV. Potential smear layer interference with bonding of self-etching adhesives to dentin// J Adhes Dent. 2013 Aug;15(4):317-24. doi: 10.3290/j. jad.a29554.

50. de Oliveira MT, de Freitas PM, de Paula Eduardo C, Ambrosano GM, Giannini M. Influence of Diamond Sono-Abrasion, Air-Abrasion and Er:YAG Laser Irradiation on Bonding of Different Adhesive Systems to Dentin// Eur J Dent. 2007 Jul;1(3):158-66.

51. Dr. Inaki G. Техника послойного нанесения композита Tetric EvoCeram для восстановления передних зубов // Новое в стоматологии. 2008;1: 60-71.

52. Drago L, Bortoli M, Taschieri S, De Vecchi E, Agrappi S, Del Fabbro Massimo, Francetti Luca Angelo, Mattina Roberto. Erythritol/Chlorhexidine Combination Reduces Microbial Biofilm and Prevents Its Formation on Titanium Surfaces in vitro// Journal of Oral Pathology and Medicine. 2016; 46(8): 125-36.doi:10.1111/jop

53. Ermis R.B., De Munck J., Cardoso M.V., Coutinho E., Van Landuyt K.L., Poitevin A. Bond strength of self-etch adhesives to dentin prepared with three different diamond burs. Dent Mater 2008; 24:978–85.

54. Feitosa VP, Sauro S, Ogliari FA, Ogliari AO, Yoshihara K, Zanchi CH. Impact of hydrophilicity and length of spacer chains on the bonding of functional monomers// Dent Mater 2014; 30: e317–23.

55. Finer Y., Santerre J.P. Salivary esterase activity and its association with the biodegradation of dental composites // J. Dent. Res. 2004; 83: 22-26.

56. Fleming GJ, Cara RR, Palin WM, Burke FJ. Cuspal movement and microleakage in premolar teeth restored with resin-based filling materials cured

using 'soft-start' polymerization protocol //Dent Mater. 2007;23:637-643.  
[PubMed]

57. Fossdal P. Реставрация в целом // Новое в стоматологии. 2008;7:50 -66.

58. Foxton RM. Current perspectives on dental adhesion: (2) Concepts for operatively managing carious lesions extending into dentine using bioactive and adhesive direct restorative materials// J Dent Sci Rev. 2020 Nov;56(1):208-215. doi: 10.1016/j.jdsr.2020.08.003.

59. Frassetto A, Breschi L, Turco G, Marchesi G, Di Lenarda R, Tay FR, Pashley DH, Cadenaro M. Mechanisms of degradation of the hybrid layer in adhesive dentistry and therapeutic agents to improve bond durability-A literature review// Dent Mater. 2016 Feb;32(2):41-53.

60. Gamborena I. Техника послойного нанесения композита Tetric EvoCeram для восстановления передних зубов // Новое в стоматологии. 2008;1:60 -61.

61. Giannini M, Makishi P, Ayres AP, Vermelho PM, Fronza BM, Nikaido T, Tagami J. Self-etch adhesive systems: a literature review// Braz Dent J. 2015 Jan-Feb; 26(1):3-10. doi: 10.1590/0103-6440201302442

62. Goppert M. Эстетика против функции // Новое в стоматологии. 2010;2: 44 -70.

63. Hass V, Abuna G, Pinheiro Feitosa V, Martini EC, Sinhoreti MA, Furtado Carvalho R. Self-etching enamel bonding using cidic functional monomers with different-length carbon chains and hydrophilicity//J Adhes Dent 2017;19:497–505.

64. Hashimoto M, Ito S, Tay FR, Svizero NR, Sano H, Kaga M, Pashley D.H. Fluid movement across the resin-dentin interface during and after bonding// J Dent Res. 2004 Nov;83(11):843-8. doi: 10.1177/154405910408301104.

65. Hashino E., Kuboniwa M., Alghamdi S. A. Erythritol alters microstructure and metabolomic profiles of biofilm composed of Streptococcus gordonii and Porphyromonas gingivalis // Mol. Oral Microbiol. - 2013. - Vol. 28. - P. 435-451.

66. Hegde VS, Khatavkar RA. A new dimension to conservative dentistry: Air abrasion// J Conserv Dent. 2010 Jan;13(1):4-8. doi: 10.4103/0972-0707.62632.

67. Heikkinen T.T., Lassila L.V., Matinlinna J.P., Vallittu P.K. Effect of operating airpressure on tribochemical silica-coating// *Acta Odontol Scand.*2007;65:241–8.
68. Heimann J., Jahn B. Функциональная реставрация // *Новое в стоматологии.* 2009; 6:6 -21.
69. Hellyer P. The longevity of composite restorations// *Braz Dent J.* 2022 Apr; 232(7):459. doi: 10.1038/s41415-022-4163-4.
70. Hoefl K.S., Barker J.C., Shiboski S. Effectiveness evaluation of Contra Caries Oral Health Education Program for improving Spanish-speaking parents' preventive oral health knowledge and behaviors for their young children// *Community Dent Oral Epidemiol.* 2016;44(6):564-576.
71. Huang X.Q., Pucci C.R., Luo T., Breschi L., Pashley D.H., Niu L.N. No-waiting dentine self-etch concept-Merit or hype// *J Dent* 2017;62:54–63.
72. Iaria G. Clinical, morphological, and ultrastructural aspects with the use of Er:YAG and Er,Cr:YSGG lasers in restorative dentistry// *Gen Dent.* 2008 Nov-Dec;56(7):636-9.
73. Inoue H, Inoue S, Uno S, Takahashi A, Koase K, Sano H. Microtensile bondstrength of two single-step adhesive systems to bur-prepared dentin//*J. Adhes Dent.* 2001;3:129–36.
74. Inoue S., Vargas M.A., Abe Y. Micro-tensile bond strength of eleven contemporary adhesives to enamel // *Amer. J. Dent.* 2003;16:329-334.
75. Inoue S, Koshiro K, Yoshida Y, De Munck J, Nagakane K, Suzuki K. Hydrolytic stability of self-etch adhesives bonded to dentin // *J Dent Res.*2005; 84:1160–4.
76. Irmak Ö, Yaman B.C, Orhan E.O, Ozer F, Blatz MB. Effect of rubbing forcemagnitude on bond strength of universal adhesives applied in self-etchmode// *J. Dent Mater.* 2018; 37:139–45.
77. Jain P, Pershing A. Depth of cure with high-intensity and ramped resin-based composite curing lights // *J Am Dent Assoc.* 2003;134:1215 -1223. [PubMed]

78. Johnson King O, Milly H, Boyes V, Austin R, Festy F, Banerjee A. The effect of air-abrasion on the susceptibility of sound enamel to acid challenge// *J Dent*. 2016 Mar; 46:36-41. doi: 10.1016/j.jdent.2016.01.009.
79. Karring T., Al-Mubarak S. A., Gadeng F. D. Whether decrease in caries is observed at professional cleaning a teeth each 3 months? //*Int. Dent.J.*2008;58 (3): 351-356.
80. Kofford KR, Wakefield CW, Murchison DF. Aluminum oxide air abrasion particles: a bacteriologic and SEM study// *Quintessence Int*. 2001 Mar;32(3):243-8.
81. Koshiro K., Sidh S.K., Inoue S. New concept of resin-dentin interfacial adhesion: The nano interaction zone // *J Biomed Mater Res*. 2006;77: 401-408.
82. Kröger JC, Haribyan M, Nergiz I, Schmage P. Air polishing with erythritol powder - In vitro effects on dentin loss// *J Indian Soc Periodontol*. 2020 Sep-Oct; 24 (5):433-440. doi: 10.4103/jisp.jisp 41419.
83. Kruse AB, Akakpo DL, Maamar R, Woelber JP, Al-Ahmad A, Vach K, Ratka-Krueger P. Trehalose powder for subgingival air-polishing during periodontal maintenance therapy: A randomized controlled trial// *J Periodontol*. 2019 Mar; 90(3):263-270. doi: 10.1002/JPER.17-0403.
84. Levartovsky S, Ferdman B, Safadi N, Hanna T, Dolev E, Pilo R. Effect of Silica-Modified Aluminum Oxide Abrasion on Adhesion to Dentin, Using Total-Etch and Self-Etch Systems// *Polymers*. 2023;15(2):446. <https://doi.org/10.3390/polym15020446>
85. Loguercio A.D, Muñoz M.A, Luque-Martinez I, Hass V, Reis A, Perdigão J. Does active application of universal adhesives to enamel in self-etch mode improve their performance?// *J Dent*. 2015; 43:1060–70.
86. Mancuso E, Comba A, Mazzitelli C, Maravic T, Josic U, Del Bianco F. Bonding to dentin using an experimental zirconium oxynitrate etchant// *J Dent*. 2021 May; 108:103641. doi: 10.1016/j.jdent.2021.103641. Epub 2021 Mar 20.
87. Maupome G. Qualitative description of dental hygiene practices within oral health and dental care perspectives of Mexican-American adults and teenagers // *G*.

Maupome, O. Aquirre-Zero, C. Westerhold // J. Public Health Dent. 2015;75 (2): 93-100.

88. Mazzoni A, Scaffa P, Carrilho M, Tjäderhane L, Di Lenarda R, Polimeni A. Effects of etch-and-rinse and self-etch adhesives on dentin MMP-2 and MMP-9 // J Dent Res. 2013;92:82–6.

89. Mine A, De Munck J, Cardoso M.V, Van Landuyt K.L, Poitevin A, Van Ende A. Dentin-smear remains at self-etch adhesive interface // Dent Mater. 2014;30:1147–53.

90. Mjör I.A., Shen C., Eliasson S.T. Placement and replacement of restorations in general dental practice in Iceland // Oper Dent. -2003.-N 27.-P. 117–123.

91. Moëne R, Décaillet F, Andersen E, Mombelli A. Subgingival plaque removal using a new air-polishing device // J Periodontol. 2010 Jan;81(1):79-88. doi: 10.1902/jop.2009.090394.

92. Moritake N, Takamizawa T, Ishii R, Tsujimoto A, Barkmeier W, Latta M. Effect of active application on bond durability of universal adhesives // Oper Dent. 2019; 44:188–99.

93. Motisuki S., Lima L.M., Bronzi E.S. The effectiveness of alumina powder on carious dentin removal // Oper. Dent. 2006;31(3):371-376.

94. Mount G.J. Минимальная интервенция в стоматологии. Кариозные поражения локализации 2 типа // Новое в стоматологии. 2005;6:106-112.

95. Müller N., Moene R., Cancela J. A., Mombelli A. Subgingival air-polishing with erythritol during periodontal maintenance // J. Clin. Periodontol. 2014; 41:883-889.

96. Nagarkar S, Theis-Mahon N, Perdigão J. Universal dental adhesives: current status, laboratory testing, and clinical performance // J Biomed Mater Res B Appl Biomater. 2019; 107:2121–31.

97. Olerud E., Hagman-Gustavsson M.L., Gabre Olerud E. P. Oral health status in older immigrants in a medium-sized Swedish city // Spec Care Dentist. 2016; 36(6):328-334.

98. Oliveira SSA, Pugach M.K, Hilton J.F, Watanabe L.G, Marshall S.J, Marshall JrGW. a total-etch system// *Dent Mater.* 2003; 19:758–67.
99. Ouchi H, Takamizawa T, Tsubota K, Tsujimoto A, Imai A, Barkmeier WW. The effects of aluminablasting on bond durability between universal adhesives and tooth substrate// *Oper Dent.* 2020; 45:196–208.
100. Pashley D.H., Tay F.R., Breschi L, Tjäderhane L, Carvalho R.M., Carrilho M., Tezvergil-Mutluay A. State of the art etch-and-rinse adhesives// *Dent Mater.* 2011 Jan;27(1):1-16. doi: 10.1016/j.dental.2010.10.016.
101. Perdigão J., Lopes M. The effect of etching time on dentin demineralization// *Quintessence Int* 2001; 32:19–26.
102. Peutzfeldt A., Asmussen E. Determinants of in vitro gap formation of resin composites // *J. Dent.* 2004; 32: 109-115.
103. Rafique S., Fiske J., Banerjee A. Clinical trial of an air-abrasion/chemo mechanical operative procedure for the restorative treatment of dental patients// *Caries Res* 2003;37:360–4.
104. Saikaew P., Matsumoto M., Sattabanasuk V., Harnirattisai C., Carvalho R.M., Sano H. Ultra-morphological characteristics of dentin surfaces after different preparations and treatments. *Eur J Oral Sci.* 2020; 128:246–54.
105. Saikaew P., Chowdhury A., Sattabanasuk V., Srimaneekarn N., Teanchai C., Carvalho R.M. Bonding performance of self-etching adhesives to bur-cut dentin with active application mode// *J Adhes Dent.* 2021; 23:357–65.
106. Saikaew P., Sattabanasuk V., Harnirattisai C., Chowdhury AFMA, Carvalho R., Sano H. Role of the smear layer in adhesive dentistry and the clinical applications to improve bonding performance// *Jpn Dent Sci Rev.* 2022 Nov;58:59-66.
107. Sano H., Chowdhury AFMA, Saikaew P., Matsumoto M., Hoshika S., Yamauti M. The microtensile bond strength test: its historical background and application to bond testing// *Jpn Dent Sci Rev.* 2020;56:24–31.

108. Sardella T.N., de Castro F.L., Sanabe M.E., Hebling J. Shortening of primary dentin etching time and its implication on bond strength//J Dent. 2005; 33:355–62.

109. Sattabanasuk V., Vachiramon V., Qian F., Armstrong S.R. Resin–dentin bond strength as related to different surface preparation methods// J Dent. 2007; 35:467–75.

110. Sato T., Takagaki T., Baba Y., Vicheva M., Matsui N., Hiraishi N. Effects of different tooth conditioners on the bonding of universal self-etching adhesive to dentin// J Adhes Dent. 2019; 21:77–85.

111. Sauro S., Watson T.F., Thompson I., Banerjee A. One-bottle self-etching adhesives applied to dentine air-abraded using bioactive glasses containing polyacrylic acid: an in vitro microtensile bond strength and confocal microscopy study// J Dent. 2012 Nov;40(11):896-905. doi: 10.1016/j.jdent.2012.07.004.

112. Semeraro S., Mezzanzanica D., Spreafico D., Gagliani M., Re D., Tanaka T. Effect of different bur grinding on the bond strength of self-etching adhesives// Oper Dent. 2006; 31:317–23.

113. Spagnuolo G., Pires PM, Calarco A, Peluso G, Banerjee A, Rengo S, Elias Boneta AR, Sauro S. An in-vitro study investigating the effect of air-abrasion bioactive glasses on dental adhesion, cytotoxicity and odontogenic gene expression// Dent Mater. 2021 Nov;37(11):1734-1750. doi: 10.1016/j.dental. 2021.09.004.

114. Suyama Y., Lührs A.K., De Munck J., Mine A., Poitevin A., Yamada T., Van Meerbeek B., Cardoso M.V. Potential smear layer interference with bonding of self-etching adhesives to dentin// J Adhes Dent. 2013 Aug;15(4):317-24. doi: 10.3290/j.jad.a29554. 1734.

115. Taichen Lin, Akira Aoki, Norihito Saito, Masaki Yumoto, Sadahiro Nakajima, Keigo Nagasaka, Shizuko Ichinose, Koji Mizutani, Satoshi Wada, Yuichi Izumi. Dental hard tissue ablation using mid-infrared tunable nanosecond pulsed Cr: CdSe lase// Lasers Surg Med. 2016 Dec;48(10):965-977. doi: 10.1002/lsm.22508. Epub 2016 Mar 29.

116. Takamizawa T., Barkmeier W.W., Tsujimoto A., Suzuki T., Scheidel D.D., Erickson R.L. Influence of different pre-etching times on fatigue strength of self-etch adhesives to dentin// *Eur J Oral Sci.* 2016;124:210–8.
117. Tastepe C.S., Lin X., Donnet M. The Parameters That Improve the Cleaning Efficiency of Sub-gingival Air Polishing on Titanium Implant Surfaces. An In-vitro Study// *J. Periodontol.* 2015; 25:1-16.
118. Tay F.R., Sano H., Carvalho R., Pashley E.L., Pashley D.H. An ultrastructural study of the influence of acidity of self-etching primers and smear layer thickness on bonding to intact dentin// *J Adhes Dent.* 2000; 2:83–98.
119. Tay F.R., Pashley D.H., Joshiyama M. Two modes of nanoleakage expression in single-step adhesives // *J. Dent. Res.* 2002; 81: 472-476.
120. Thanatvarakorn O., Prasansuttiporn T., Takahashi M., Thittaweerat S., Foxton R.M, Ichinose S. Effect of scrubbing technique with mild self-etching adhesives on dentin bond strengths and nano leakage expression// *J Adhes Dent.* 2016; 18:197–204.
121. Uno S, Tanaka T, Natsuizaka A, Abo T. Effect of slow curing on cavity wall adaptation using a new intensity changeable light source// *Dent Mater.* 2003;19:147 -152. [PubMed]
122. Van Meerbeek B., Vargas S., Inoue S. Adhesives and cements to promote preservation dentistry// *Oper. Dent.* 2001; 26:119–144.
123. Van Meerbeek B., De Munck J., Yoshida Y. Buonocore memorial lecture: adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges// *Oper. Dent.* 2003;28:215 -235.
124. Van Meerbeek B, Yoshihara K, Yoshida Y, Mine A, De Munck J, Van Landuyt KL State of the art of self-etch adhesives// *Dent Mater.* 2011 Jan;27(1):17-28. doi: 10.1016/j.dental.2010.10.023.
125. VP Lima, Kda Soares, VS Caldeira, AL Faria-E-Silva, Bac Loomans, RR Moraes. Airborne-particle Abrasion and Dentin Bonding: Systematic Review and Meta-analysis// *Oper Dent.* 2021 Jan 1;46(1):E21-E33. doi: 10.2341/19-216-L

126. Wang Y., Spencer P. Effect of acid etching time and technique on interfacial characteristics of the adhesive–dentin bond using differential staining// Eur J Oral Sci. 2004;112:293–9.

127. Yazici A.R., Ozgünaltay G., Dayangac B. A scanning electron microscopic study of different caries removal techniques on human dentin//Oper Dent.2002;27:360–6.

128. Yoshida Y., Nagakane K., Fukuda R. Comparative study on adhesive performance of functional monomers // J. Dent. Res.2004; 83: 454-458.