

На правах рукописи

Сабанчиева Залина Борисовна

**Регулирование влажности коронкового дентина зуба в
клинических условиях**

3.1.7. Стоматология (медицинские науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата медицинских наук

Москва 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении Национальный медицинский исследовательский центр «Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Научный руководитель:

доктор медицинских наук, профессор **Винниченко Юрий Алексеевич**

Официальные оппоненты:

Ипполитов Юрий Алексеевич – доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет им. Н.Н. Бурденко» Министерства здравоохранения Российской Федерации, кафедра детской стоматологии с ортодонтией, заведующий кафедрой.

Румянцев Виталий Анатольевич – доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, кафедра пародонтологии, заведующий кафедрой.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Защита состоится «24» сентября 2026 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета (21.1.079.02) Федерального государственного бюджетного учреждения Национальный медицинский исследовательский центр «Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии» Министерства здравоохранения Российской Федерации по адресу: 119021, Москва, ул. Тимура Фрунзе, д. 16 (конференц-зал).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте www.cniis.ru Федерального государственного бюджетного учреждения Национальный медицинский исследовательский центр «Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Автореферат разослан «21» августа 2026 года.

Учёный секретарь
Диссертационного совета,
кандидат медицинских наук

Гусева Ирина Евгеньевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования

Современная стоматология располагает достаточно большим арсеналом методов и средств, позволяющих обеспечить долгосрочное и качественное восстановление твердых тканей зубов, разрушенных различными патологическими процессами. Наиболее широкое распространение в клинической практике, для выполнения этой задачи, получили композиционные материалы. Микромеханическое и химическое удержание композиционных материалов на эмали и дентине зуба обеспечивает адгезивная система, являющаяся, как правило, продуктом сложных химических технологий [Антонова И. Н. 2014; Базилян Э. А. 2017; Вавилова Т. П. 2012; Зикеев А. А. 2018; Ияшвили Л. В. 2021; А. И. Николаев, 2015; Макеева И. М. 2013; Николаев А. И. 2018; Оделл Э. У. 2011; Самойленко А. В. 2012.]. Известно, что после кислотного травления дентина происходит растворение смазанного слоя, образовавшегося в результате его механической обработки. Для этого применяют концентрированные кислоты (однокомпонентные адгезивы) или кислотные мономеры (самопротравливающие адгезивы). Именно после этой манипуляции происходит открытие дентинных канальцев и выход дентинной жидкости, которая начинает скапливаться на поверхности стенок и дна сформированной полости [Ж.-Ф. Руле, Г. Ванхерле 2010; Бершадская, С. И. 2020; Дмитриева, Л. А. 2015; Зойбельманн, М. В. 2005; Ияшвили, Л. В. 2020; Лобовкина, Л. А. 2009; Луцкая, И. К. 2014; Максимовский, Ю. М. 2008; Николаев, Д. А. 2014; Пстыга, Е. Ю. 2024, 2025]. Активное центробежное перемещение дентинной жидкости обусловлено достаточно высоким давлением, которое возникает в полости зуба за счет особенностей гемодинамики пульпы [Вавилова Т. П. 2012; Герасимова Л. П. 2016; Кречина Е. К. 2009; Логинова Н. К. 2011, 2014; Орехова Л. Ю. 2006, 2007; Рагимова Т. А. 2021; Рассадина А. В. 2008, 2018]. Просушивание дентина зуба, имеющего открытые дентинные канальцы, не дает желаемого результата, так как высокая скорость движения дентинной жидкости и крайне малое время их повторного заполнения сводят эффективность этой манипуляции к нулю. Таким образом, попадание дентинной жидкости в адгезивную систему композита в процессе его использования является неизбежным [Ипполитов Ю. А. 2025; Ияшвили Л. В. 2020, 2021; Крихели Н. И. 2022; Луцкая И. К. 1998; Николаев Д. А. 2014; Попова Е. А. 2016; Пстыга Е. Ю. 2024, 2025; Романенко И. Г. 2021; Самойленко А. В. 2012]. Многочисленными исследованиями доказано, что любое загрязнение адгезива биологическими жидкостями приводит к нарушению механизмов его взаимодействия с твердыми тканями зуба, которое выражается, прежде всего, в значительном снижении силы адгезии. При избыточном увлажнении происходит разбавление гидрофильных компонентов адгезивной системы, нарушается

полимеризация и формирование гибридного слоя. Избыток дентинной жидкости может концентрироваться на поверхности, препятствуя проникновению мономеров, или образовывать поры и вакуоли в полимеризованном адгезиве. Кроме того, вода или дентинная жидкость, оставшаяся в гибридном слое, выступает катализатором гидролитической деградации полимерной матрицы [Николаев Д. А. 2014; Оделл Э. У. 2011; Пстыга Е. Ю. 2024; Ж.-Ф. Руле, Г. Ванхерле 2010; Базикян Э. А. 2017; Дмитриева Л. А. 2015; Зикеев А. А. 2018; Зойбельманн М. В. 2005; Ияшвили Л. В. 2020, 2021; Крихели Н. И. 2022; Лобовкина Л. А. 2009; Луцкая И. К. 2014; Максимовский Ю.М. 2008]. Таким образом, регулирование влажности дентина является критическим этапом адгезивной подготовки, определяющим качество и долговечность композитной реставрации. Понимание физиологических механизмов гидратации дентина и влияния влажности на формирование гибридного слоя позволяет врачу-стоматологу осознанно подходить к выбору методики и материалов. Современные тенденции развития адгезивных систем направлены на снижение чувствительности к вариациям влажности за счет оптимизации химического состава (баланс гидрофильных и гидрофобных свойств, новые мономеры), а также на разработку объективных методов контроля состояния поверхности эмали и дентина. Дальнейшие исследования в этой области будут способствовать повышению прогнозируемости и клинической успешности восстановления твердых тканей зуба композитными материалами.

Степень разработанности темы исследования

Анализ отечественной и зарубежной литературы показал, что в настоящее время крайне мало научной информации, позволяющей объективно оценить особенности гидродинамики дентинной жидкости и возможности влияния различных факторов на эти процессы. Кроме того, существующие научные экспериментальные и клинические работы не дают четкого представления о роли внутрипульпарного давления в процессах естественного увлажнения дентина зуба. Не удалось также найти описание методов, позволяющих объективно оценивать степень влажности дентина в клинических условиях.

Изучение с помощью компьютерного моделирования закономерностей движения дентинной жидкости внутри дентинного канальца витального зуба, особенностей гемодинамики пульпы, влияющих на процессы увлажнения дентина позволит разработать методы, способные в клинических условиях, уменьшить негативное влияние неблагоприятных факторов на адгезию композитного материала к твердым тканям зуба.

Цель исследования

Повышение эффективности восстановления твердых тканей зуба композитными материалами путем уменьшения негативного влияния

дентинной жидкости в силу их адгезии.

Задачи исследования

1. Разработать компьютерную модель, позволяющую изучить особенности гидродинамики дентинной жидкости в дентинном канальце витального зуба.

2. Изучить гемодинамику пульпы зуба после инфильтрационной и интралигаментарной анестезии для оценки ее влияния на внутрипульпарное давление.

3. Разработать метод аппаратной оценки степени влажности дентина витального зуба в клинических условиях.

4. Изучить с помощью электронной сканирующей микроскопии результаты воздействия гипохлорита натрия на морфологическую структуру дентина зуба.

5. Изучить с помощью электрометрического метода и клинической оценки степень влияния обработки дентина гипохлоритом натрия на качество адгезии композитного материала к твердым тканям зуба.

Научная новизна исследования

Методами лабораторного анализа и клинического наблюдения результатов исследования доказана возможность объективного использования компьютерных программ для моделирования гидродинамических особенностей движения дентинной жидкости зуба.

Установлено, что скорость движения и объем дентинной жидкости, проходящей в единицу времени по дентинному канальцу, определяется, главным образом, капиллярным давлением, которое более чем в 180 раз больше, чем пульпарное давление на его входе.

Установлено, что как интралигаментарная, так и инфильтрационная анестезия зуба приводят к нарушению микрогемодинамики в пульпе зуба, которая проявляется вазоконстрикцией капиллярной сети и уменьшением внутрипульпарного давления, что замедляет скорость и объем прохождения дентинной жидкости через дентинный канал.

Теоретическая и практическая значимость исследования

Установлено, что интралигаментарная анестезия в большей степени, чем инфильтрационная влияет на гемодинамические параметры кровотока пульпы, вызывая более сильную вазоконстрикцию, что делает ее применение приоритетной для уменьшения внутрипульпарного давления и снижения влажности дентина зуба. По данным Вейвлет-анализа ЛДФ-грамм

показатели регуляции тканевого кровотока после применения инфильтрационной анестезии в пульпе зуба восстанавливаются через 2 часа, а после интралигаментарной анестезии - через 3 часа.

Использование для обработки дентина витального зуба 3% раствора гипохлорита натрия позволяет добиться частичного лизирования отростков одонтобластов внутри дентинных канальцев. Это значительно уменьшает скорость и объем выхода дентинной жидкости на поверхность сформированной полости, тем самым уменьшая загрязнение адгезивной системы при их соприкосновении.

Методология и методы исследования

Диссертация выполнена в соответствии с принципами и правилами доказательной медицины. Использованы клинический, спектрофотометрический, электрометрический, статистический методы исследования, метод компьютерного моделирования, сканирующей электронной микроскопии и функциональной диагностики (лазерная доплеровская флоуметрия, оптическая тканевая оксиметрия). Объектом исследования были 120 человек с кариесом зубов, лечение которого у 60 пациентов (75 пломб) проводили традиционными методами, а у других 60 пациентов (75 пломб) - с применением дополнительной обработки дентина 3% гипохлоритом натрия. Предмет исследования – гидродинамика дентинной жидкости; гемодинамика пульпы зуба; внутрипульпарное давление; влажность дентина; электрометрическая и клиническая оценка качества краевого прилегания пломб, выполненных из композитного материала.

Научные положения, выносимые на защиту

1. Полученные данные компьютерного моделирования, лабораторных и клинических исследований свидетельствуют о том, что искусственное уменьшение длины отростка одонтобласта в дентинном канальце создает условия для значительного уменьшения объема выхода из него дентинной жидкости и таким образом снижает ее негативное влияние на качество адгезии композиционного материала.

2. Метод спектрофотометрии может быть использован в клинических условиях для определения степени влажности дентина зуба путем оценки его оптических цветовых характеристик, непосредственно связанных с этим процессом.

3. Изменение внутрипульпарного давления не играет решающей роли в изменении параметров гидродинамики дентинной жидкости, однако его уменьшение с помощью местной анестезии позволяет несколько замедлить ее выход на поверхность обработанного дентина и таким образом, положительно влиять на процессы, связанные с качеством восстановления

твёрдых тканей зуба композиционными материалами.

Степень достоверности и апробации результатов

Достоверность полученных результатов подтверждается достаточным объемом проведенных клинических и лабораторных исследований: клинические исследования - 120 пациентов (150 пломб из композитного материала), электрометрическая оценка качества краевого прилегания пломб – 750 исследований, спектрофотометрическая оценка влажности дентина – 40 зубов (360 параметров), лазерная доплеровская флоуметрия пульпы зубов – 320 исследований, оптическая тканевая оксиметрия - 320 исследований, сканирующая электронная микроскопия – 20 зубов. Добровольное участие пациентов в исследовании подтверждалось их письменным согласием. Статистическая обработка результатов исследования проведена в соответствии с принципами доказательной медицины.

Материалы диссертации доложены на XXIV научно-практической конференции «Современные возможности профилактики стоматологических заболеваний», посвященная 80-летию со дня рождения д.м.н. Анатолия Григорьевича Колесника, в рамках Международного научно-практического форум «Российская неделя Здравоохранения – 2022», 08 декабря 2022г., Москва;

I Международной научно-практической конференции памяти профессора Владимира Сергеевича Иванова «Стоматология. Традиции и современность». 14 октября 2023года, Москва; II Международной научно-практической конференции памяти профессора Владимира Сергеевича Иванова «Стоматология. Традиции и современность». 18 октября 2024года, Москва.

Апробация диссертации проведена на совместном заседании сотрудников отделения терапевтической и профилактической стоматологии, отделения пародонтологии, отдела профилактики, отделения функциональной диагностики, отдела терапевтической стоматологии, отдела лучевой диагностики ФГБУ НМИЦ «ЦНИИС и ЧЛХ» Минздрава России 11 июля 2025 года.

Внедрение результатов исследования

Результаты исследования внедрены в клиническую работу отделения терапевтической и профилактической стоматологии ФГБУ НМИЦ «ЦНИИС и ЧЛХ» Минздрава России, а также ООО «Дентал модерн клиника».

Личный вклад автора

Автор принимал непосредственное участие во всех этапах выполнения

данного исследования: анализ литературных данных; выполнение лабораторных исследований; проведение функциональных и клинических методов обследования и лечения пациентов; анализ историй болезни и результатов лечения; ведение пациентов в различные сроки наблюдения; статистическую обработку полученных результатов; анализ эффективности предложенного метода лечения; оформление материала в виде диссертации и статей.

Публикации

По теме диссертации опубликованы 3 печатных работы в рецензируемых научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки РФ для публикаций основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата медицинских наук.

Объём и структура диссертации

Диссертационная работа изложена **на 137 страницах** машинописного текста, состоит из Введения, главы Материал и методы исследования и главы Результаты собственных исследований, Заключение, Выводов, Практических рекомендаций, Списка сокращений и Списка литературы. Библиографический список включает 240 источников, из них 135 отечественных и 105 зарубежных авторов. Работа проиллюстрирована 37 рисунками и 15 таблицами.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материалы и методы исследования

Клиническое исследование было проведено в период с 2022 по 2025 гг., на базе отделения терапевтической профилактической стоматологии ФГБУ НМИЦ «Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и челюстно - лицевой хирургии» Министерства здравоохранения России, а также ООО «Дентал модерн клиника».

Проведено рандомизированное клиническое исследование, в котором принимали участие 120 пациентов обоего пола в возрасте от 18 до 50 лет, в том числе 60 мужчины (50%) и 60 женщин (50%). Средний возраст пациентов составил: у мужчин — 33 года; женщин — 41 год. Критериями включения пациентов в исследование являлись: кариозное поражение твердых тканей витальных зубов на жевательной поверхности моляров и премоляров по 1 и 2 классам классификации Блэка.

Критериями исключения пациентов для участия в исследовании являлись:

- наличие моляров и премоляров с проведенным эндодонтическим лечением
- наличие витальных моляров и премоляров, имеющих кариозное поражение по 5 и 6 классам по классификации Блэка
- наличие витальных моляров и премоляров, имеющих обширное разрушение кариесом коронковой части зубов (50% и более)
- хронические соматические заболевания в стадии обострения или декомпенсации, вирусные инфекции, туберкулез и его осложнения, злокачественные новообразования, состояние после лучевого лечения онкологических заболеваний в области головы и шеи, заболевания крови и кроветворных органов, заболевания эндокринной системы в стадии субкомпенсации или декомпенсации, сахарный диабет I типа, заболевания центральной нервной системы, системные заболевания соединительной ткани, иммунодефицитные состояния, наличие воспалительно-дистрофических заболеваний тканей пародонта в стадии обострения. В соответствии с поставленными задачами все пациенты были разделены на 2 группы. Формирование групп проводили в зависимости от наличия или отсутствия обработки дентина сформированной полости зуба 3% раствором гипохлорита натрия в процессе лечения кариеса.

Группа 1 (численность 60 человек), в процессе лечения кариеса зубов была проведена обработка препарированного дентина 38% ортофосфорной кислотой и однокомпонентной адгезивной системой (Adper Single Bond 2 фирма 3М, США) перед пломбированием зуба композитным материалом (Esthet-X HD фирма Dentsply, США).

Группа 2 (численность 60 человек), в процессе лечения кариеса зубов была проведена обработка препарированного дентина 38% ортофосфорной кислотой, 3% раствором гипохлорита натрия и однокомпонентной адгезивной системой (Adper Single Bond 2 фирма 3М, США) перед пломбированием зуба композитным материалом (Esthet-X HD фирма Dentsply, США).

Метод клинической оценки результатов восстановления твердых тканей зубов композитными материалами проводили по единой схеме, включающей в себя общие сведения о пациенте, дату лечения, формулу зуба, класс полости, наименование пломбировочного материала, клиническую оценку композитных реставраций и сроки наблюдения. Исследование качества восстановления твердых тканей зубов композиционным материалом проводили сразу после выполнения, через 12 и 18 месяцев. Оно заключалось в визуальном осмотре и оценке состояния пломб в соответствии с критериями международной ассоциации дантистов (FDI) и Службы Здравоохранения США (United States Public Health Service – USPHS).

Для проведения метода электрометрической оценки качества краевого прилегания пломбировочных материалов к твердым тканям зубов был использован многофункциональный электродиагностический прибор ЭСТ-ДЕНТ (Геософт, Россия). Принцип действия прибора основан на измерении силы тока, протекающего через твердые ткани зуба под действием низковольтного источника электрического питания.

Электрометрический метод позволяет измерять силу тока, проходящего через пограничную зону зуб - пломба и определять ее в виде цифровых данных, регистрируемых прибором. Электрометрическую оценку качества краевого прилегания пломб из светотверждаемого композитного материала к твердым тканям зуба проводили сразу после их установки, а также через 12 и 18 месяцев.

Расчет количества и скорости выделения дентинной жидкости из дентинных канальцев зубов проводили с помощью компьютерной программы (лицензионная версия компьютерной программы Fluent ANSYS). Чтобы обеспечить необходимую точность расчётной модели были использованы: 2955 опорных точек для построения 2493 кривых, служащих границами 2038 поверхностей, определяющих 538 частей объёма дентинного канальца. Конечно - элементное разбиение объёма канальца содержит 340402 конечных элемента, построенных на 399038 узлах. При расчёте такой конечно-элементной модели решается система 2793266 алгебраических уравнений.

В данном исследовании для изучения степени увлажнения дентина дентинной жидкостью в клинических условиях, использовали спектофотометр VITA Easyshade (VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co, Germany), который дает возможность определять естественный цвет зубов и различные оптические характеристики его твердых тканей. Спектрофотометр VITA Easyshade является прибором, который измеряет спектральное распределение света в твердых тканях зуба и пересчитывает его в трехмерные параметры цвета (тристимулус) или в международный числовой параметр. Степень влажности дентина зуба определяли путем анализа таких его цветовых характеристик как светлота (L), насыщенность (C) и цветовой тон (H), цифровые значения которых изменяются с течением времени в процессе концентрации дентинной жидкости на его поверхности после механической и химической (кислотное травление) обработки. Для этого использовали режим измерений аппарата «Tooth single». Микроциркуляцию в пульпе зуба после проведения интралигаментарной и инфильтрационной анестезии оценивали методами функциональной диагностики (лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) и оптической тканевой оксиметрии (ОТО)). В исследовании принимали участие 27 пациентов, нуждающихся в проведении местного обезболивания зубов верхней челюсти в связи с выполнением комплекса манипуляций профессиональной гигиены. Выполнение местного обезболивания осуществляли методом инфильтрационной и

интралигаментарной анестезии, используя для этого Ультракаин Д-С форте в разведении 1:100 и в объеме 1,7 мл. Функциональные методы оценки микроциркуляции пульпы были использованы до проведения анестезии, после проведения через 10 минут, спустя 2 и 3 часа. Исследование микроциркуляции в пульпе зуба методом ЛДФ проводили с помощью многофункционального диагностического лазерного комплекса «ЛАКК-М» (ООО «ЛАЗМА», г. Москва; регистрационный номер № ФСР 2009/05953). В основе метода находится зондирование участка зуба в пришеечной области лучом гелий-неонового лазера с длиной волны 632,8 нм. Лазерный луч, поступая по светодиодному зонду, отражается от движущихся в микрососудах эритроцитов в пульпе зуба и меняет свою частотность (эффект Доплера), что позволяет выявить интенсивность микроциркуляции в исследуемой области. Диагностическое исследование пациентов проводили в положении сидя. Датчик располагали в области фронтальных зубов верхней челюсти. Продолжительность исследования составляла по 3 мин в каждой из исследуемых областей. Исследование оксигенации в пульпе зуба проводили методом *оптической тканевой оксиметрии* (ОТО) с помощью многофункционального диагностического лазерного комплекса «ЛАКК-М» (ООО «ЛАЗМА», г. Москва) в режиме «ЛДФ+спектрометрия» со встроенным в комплекс каналом пульсоксиметрии артериальной крови. В основе метода лежит спектрофотометрический анализ различных фракций гемоглобина, которые определяются при зондировании ткани волнами разной длины. Измерение оксигенации в тканях пародонта проводили в области фронтальных зубов верхней челюсти по 3 мин в каждой точке в положении пациента сидя в кресле. Датчик располагали в области верхней части коронки зуба.

В исследовании для изучения протеолитического действия 3% раствора гипохлорита натрия на структуру дентина был использован электронный сканирующий микроскоп (СЭМ) LEO-1430 VP (Leo Electron Microscopy Ltd) с системой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350 (Carl Zeiss, Oxford Instruments Nanoanalysis Ltd), оборудованный детекторами SE1 и QBSD, вакуумный пост Q150T ES (Quorum Ltd). Электронные изображения были получены в режимах SE, BSE. Также был использован катодный напылитель для образцов BAL – TEC SCD 005. Исследование проводили на 20-ти визуально интактных зубах (премоляры), удаленных по ортодонтическим показаниям. Продолжительность действия гипохлорита натрия на структуру дентина зубов составляло 1;3 и 5 минут. Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием методов вариационной статистики: вычисляли среднеарифметические величины, ошибку среднеарифметической, среднеквадратической отклонение. Достоверность различий между средними величинами определяли по критерию Стьюдента

Результаты собственных исследований

Как показывают результаты компьютерного моделирования, скорость движения и объем дентинной жидкости, проходящей в единицу времени по дентинному каналцу на участке 1, при давлении в пульпарной полости зуба, равной $3,999 \times 10^3$ Па, определяется следующим образом, капиллярным давлением, которое в нем достигает $2,17 \cdot 10^5$ Па, что более чем на 2 порядка больше давления на его входе (примерно в 180 раз больше, чем пульпарное давление на входе в дентинный каналец) (рисунок 1).

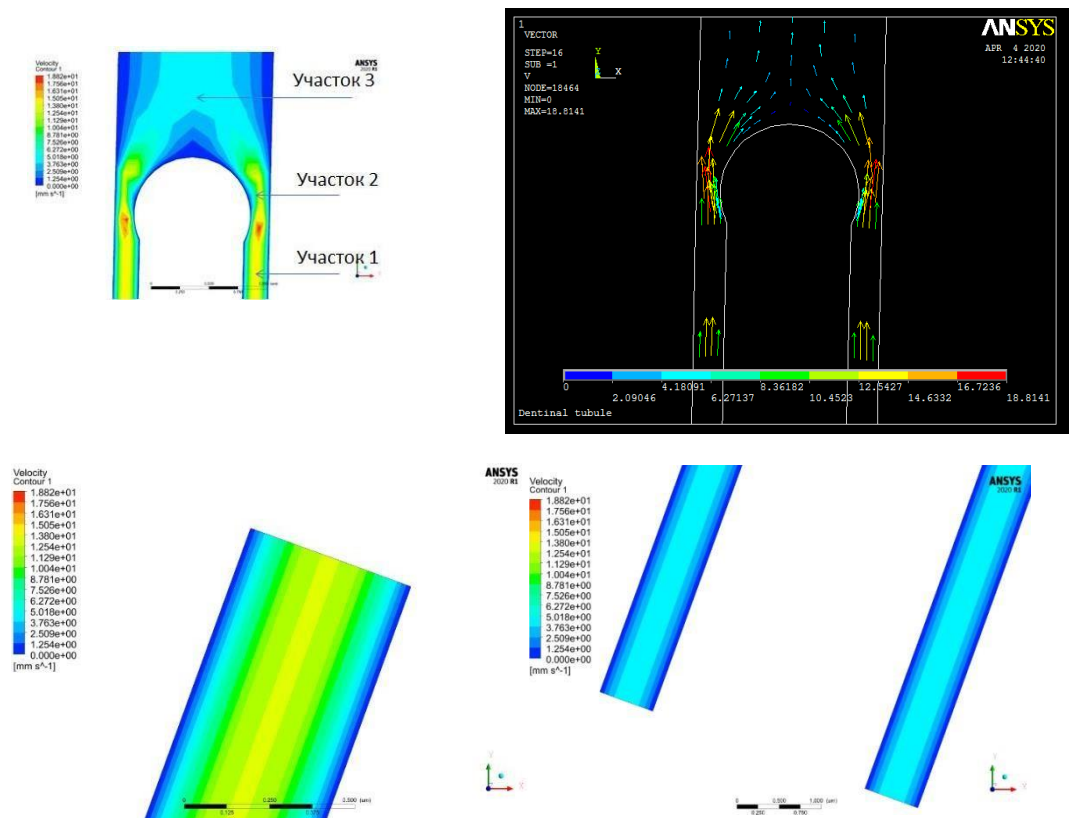


Рисунок 1. Компьютерная модель движения дентинной жидкости в дентинном каналце зуба: участок 1 – пространство между стенкой дентинного каналца и отростком одонтобласта; участок 2 – пространство между стенкой дентинного каналца и терминальным отделом одонтобласта; участок 3 – пространство дентинного каналца за пределами отростка одонтобласта.

Согласно полученным данным, при сохранении длины открытого дентинного каналца, равной 4 мм, скорость движения дентинной жидкости

составляет 25,27 мм/сек, а объем ее выхода – $2,55 \times 10^{-12}$ кг/с. Если длина дентинного канальца сокращается до 1мм, то эти значения значительно увеличиваются: скорость становится равной 169,61 мм/с (увеличивается в 6,7 раза), объем выхода соответственно – $17,1 \times 10^{-12}$ кг/с (увеличивается в 6,7 раза) (таблица 1).

Таблица 1. Скорость движения и объем выхода дентинной жидкости из дентинного канальца в зависимости от его длины и величины внутрипульпарного давления.

Длина неповрежденной части канальца, мм	$p_0 = 3,999 \cdot 10^3$ Па внутрипульпарное давление			$p_0 = 6,665 \cdot 10^3$ Па внутрипульпарное давление		
	Q, $\text{м}^3/\text{с}$ —	Q, $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ —	V, $\frac{\text{мм}}{\text{с}}$ —	Q, $\text{м}^3/\text{с}$ —	Q, $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ —	V, $\frac{\text{мм}}{\text{с}}$ —
1	$16,6 \cdot 10^{-15}$	$17,1 \cdot 10^{-12}$	169,61	$17,1 \cdot 10^{-15}$	$17,6 \cdot 10^{-12}$	174,42
2	$8,05 \cdot 10^{-15}$	$8,29 \cdot 10^{-12}$	82,04	$8,22 \cdot 10^{-15}$	$8,47 \cdot 10^{-12}$	83,70
3	$4,55 \cdot 10^{-15}$	$4,69 \cdot 10^{-12}$	46,34	$4,61 \cdot 10^{-15}$	$4,75 \cdot 10^{-12}$	46,99
4	$2,48 \cdot 10^{-15}$	$2,55 \cdot 10^{-12}$	25,27	$2,50 \cdot 10^{-15}$	$2,58 \cdot 10^{-12}$	25,50
5	$0,463 \cdot 10^{-15}$	$0,477 \cdot 10^{-12}$	4,72	$0,475 \cdot 10^{-15}$	$0,489 \cdot 10^{-12}$	4,84
6	$1,53 \cdot 10^{-15}$	$1,58 \cdot 10^{-12}$	15,57	$1,54 \cdot 10^{-15}$	$1,59 \cdot 10^{-12}$	15,69

P_0 – внутрипульпарное давление

$Q \text{ м}^3/\text{с}$ – объем выхода дентинной жидкости $Q \text{ кг}/\text{с}$ – вес выхода дентинной жидкости

V_{max} мм/с – скорость движения дентинной жидкости

На основании данных, представленных в таблице 1, в области максимального сужения просвета между стенкой дентинного канальца и отростком одонтобласта (участок 2) происходит замедление скорости течения дентинной жидкости до 4,72 мм/с в следствие наличия механического препятствия. В тоже время за границей отростка одонтобласта (участок 3) параметры гидродинамики дентинной жидкости

резко изменяются (рисунок 1). Скорость ее течения составляет 15,57 мм/с, что в 1,6 раза меньше скорости, которая возникала на участке 1, при сохранении длины открытого дентинного канальца равной 4мм (25,27мм/с), и в 10,8 раза меньше, чем, если бы каналец был укорочен до 1мм (169,61мм/с). Соответственно этому и объем выходящей из открытого дентинного канальца дентинной жидкости пропорционально падает в 1,6 раза при его длине равной 4мм ($2,55 \times 10^{-12}$) и в 10,8 раза при длине 1мм ($17,1 \times 10^{-12}$).

Можно с уверенностью утверждать, что при повышении внутрипульпарного давления до $6,665 \cdot 10^3$ Па, то есть в 2 раза по сравнению с исходным значением ($3,999 \times 10^3$), происходит изменение указанных значений, но в незначительной степени. Например, скорость дентинной жидкости при длине дентинного канальца 4 мм изменяется с 25,27 мм/с до 25,50 мм/с, а объем выхода жидкости с $2,55 \times 10^{-12}$ кг/с до $2,58 \times 10^{-12}$ кг/с. В ситуации, когда длина дентинного канальца уменьшается до 1 мм, этим параметрам соответствуют следующие цифры: скорость увеличивается с 169,61 мм/с до 174,42 мм/с, объем выхода с $17,1 \times 10^{-12}$ до $17,6 \times 10^{-12}$.

Таким образом, можно утверждать, что чем короче открытый дентинный каналец, тем больше в нем развивается скорость течения дентинной жидкости и тем больше ее объём выходит на поверхность механически и химически (кислотное травление) обработанного дентина зуба в единицу времени.

Кроме того, полученные данные, свидетельствуют о том, что искусственное уменьшение длины отростка одонтобласта в дентинном канальце (например, путем его частичного растворения) может создать условия для значительного уменьшения объема выхода из него дентинной жидкости и, таким образом, снизить её негативное влияние на качество адгезии композиционного материала.

Как показали результаты компьютерного моделирования, изменение внутри пульпарного давления не играет решающей роли в изменении параметров гидродинамики дентинной жидкости. Однако можно утверждать, что его уменьшение также позволяет несколько замедлить выход дентинной жидкости на поверхность обработанного дентина и, таким образом, положительно влиять на процессы, связанные с качеством восстановления твердых тканей зуба композиционными материалами.

Наиболее эффективным методом воздействия на внутрипульпарное давление является местная анестезия, изменяющая микрогемодинамику пульпы в сторону уменьшения образования дентинной жидкости в полости зуба за счет вазоконстрикции ее сосудов.

После инфильтрационной анестезии анализ результатов показал изменения микрогемодинамики в пульпе зуба, которые выражались в

следующем: Уровень кровотока (М) снижался на 23,5%, его интенсивность ($\square$) снижалась на 36,4%, что характеризовало уменьшение уровня кровотока в пульпе зуба, связанное с вазоконстрикцией микрососудов в ответ на инфильтрационную анестезию. При этом, вазомоторная активность

микрососудов (K_v) возрастала на 20,7%, что связано с компенсаторной реакцией в ответ на ухудшение кровоснабжения в пульпе (Рисунок 2).

Таким образом, в ответ на анестезию в пульпе зуба развивается вазоконстрикция микрососудов, которая сохранялась в течение 2-3 часов.

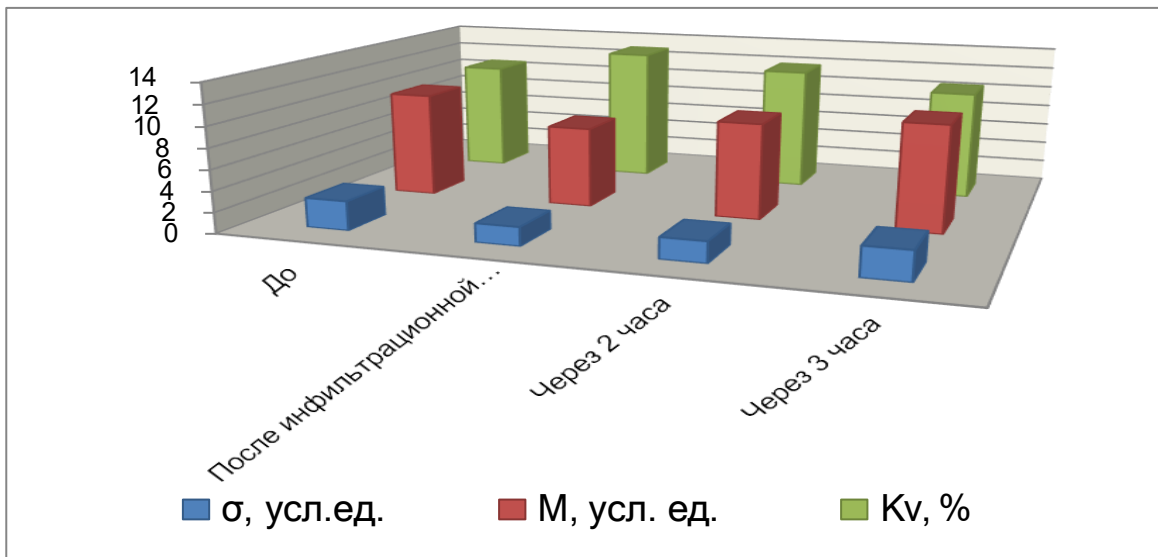


Рисунок 2. Динамика показателей кровотока в пульпе зуба до и после инфильтрационной анестезии.

После интралигаментарной анестезии также отмечалась тенденция снижения показателей микроциркуляции в 50% случаев (Рисунок 3). Показатель уровня кровотока (М) снижался на 32%. Значения вазомоторной активности микрососудов (K_v) падали на 74%, значения активности кровотока ($\square$) падали на 87,8%, и были ниже исходного уровня.

Через 2 часа показатели микроциркуляции после интралигаментарной анестезии в пульпе зуба повышались, что характеризовалось повышением кровотока в пульпе. Уровень кровотока (М) возрастал на 18%, его активность ($\square$) повышалась в 4 раза, а прирост вазомоторной активности

микрососудов (K_v) составил в 2,6 раза, что характеризовало тенденцию улучшения кровотока в пульпе зуба.

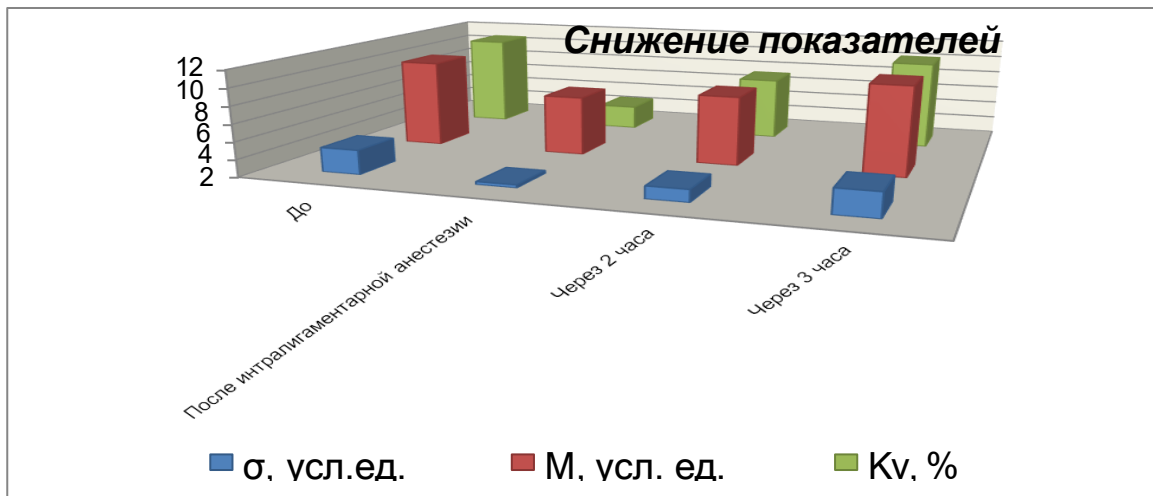


Рисунок 3. Динамика показателей тканевого кровотока (M, σ , K_v) до и после интралигаментарной анестезии.

После инфильтрационной анестезии в пульпе зубов, по данным Вейвлет-анализа ЛДФ-грамм, показатель шунтирования (ПШ) возрастал на 2,5% и равнялся $1,67 \pm 0,01$, что свидетельствовало о росте шунтирующего кровотока. Вследствие чего отмечалось ухудшение кровообращения в микрососудах в пульпе зуба. Через 2 часа после анестезии отмечалось восстановление исходных данных показателя шунтирования (ПШ) (на 4,2%).

После интралигаментарной анестезии, по данным оптической тканевой оксиметрии (ОТО) в 50% случаев после показатель шунтирования (ПШ) снижался на 14%, что характеризовало снижение регуляторных механизмов микрососудистой системы в пульпе.

Через 2 часа показатель шунтирования (ПШ) повышался на 7% по сравнению с исходными данными, однако оставался выше 1,0, что характеризовало снижение шунтирующего кровотока.

После инфильтрационной анестезии, по данным **оптической тканевой оксиметрии (ОТО)**, в пульпе зуба показатели оксигенации снижались: индекс перфузионной сатурации кислорода (S_m) и удельного потребления кислорода (U) снижались на 48% и 27%, соответственно. Уровень оксигенации снижался на 0,3%, что свидетельствовало об уменьшении кислородного метаболизма в пульпе. Через 2 часа – индексы перфузионной сатурации кислорода (S_m) и удельного потребления кислорода (U) повышались на 24% и 18,1%, соответственно, что характеризовало усиление процессов кислородного потребления в пульпе зуба.

Результаты сканирующей электронной микроскопии дентина зуба, обработанного 38% ортофосфорной кислотой и в течении 1 минуты 3%

раствором гипохлорита натрия, свидетельствуют об отсутствии какого-либо процесса растворения органики (коллагеновые волокна, отросток одонтобласта) на его поверхности (рисунок 4). В случае если поверхность протравленного дентина обрабатывали 3% раствором гипохлорита натрия в течение 3 минут, то его морфологическая картина несколько изменялась. Происходило заметное, но неполное растворение обнаженных коллагеновых волокон и частичный лизис отдельных отростков одонтобластов (рисунок 5). При более длительном воздействии 3% раствора гипохлорита натрия на поверхность протравленного дентина, а именно в течение 5 минут, эффект растворения органических субстанций дентина был выраженным. Происходило почти полное растворение обнаженных коллагеновых волокон и глубокий частичный лизис большого количества отростков одонтобластов без каких-либо признаков коррозии структуры дентина зуба (рисунок 6). Таким образом, оптимальным временем действия 3% раствора гипохлорита натрия на протравленный дентин является 5 минут, что позволяет создать оптимальные морфологические условия для уменьшения объема выхода дентинной жидкости и ее неблагоприятного действия на микромеханическое сцепление адгезивной системы с дентином витального зуба.

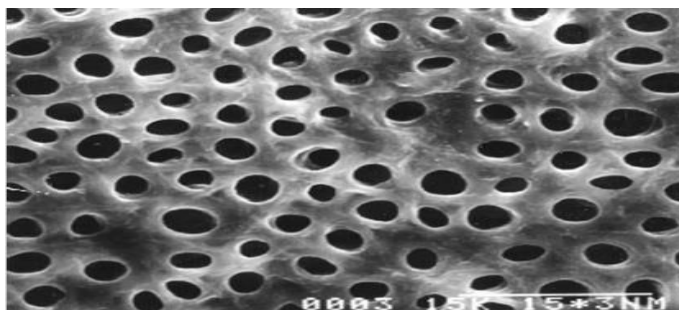


Рисунок 4. Отросток одонтобласта, находящийся на уровне границы механической обработки дентина, без признаков действия 1% раствора гипохлорита натрия. Увеличение 4000 раз.



Рисунок 5. Сохранившейся отросток одонтобласта в дентинном канальце зуба после 3 минутного применения 3% раствора гипохлорита натрия. Увеличение 1500 раз.

Рисунок 6. Морфологическая картина протравленного коронкового дентина витального зуба после 5 минутного применения 3% раствора гипохлорита натрия. Массовый по площади, но частичный по глубине лизис отростков одонтобластов и полное растворение обнаженного коллагена дентина. Отсутствие выраженной коррозии дентина от действия гипохлорита натрия. Увеличение 2000 раз.



Таким образом, можно утверждать, что, воздействуя на отростки одонтобластов через открытые дентинные канальцы, гипохлорит натрия частично лизирует их. Длина отростка одонтобласта уменьшается, создавая свободное пространство в терминальном отделе дентинного канальца. Это резко замедляет скорость течения и объем выхода дентинной жидкости на поверхность сформированной полости. Подтверждением этому являются данные средних величин светлоты и насыщенности цвета дентина, полученные с помощью спектрофотометрического исследования. Среднее значение светлоты (L) исследуемого дентина зубов сразу после смыва кислоты и их просушивания составляет 82.6 единицы, а через 5 минут данная оптическая характеристика изменяется до 73.1 единицы. Такая же динамика наблюдается и при спектрофотометрических замерах насыщенности (C) цвета дентина. Изменение среднего значения этого показателя при этих же условиях идет в сторону уменьшения и составляет от 25.5 до 20.2 единиц. Среднее значение светлоты (L) исследуемого дентина зубов сразу после смыва кислоты и их просушивания составляет 76.5 единиц, а через 5 минут действия 3% гипохлорита натрия данная оптическая характеристика уменьшается всего лишь до 74.6 единицы. Среднее значение насыщенности (C) цвета дентина после его обработки 3% гипохлоритом натрия меняется также незначительно с 22.4 до 21.1 единицы. Таким образом, плотность дентина, необработанного гипохлоритом натрия через 5 минут увеличивается за счет поступления дентинной жидкости, согласно цифрам светлоты (L) (от 82.6 до 73.1 единицы), на 11.8%, согласно цифрам насыщенности (C) (от 25.5 до 20.2 единиц) на 20.8%. Плотность дентина,

обработанного в течение 5 минут 3% гипохлоритом натрия, увеличивается в соответствии с цифрами светлоты (L) (от 76.5 до 74.6 единиц) на 2.5%, а насыщенность (C) цвета (от 22.4 до 21.1 единиц) на 5.9%. Изменения цвета зуба в целом по шкале VITA также имеет тенденцию на переход от более светлых тонов к более темным. Например, цвет A1 переходит в A2, A2 в A3, D3 в A4, A3.5 в B4 и т.д. Эта закономерность сохраняется и после использования для обработки дентина 3% раствора гипохлорита натрия, но в меньшей степени.

Таким образом, метод спектрофотометрии может быть использован для объективной оценки динамики изменения плотности (влажности) дентина витальных зубов в клинических условиях. Применение 3% гипохлорита натрия для обработки дентина перед восстановлением твердых тканей зуба композитными материалами в значительной степени уменьшает его влажность.

Электропроводность по границе соприкосновения адгезивной системы и композитного материала с эмалью и дентином зубов увеличивается с течением времени. И это естественный процесс, так как происходит изменение той искусственной структуры, которая была получена

в результате механического и химического взаимодействия адгезивной системы и твердых тканей зуба, (прежде всего гибридного слоя), в сторону уменьшения ее плотности и нарушения целостности. Это, в свою очередь увеличивает количество электрического тока, проходящего через нее. Длительные механические и термические нагрузки, а также вызванное естественным образом «старение» гибридного слоя приводят к нарушению его целостности. Это, в свою очередь увеличивает содержание в этой области дентинной жидкости за счет разгерметизации дентинных канальцев (эффект микропросачивания), что значительно усиливает электропроводность, (таблица 2).

Таблица 2. Среднестатистический результат, характеризующий электропроводность на границе соприкосновения композитного материала и адгезивной системы с твердыми тканями зуба не обработанными предварительно 3% раствором гипохлорита натрия.

Количество обследованных зубов	Глубина полости, мм	Название адгезивной системы	Название композитного материала	Показатели электрометрической оценки краевого прилегания пломбы к твердым тканям зуба (мкА)		
				Непосредственно после лечения	Через 12 месяцев	Через 18 месяцев

75	2-4	Adper Single Bond 2	Esthet-X HD	$0,72 \pm 0,01$	$0,98 \pm 0,02$	$1,09 \pm 0,02$
----	-----	---------------------------	-------------	-----------------	-----------------	-----------------

Данные, полученные сразу после постановки пломбы без предварительной обработки дентина гипохлоритом натрия, свидетельствуют, что электропроводность на границе соприкосновения композитного материала и твердых тканей зубов составляет $0,72 \pm 0,01$ мкА, через 12 месяцев она увеличивается до $0,98 \pm 0,02$ мкА т.е. возрастает на 36%. Через 18 месяцев она увеличивается до $1,09 \pm 0,02$ мкА, что по сравнению с исходными данными составляет 51%.

Таблица 3. Результаты, характеризующие электропроводность на границе соприкосновения композитного материала и адгезивной системы с твердыми тканями зуба, обработанными предварительно 3% раствором гипохлорита натрия.

Количество обследованных зубов	Глубина полости, мм	Название адгезивной системы	Название композитного материала	Показатели электрометрической оценки краевого прилегания пломбы к твердым тканям зуба (мкА)		
				Непосредственно после лечения	Через 12 месяцев	Через 18 месяцев
75	2-4	Adper Single Bond 2	Esthet-X HD	$0,69 \pm 0,01$	$0,76 \pm 0,01$	$0,82 \pm 0,01$

При анализе показателей электропроводности на границе соприкосновения композитного материала и твердых тканей зубов, в случае предварительной обработки дентина 3% раствором гипохлорита натрия в течение 5 минут, при первичном измерении в среднем составляет $0,69 \pm 0,01$ мкА. Через 12 месяцев она достигает $0,76 \pm 0,01$ мкА, что на 10% больше исходных данных. При измерении через 18 месяцев эта цифра также увеличивается до $0,82 \pm 0,01$ мкА, что соответствует увеличению электропроводности на 18% по сравнению с цифрами, характеризующими этот процесс сразу после постановки пломбы (таблица 3). Таким образом, можно утверждать, что скорость увеличения электропроводности на границе пломба-зуб, характеризующая степень герметизма этого соединения, в

значительной степени больше у зубов, дентин которых не был обработан 3% раствором гипохлорита натрия. В связи с чем, можно утверждать о том, что обработка дентина гипохлоритом натрия реально уменьшает количество дентинной жидкости, попадающей в адгезивную систему и самым положительным образом влияет на качество адгезии композита к твердым тканям зуба.

Результаты клинической визуальной оценки пломб из композитного материала, поставленных без обработки дентина 3% раствором гипохлорита натрия, показали, что общее число пломб, имеющих различные признаки нарушения герметичности на границе соприкосновения композитного материала и твердых тканей зуба, через 18 месяцев наблюдения составило 13, что соответствует 17,2% от общего числа.

Результаты клинической визуальной оценки пломб из композитного материала, поставленных с предварительной обработкой дентина 3% раствором гипохлорита натрия, показали, что общее число пломб, имеющих различные признаки нарушения герметичности на границе соприкосновения композитного материала и твердых тканей зуба, через 18 месяцев наблюдения составило 5, что соответствует 6,6% от общего числа. Это свидетельствует о том, что дополнительная обработка дентина 3% раствором гипохлорита натрия позволяет достигнуть более качественных результатов лечения кариеса за счет уменьшения негативного влияния дентинной жидкости на адгезию композиционного материала и твердых тканей зубов.

Выводы

1. Наиболее эффективным методом воздействия на внутрипульпарное давление в зубе является интралигаментарная анестезия, изменяющая микрогемодинамику пульпы в сторону уменьшения образования дентинной жидкости в полости зуба за счет длительной вазоконстрикции ее сосудов.

В ответ на инфильтрационную анестезию в пульпе зуба отмечаются гемодинамические сдвиги, которые проявляются в снижении уровня кровотока (M) и его интенсивности (σ) на 23,5% и 36,4%, соответственно, что связано с вазоконстрикцией микрососудов, которая купируется через 2 часа. После интралигаментарной анестезии реакция в пульпе зуба: уровень микроциркуляции снижается ($M < 32\%$, $\sigma < 87,8\%$, соответственно), что связано с более выраженной вазоконстрикцией, которая купируется через 3 часа.

2. В ответ на инфильтрационную анестезию в пульпе зуба индекс перфузионной сатурации (S_m) и удельного потребления кислорода (U) снижаются на 48% и 27%, соответственно, что характеризует развитие гипоксии, которая связана с вазоконстрикцией микрососудов и купируется через 2 часа. После интралигаментарной анестезии в пульпе индекс

перфузионной сатурации (S_m) и удельное потребление кислорода (U) снижаются на 59% и 12%, соответственно, что свидетельствует о развитии гипоксии в пульпе вследствие вазоконстрикции, которая купируется через 3 часа.

3. Данные, полученные с помощью компьютерного моделирования, позволяют утверждать, что чем короче открытый дентинный каналец, тем больше в нем развивается скорость течения дентинной жидкости и тем больше ее выходит в единицу времени на поверхность механически и химически (кислотное травление) обработанного дентина зуба. Если длина дентинного каналца сокращается от 4 до 1 мм, то скорость становится равной 169,61 мм/с (увеличивается в 6,7 раза), объем выхода, соответственно – $17,1 \times 10^{-12}$ кг/с (увеличивается в 6,7 раза).

4. Результаты, полученные с помощью компьютерного моделирования, свидетельствуют, что в дентинном каналце за границей кончика отростка одонтобласта капиллярное давление резко падает, что приводит к такому же резкому падению скорости движения дентинной жидкости за его пределами. Искусственное уменьшение длины отростка одонтобласта в дентинном каналце (путем его частичного лизиса) создает условия для значительного уменьшения объема выхода из него дентинной жидкости и, таким образом, уменьшить ее негативное влияние на качество адгезии композиционного материала.

5. Результаты сканирующей электронной микроскопии показывают, что оптимальным временем действия 3% раствора гипохлорита натрия на протравленный дентин является 5 минут, что позволяет создать оптимальные морфологические условия (частичный лизис отростков одонтобластов без коррозии структуры дентина) для уменьшения объема выхода дентинной жидкости и ее неблагоприятного действия на микромеханическое сцепление адгезивной системы с дентином витального зуба.

6. По данным спектрофотометрии применение 3% гипохлорита натрия для обработки дентина перед восстановлением твердых тканей зуба композитными материалами в значительной степени изменяет оптические характеристики цвета дентина (светлота (L) и насыщенность (C)), связанные с его влажностью, в сторону уменьшения цифровых показателей, что свидетельствует о замедлении процесса выхода дентинной жидкости на его поверхность.

7. Полученные данные позволяют утверждать, что скорость и степень увеличения электропроводности на границе пломба-зуб, характеризующая состояние герметизма этого соединения, в значительной степени была больше у зубов, дентин которых не был обработан 3% раствором гипохлорита натрия (увеличение на 51% по сравнению с исходными данными через 18 месяцев). Зубы, дентин которых перед нанесением

адгезивной системы и композитного материала был обработан 3% раствором гипохлорита натрия в течение 5 минут, имели показатели краевой проницаемости значительно ниже (увеличение электропроводности на 18% по сравнению с исходными данными через 18 месяцев).

8. Результаты клинической визуальной оценки пломб показали, что общее их число с различными признаками нарушения герметичности на границе соприкосновения композита и твердых тканей зуба через 18 месяцев наблюдения составило: у зубов, дентин которых не был обработан 3% раствором гипохлорита натрия -17,2% от общего числа, а у зубов с обработанным гипохлоритом натрия дентином – 6,6%.

Практические рекомендации

1. Для уменьшения негативного влияния дентинной жидкости на силу адгезии композиционного материала к твердым тканям зуба, особенно при восстановлении обширных и глубоких кариозных поражений, необходимо сократить объем ее выхода на поверхность дентина зуба путем проведения местной анестезии, снижающей внутрипульпарное давление.

2. Для проведения местной анестезии рекомендовано использовать вазоконстрикторы с содержанием адреналина в соотношении 1:100 в объеме 1.7мл.

3. Для проведения анестезии зубов преимущественно рекомендовано применять технику интралигаментарного введения анестетика в связи с ее более выраженным вазоконстрикторным действием на микрососуды пульпы.

4. Для уменьшения объема выхода дентинной жидкости на поверхность сформированной полости необходимо после кислотного травления и просушивания дентина предварительно обработать его поверхность перед нанесением адгезивной системы 3% раствором гипохлорита натрия в течение 5 минут.

5. С целью определения степени влажности дентина в клинических условиях рекомендовано использовать спектофотометр VITA Easyshade (VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co, Germany), который дает возможность определять естественный цвет зубов и различные оптические характеристики его твердых тканей. Для этого необходимо использовать режим измерений аппарата «Tooth single» и анализ таких показателей как светлота (L) и насыщенность (C) цвета дентина.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Винниченко Ю.А. Гидродинамика дентинной жидкости зуба / Ю.А. Винниченко, З.Б. Сабанчиева, Д.И. Шевляков // Стоматология. – 2023. Т. 102, № 6-2. – С. 5-7. <https://doi.org/10.17116/stomat20231020625>

2. Винниченко Ю.А. Спектрофотометрический метод оценки степени влажности дентина зуба в клинических условиях: рандомизированное контролируемое клиническое исследование / Ю.А. Винниченко , З.Б. Сабанчиева , О.Ю. Винниченко // Российский стоматологический журнал. - 2025. - Т. 29. - №5. - С. 374-381. <https://doi.org/10.17816/dent.2025.29.5>
3. Винниченко Ю.А. Оценка степени влияния внутрипульпарного давления на гидродинамические параметры движения дентинной жидкости зуба / Ю.А. Винниченко , З.Б. Сабанчиева , О.Ю. Винниченко // Стоматология. - 2025. Т. 104, № 6-2. – С. 80-83. <https://doi.org/10.17116/stomat202510406280>

Список сокращений и условных обозначений

СЭМ – сканирующая электронная микроскопия

ЛДФ - лазерная доплеровская флоуметрия

ОТО - оптическая тканевая оксиметрия

ПШ - показатель шунтирования