

*На правах рукописи*



**Кочмарёва Алёна Сергеевна**

**Применение оптических методов диагностики при минимально-инвазивном  
лечении кариеса дентина: экспериментальное исследование**

3.1.7. Стоматология

Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата медицинских наук

Москва – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет)

**Научный руководитель:**

доктор медицинских наук, профессор

**Макеева Ирина Михайловна**

**Официальные оппоненты:**

**Копецкий Игорь Сергеевич** – доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Институт Стоматологии, кафедра терапевтической стоматологии, заведующий кафедрой

**Разумова Светлана Николаевна** – доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», Медицинский институт, кафедра пропедевтики стоматологических заболеваний, заведующий кафедрой

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Защита диссертации состоится «29» мая 2025 года в 13:00 часов на заседании диссертационного совета ДСУ 208.001.36 при ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) по адресу: 119048, г. Москва, ул. Трубецкая д.8 стр.2

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной учебной библиотеке ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (119034, г. Москва, Зубовский бульвар, д.37/1) и на сайте организации: <https://www.sechenov.ru>

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 г.

Учёный секретарь диссертационного совета  
кандидат медицинских наук, доцент

**Дикопова Наталья Жоржевна**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы исследования

В настоящее время в стоматологии при лечении кариеса широкое распространение получила концепция минимально инвазивного вмешательства, подразумевающая сохранение как можно большего объёма тканей зуба и обеспечение жизнеспособности пульпы [Giasaman RA et al., 2018]. Если ранее главным условием эффективности лечения кариеса было полное удаление кариозных тканей, то в настоящее время, с развитием методов дезинфекции дентина и созданием биоактивных материалов, стало возможным сохранение части кариозного дентина с последующей его дезинфекцией и реминерализацией [Ricketts D et al., 2018]. Но вместе с новым подходом к лечению кариеса возникает и необходимость в разработке новых критериев качества препарирования кариозных полостей [Frencken JE et al., 2016]. Согласно рекомендациям международной консенсусной группы по кариесологии (International caries consensus collaboration) основным клиническим критерием удаления кариозного дентина является его плотность, определяемая при зондировании [Banerjee A et al., 2018]. Однако, этот критерий является субъективным и требует от врача определённого клинического опыта. В настоящее время для выявления кариозного дентина применяются методы, основанные на лазерных технологиях, такие, как визуальная или компьютерная оценка флуоресценции в видимой области [Ganter P et al., 2014], лазерная спектрометрия [Yonemoto K et al., 2006], регистрация и анализ изображения в ближней ИК-области [Тао Y-C et al., 2009]. Данные методики позволяют дифференцировать кариозный дентин от здорового, однако применимость их при минимально инвазивном препарировании, где допускается сохранение повреждённого (плотного дентина, имеющего признаки деминерализации), и даже частично инфицированного дентина, в настоящее время затруднена. Кроме того, дополнительную сложность добавляет тот факт, что критерии удаления кариозного дентина меняются в зависимости от глубины полости: при поверхностных полостях допустимо препарирование до здоровых тканей, а при глубоких полостях рекомендуется сохранение повреждённого

(плотного) дентина в целях предотвращения вскрытия полости зуба и инфицирования пульпы [Schwendicke F et al., 2016].

Таким образом, при современном уровне развития в стоматологии технологий контролируемого вмешательства, разработка системы интраоперационного контроля глубины препарирования кариозной полости и селективного удаления инфицированного дентина в соответствии с клиническими критериями является актуальной и соответствует основным тенденциям развития современной стоматологии.

### **Степень разработанности темы исследования**

Применяемые в настоящее время методы контроля удаления кариозных тканей не совсем релевантны современной концепции препарирования кариозной полости, допускающей сохранение деминерализованного и даже инфицированного дентина [Schwendicke F et al., 2015, Jang AT et al., 2017].

Результаты сравнения различных методов контроля препарирования кариозной полости демонстрируют, что микротвёрдость и другие характеристики оставшегося дентина могут значительно различаться. Это свидетельствует о неполном соответствии существующих объективных методов клиническому критерию плотности дентина [Banerjee A et al., 2017]. В настоящее время ведутся исследования по возможности применения спектроскопии комбинационного рассеяния (рамановской спектроскопии) и инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (ИК-Фурье спектроскопия) для дифференциации зон кариозного дентина [Almandi et al., 2012; Carvalho et al., 2013; Liu et al., 2014; Almhöjd et al., 2014;], однако в клинической практике эти технологии пока не используются.

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что, несмотря на проводимые в мире многочисленные клинические и лабораторные исследования, пока не существует общепринятого объективного критерия, который мог бы использоваться для интраоперационной дифференциации зон кариозного дентина в клинических условиях и соответствовал бы клиническому критерию плотности дентина на основании зондирования.

Таким образом, изучение оптических свойств различных зон кариозного дентина с целью выбора объективных критериев, применимых в клинической практике, имеет невысокую степень разработанности и потому представляет значительный интерес для фундаментального исследования.

### **Цель и задачи исследования**

Цель: повышение эффективности лечения кариеса дентина на основании разработки алгоритма селективного удаления инфицированного дентина с учётом глубины кариозной полости.

Задачи:

1. На основании анкетирования врачей-стоматологов оценить уровень приверженности минимально-инвазивному подходу лечения кариеса зубов.
2. Оценить уровень консенсуса врачей-стоматологов при оценке границ препарирования кариозной полости.
3. Определить критерии дифференциации инфицированного, повреждённого и нормального дентина оптическими методами диагностики (количественная светоиндуцированная флуоресценция, лазерная флуоресцентная спектроскопия, аутофлуоресцентная стоматоскопия, флуоресцентная спектроскопия), оценить соответствие полученных показателей различных зон дентина клиническим критериям удаления кариозного дентина.
4. Оценить временные затраты на препарирование кариозных полостей с использованием различных методов дифференциации инфицированного и повреждённого дентина.
5. На основании гистологического метода исследования определить диагностическую точность различных оптических методов при дифференциации инфицированного и повреждённого дентина.
6. Разработать систему клинических и инструментальных критериев для селективного удаления инфицированного дентина и контроля глубины препарирования кариозной полости.

7. На основании метода спектроскопии диффузного отражения определить оптимальный метод оценки расстояния до пульпы зуба в процессе удаления инфицированного дентина.

### **Научная новизна**

В представленной работе впервые проведён сравнительный анализ информативности метода флуоресцентной спектроскопии с различной длиной волны источника возбуждения для дифференциации слоёв кариозного дентина.

Впервые проведён сравнительный хронометраж препарирования кариозной полости с использованием различных методов контроля и установлено, что использование аппаратов оптической диагностики (аутофлуоресцентной стоматоскопии и лазерной спектроскопии) для объективной оценки качества препарирования кариозной полости незначительно влияет на продолжительность лечения.

Впервые определена диагностическая точность различных методов оценки качества удаления кариозного дентина под контролем гистологического исследования, что доказало эффективность применения оптических методов диагностики в качестве объективного критерия определения конечной точки препарирования.

В серии лабораторных исследований впервые установлена возможность использования спектроскопии диффузного отражения для оценки толщины дентина над пульпарной камерой. Была обнаружена линейная зависимость между показателями содержания воды, гемоглобина и толщиной дентина в проекции пульпы.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

На основании результатов исследования оценена диагностическая точность методов флуоресцентной диагностики (аутофлуоресценции, лазерной спектроскопии) при дифференциации повреждённого и здорового дентина, а также разработаны рекомендации по использованию оптических методов для определения границ препарирования кариозной полости и определены факторы, искажающие показатели оптических приборов при препарировании кариозных

полостей. Обоснован выбор объективных критериев определения конечной точки препарирования с учётом глубины полости и диагностической точности инструментальных методов.

В ходе исследований была разработана стандартизированная модель для изучения различных методов контролируемого удаления инфицированного дентина.

Разработан метод для измерения толщины остаточного дентина при препарировании глубоких кариозных полостей.

### **Методология и методы исследования**

Диссертационная работа выполнена в соответствии с принципами и правилами доказательной медицины. Диссертационная работа одобрена Локальным этическим комитетом ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (протокол № 09-24 от 03.04.24).

Клинические методы исследования: зондирование, окрашивание кариес-маркером.

Инструментальные методы: рентгенография (внутриротовая радиовизиография), лазерная спектроскопия, спектроскопия диффузного отражения, количественная светоиндуцированная флуоресценция, аутофлуоресцентная стоматоскопия, флуоресцентная спектроскопия.

Гистологическое исследование: декальцинирование образцов, подготовка спилов, их окрашивание, фиксация на предметном стекле и анализ с использованием сканера гистологических препаратов.

**Первый этап** (анкетирование и оценка консенсуса врачей-стоматологов).

Анкетирование врачей-стоматологов, оценка консенсуса их мнений при определении границ препарирования кариозных полостей разной глубины.

**Второй этап** (лабораторные исследования): применение оптических методов для оценки качества удаления инфицированного дентина.

1. Измерения на образцах *ex vivo* (удалённые зубы) с различной степенью поражения тканей с использованием методов оптической диагностики, построение карт спектральных характеристик.

2. Оценка точности выбранных показателей в эксперименте *ex vivo* в условиях, максимально приближенных к клиническим (со дна кариозной полости, в режиме послойной экскавации кариозных тканей под контролем зондирования). Так же было определено время препарирования кариозных полостей при использовании различных методов контроля.

3. Препарирование кариозных полостей на удалённых зубах в соответствии с рекомендациями международной консенсусной группы под контролем зондирования и оптических методов диагностики. Определение диагностической точности исследуемых методов по результатам гистологического исследования.

**Третий этап** (лабораторные исследования): применение оптических методов для оценки расстояния до пульпы зуба.

Использование метода спектроскопии диффузного отражения для оценки толщины остаточного дентина над полостью зуба (контроль – рентгенография, прямые измерения калипером с точностью шкалы до 0,1 мм, измерения под лупой с четырёхкратным увеличением со шкалой до 0,1 мм).

Статистическая обработка цифрового материала была проведена методами вариационной статистики с использованием коэффициента каппы Флейса, рассчитанного с помощью программы «Online Statistics Calculator» на сайте <https://datatab.net/>, коэффициента корреляции r-Пирсона, рассчитанного с помощью программы «Python», а так же заполнением и статистическим анализом таблиц 2×2 с расчётом показателей диагностической точности.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Конечной точкой препарирования должно являться: показание 15 условных единиц аппарата лазерной флуоресцентной спектроскопии, слабая оранжевая флуоресценция при исследовании аппаратом аутофлуоресцентной стоматоскопии,  $\Delta F$  18%,  $\Delta R$  10% при исследовании аппаратом количественной

светоиндуцированной флуоресценции, что соответствует плотному дентину с признаками деминерализации, но без бактериальной инвазии.

2. Аппараты оптической диагностики: аутофлуоресцентной стоматоскопии и лазерной спектроскопии могут быть использованы для дифференциации зон кариозного дентина, так как их диагностическая точность составила: 81,4%, 76,7% соответственно.

3. Измерение доли воды, а также гемоглобина в пульпе методом спектроскопии диффузного отражения позволяет оценить толщину остаточного дентина над полостью зуба.

### **Степень достоверности и апробация результатов**

Достоверность полученных результатов подтверждается достаточным количеством респондентов в социологическом исследовании, достаточным объёмом экспериментальных лабораторных исследований с использованием современных адекватных методов обработки полученного материала.

Результаты исследования доложены и обсуждены на следующих конференциях: «Международная научно-практическая конференция студентов и молодых учёных, посвящённая юбилею сотрудничества медицинского института РУДН и Ташкентского государственного стоматологического института» (г. Москва, 05 апреля 2023 г.), XIV научно-практическая конференция молодых учёных «Научные достижения современной стоматологии и челюстно-лицевой хирургии» посвящённой 140-летию со дня рождения профессора А.И. Евдокимова» (г. Москва, 26 мая 2023 г.), XII Всероссийская научно-практическая конференция студентов и молодых учёных с международным участием «Актуальные проблемы науки XXI века» (76-я научная студенческая конференция и 52-я конференция молодых учёных) (г. Смоленск, 25-26 апреля 2024 года), XV научно-практическая конференция молодых учёных «Научные достижения современной стоматологии и челюстно-лицевой хирургии», посвящённой памяти профессора Безрукова В.М. (г. Москва, 31 мая 2024 г.), «21st International conference laser optics ICLO 2024» (г. Санкт-Петербург, 1–5 июль 2024).

Апробация диссертационной работы проведена на заседании кафедры терапевтической стоматологии Института стоматологии имени Е.В. Боровского Клинического центра ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (г. Москва, 15 октября 2024 г. (протокол №4)).

### **Личный вклад автора**

Автором самостоятельно определены цель, задачи и методы исследования, лично проведён поиск научных публикаций отечественных и зарубежных авторов по теме диссертационного исследования в открытых источниках, по результатам которого выполнен литературный обзор.

Автор лично принимала участие в сборе и подготовке образцов, проведении исследований и анализе полученных результатов, написала и оформила диссертационную работу и автореферат.

### **Публикации по теме диссертации**

По результатам исследования автором опубликовано 7 работ, в том числе 2 научных статьи в журналах, включённых в Перечень ВАК при Минобрнауки России, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук; 1 статья в изданиях, индексируемых в международной базе Chemical abstracts (pt), 4 публикации в сборниках материалов международных и всероссийских научных конференций.

### **Соответствие диссертации паспорту научной специальности**

Диссертационное исследование соответствует паспорту научной специальности 3.1.7. Стоматология; пунктам 1 «Изучение этиологии, патогенеза, эпидемиологии, методов профилактики, диагностики и лечения поражений твёрдых тканей зубов (кариес и др.), их осложнений», 8 «Экспериментальные исследования по изучению этиологии, патогенеза, лечения и профилактики основных стоматологических заболеваний»; отрасли наук «медицинские науки».

### **Структура и объём диссертации**

Диссертация изложена на 122 страницах машинописного текста; состоит из введения, 4 глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка

сокращений и условных обозначений и списка литературы, который включает 143 источника (29 отечественных, 114 зарубежных). Работа иллюстрирована 27 рисунками и содержит 11 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Материалы и методы

На **первом этапе** работы было проведено анкетирование 50 врачей с целью выявления основных принципов и методик, используемых стоматологами при лечении кариеса зубов. Далее было проведено исследование среди врачей – стоматологов, целью которого являлась оценка наличия среди них консенсуса по определению конечной точки препарирования полостей разной глубины. Было отобрано 10 удалённых зубов с диагнозом «Кариес дентина». Препарирование полостей было проведено в несколько этапов до уровня мягкого, плотного и твёрдого дентина. На каждом этапе врачи оценивали достаточность удаления тканей. Согласованность стоматологов была определена с помощью коэффициента капсы Флейса.

На **втором этапе (лабораторные исследования)** использовались свежееудалённые третьи моляры. Используемые аппараты представлены в Таблице 1.

Лабораторные исследования включали эксперименты для определения характеристик различных зон кариозного дентина и оценки корреляции с плотностью при зондировании. Методом флуоресцентной спектроскопии было исследовано 38 зубов, которые были отпрепарированы до 3 разных зон: где зона 1 – инфицированный дентин (мягкий), 2 – деминерализованный, без признаков бактериальной инвазии (плотный, повреждённый) и 3 – здоровый дентин (твёрдый). Коммерчески доступными аппаратами изначально проводили исследование продольных спилов (30 зубов); далее проводилось послойное препарирование кариозных полостей (30 зубов) и фиксация показателей со следующих зон: мягкий дентин, плотный дентин, здоровый дентин (твёрдый) (Рисунок 1А).

Далее был проведён хронометраж препарирования кариозных полостей при использовании различных методов оптического контроля, кариес-маркером, зондированием. Было проведено препарирование кариозных полостей на 25 удалённых зубах. Оценка дна полости проводилась три раза. Время фиксировали от начала до полного завершения препарирования.

Таблица 1 – Используемая аппаратура

Название методики	Аппарат	Длина волны
Флуоресцентная спектроскопия	Спектрометр (Maya2000Pro, Ocean Optics, США)	390-650 нм
FACE (препарирование под контролем аутофлуоресценции)	АФС (Полироник, Россия)	400 нм
Количественная светоиндуцированная флуоресценция	Qraypen (AioBio, Южная Корея)	405 нм
Лазерная спектроскопия	DIAGNOdent-pen (KaVo Dental GmbH, Германия)	655 нм

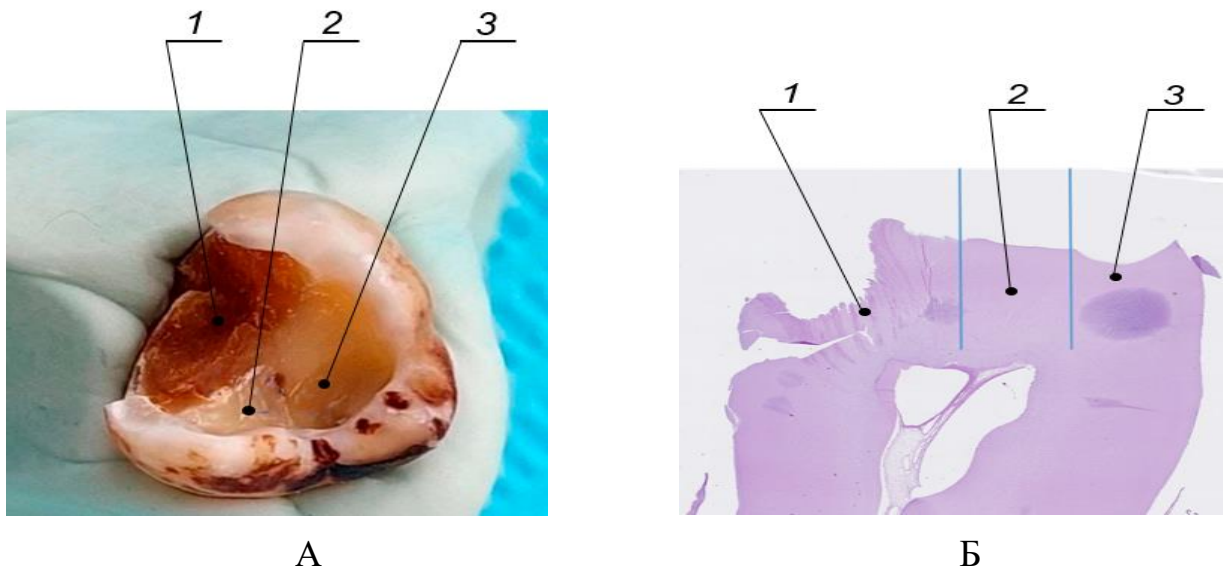


Рисунок 1 – Общий вид зуба (А) и его гистологический срез (Б)  
 1 – инфицированный дентин (мягкий), 2 – деминерализованный дентин без признаков бактериальной инвазии (плотный, повреждённый); 3 – здоровый дентин (твёрдый)

Исследование по оценке диагностической точности оптических методов с гистологическим контролем проводилось на 38 свежееудалённых зубах, которые препарировали под контролем зондирования, аппаратов лазерной флуоресцентной спектроскопии, аутофлуоресцентной стоматоскопии. В разных участках полости были определены 3 зоны дентина: мягкий, плотный и твёрдый дентин. С каждой зоны было снято по пять измерений. Затем образцы были переданы на гистологическое исследование, в рамках которого определяли наличие бактерий в дентинных канальцах в каждой из зон (Рисунок 1).

**Третьим этапом** была проведена оценка измерения толщины дентина над пульпарной камерой на нескольких моделях на свежееудалённых третьих молярах. Изначально использовались интактные зубы с косым спилом (5 зубов), в полость зуба помещался фантом пульпы. Сканирование поверхности зуба было проведено оптоволоконным зондом, подключённым к 2D механическому линейному преобразователю (Thorlabs, США). Затем было исследовано 10 свежееудалённых зубов с «живой» пульпой (измерялись зубы, в течение не более пяти часов после удаления), на которых был сделан продольный пропил в пределах центральной фиссуры с вскрытием полости зуба в одной точке. Снятие показаний проводилось тем же способом. Далее на 20 зубах с «витальной» пульпой было проведено послойное препарирование тканей с окклюзионной поверхности до вскрытия полости зуба с шагом от 1 мм, на каждом этапе снимались показания. Было исследовано несколько вариантов зондов с различным расстоянием между волокнами.

### **Результаты собственного исследования и их обсуждение**

В ходе анкетирования на **первом этапе** исследования было выявлено, что, несмотря на преобладание среди стоматологов консервативного подхода к лечению кариеса зубов, врачи со стажем менее 10 лет придерживаются более инвазивных методов. Основные различия были выявлены в использовании дополнительных методов диагностики кариозного дентина и выбора методики лечения в спорных ситуациях. Таким образом, можно сделать вывод, что новые знания и методики малоинвазивного лечения в настоящее время используются

практикующими врачами достаточно широко. Однако, несмотря на то, что все врачи, участвующие в исследовании при определении консенсуса специалистов, также декларировали приверженность минимально-инвазивному подходу лечения, была выявлена низкая внутри и межэкспертная согласованность при определении конечной точки препарирования кариозных полостей. С большой долей вероятности можно утверждать, что низкий уровень межэкспертного консенсуса обусловлен исключительно трудностями клинической дифференциации мягкого, плотного и твёрдого дентина. Это подтверждается тем, что один и тот же участник мог по-разному оценивать зубы в пределах одного этапа препарирования. Следовательно, на данном этапе была подтверждена актуальность темы работы и доказана необходимость выбора объективного критерия при препарировании кариозных полостей.

В начале **второго этапа** было проведено исследование с лабораторным спектрометром для определения наиболее диагностически значимых длин волн источника возбуждения. Были получены спектры флуоресценции в широком диапазоне 400 - 900 нм при различных фиксированных длинах волн возбуждения (390, 405, 440, 480, 650 нм). В этих спектрах были выделены вклады двух компонентов: гидроксиапатита и протопорфиринов.

Как следует из полученных зависимостей, представленных на Рисунке 2, источник возбуждения с длиной волны 390, 405, 440, 480 нм позволяет выявлять деминерализацию дентина; 405, 650 нм – наличие бактериальной инвазии.

Далее была получена характеристика различных слоёв кариозного дентина при использовании коммерчески доступных аппаратов флуоресцентной диагностики. Результаты представлены в Таблице 2.

Было установлено, что дифференцировать кариозный дентин при препарировании полости позволяют все методики. Однако, для метода лазерной спектроскопии при анализе плотного пигментированного дентина были получены более высокие значения, чем при анализе светлого дентина. Также увеличение показателей наблюдалось и при работе в глубоких кариозных полостях. Тем не менее, при препарировании полостей средней глубины устройство лазерной

спектроскопии показало себя эффективным средством контроля глубины препарирования.

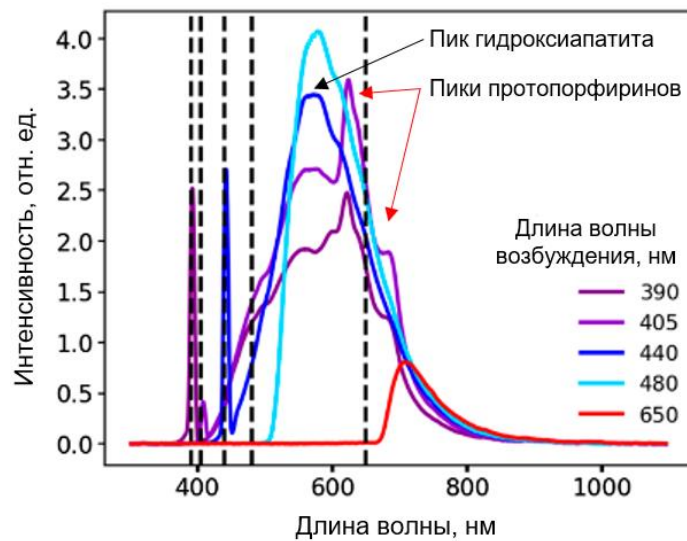


Рисунок 2 – Спектры флуоресценции кариозного дентина при различных длинах волн возбуждения

При исследовании методом количественной светоиндуцированной флуоресценции было выявлено, что отсутствует существенная разница в показаниях между пигментированным и светлым плотным дентином. Аппарат показывает проанализированные программой изображения, с выделением зон деминерализации ( $\Delta F$ ) и наличия бактерий ( $\Delta R$ ), а также количественные значения этих показателей. Тем не менее, для определения конечной точки препарирования красную флуоресценцию следует считать более значимой.

В исследовании при работе аппаратом АФС в области мягкого дентина наблюдалась красная флуоресценция, показывая наличие бактериальных метаболитов, в области плотного – оранжевая, здоровые ткани флуоресцируют зелёным.

Для оценки корреляции данных, полученных с помощью оптических методов, и данных зондирования был измерен процент совпадения их показателей. Наибольшие значения были выявлены у методик количественной светоиндуцированной флуоресценции и FASE. Для методик: кариес-маркера, FASE, количественной светоиндуцированной флуоресценции и лазерной

спектроскопии были получены следующие значения совпадений: 80%; 85%; 86,7%; 76,7%, соответственно.

Таблица 2 – Клинические характеристики, данные окрашивания кариес-маркером и показатели флуоресценции твёрдых тканей зуба при кариесе зубов

Тип дентина	Клиническая характеристика	Кариес-маркер	Аппарат Qraypen		Аппарат DIAGNOdent-pen (y.e.)	Аппарат АФС
			$\Delta F$ (%)	$\Delta R$ (%)		
Здоровый дентин	Не снимается инструментом и скрипит при зондировании	Отсутствие окрашивания	13,7±8	0	4,7±3	Зелёное свечение
Плотный дентин	Снимается острым инструментом при сильном нажатии, при зондировании слышится царапающий звук	Бледно-розовое окрашивание	18,4±9	0-10	9-23	Оранжевое свечение
Мягкий дентин	Легко убирается ручным экскаватором	Розовое окрашивание	26,6±9	28,75	68,3±14	Красное свечение

Результаты хронометража показали, что меньше всего увеличивает продолжительность препарирования применение аппаратов лазерной спектроскопии и аутофлуоресцентной стоматоскопии (на 23 и 16 секунд, соответственно).

Далее была проведена оценка диагностической точности оптических методов с гистологическим контролем (Рисунок 1). Проведённое гистологическое исследование показало, что данные зондирования и аппаратов оптической диагностики не всегда совпадают с гистологическими зонами кариозных тканей.

Для методов зондирования, FASE с использованием аппарата АФС, лазерной спектроскопии с использованием аппарата DIAGNOdent-pen чувствительность составила 62,9%, 75,7%, 86,6%; специфичность – 79,9%, 82,8%, 74,2%; положительная прогностическая ценность – 42,2%, 51,5%, 45,1%; отрицательная прогностическая ценность – 90,2%, 93,4%, 95,8%; в целом диагностическая точность составила 76,7%, 81,4%, 76,7%, соответственно.

Анализ данных позволяет утверждать, что аппарат аутофлуоресцентной стоматоскопии по сравнению с зондированием характеризуется большей чувствительностью, специфичностью и диагностической точностью. Диагностическая точность аппарата лазерной спектроскопии и зондирования оказалась одинаковой, однако, аппарат обладает большей чувствительностью, но меньшей специфичностью, и при использовании его в качестве дополнительного метода диагностики возрастает риск чрезмерного препарирования.

Тот факт, что аппарат аутофлуоресцентной стоматоскопии не всегда верно дифференцировал зоны кариозного дентина, наиболее вероятно связан с тем, что интерпретацию свечения проводил врач (субъективная оценка).

Зондирование является исключительно субъективным методом, и, при проверке гистологическим исследованием, его диагностическая точность оказалась ниже, чем у аппарата аутофлуоресцентной стоматоскопии. Аппарат лазерной спектроскопии подтвердил свою пригодность для дифференциации зон инфицированного, здорового и плотного непигментированного дентина.

На **третьем этапе** исследования, при измерении расстояния до пульпы зуба методом спектроскопии диффузного отражения, в первую очередь была оценена возможность детекции воды в пульпарной камере. Для этого полость зуба заполнялась водой, после чего наблюдалось значительное увеличение амплитуды пика (~ 980 нм). Таким образом, было доказано, что вода, содержащаяся в пульпе,

вносит значительный вклад в регистрируемый спектр и может быть использована как критерий близости пульпы.

Далее была изучена возможность оценки поглощения воды и гемоглобина пульпы зуба методом спектроскопии диффузного отражения. Во время сканирования наблюдалось увеличение пиков поглощения воды и гемоглобина по мере уменьшения толщины дентина. Зависимости амплитуд пиков содержания воды и гемоглобина от координаты на поверхности зуба коррелировали с профилем толщины зуба (Рисунок 3).

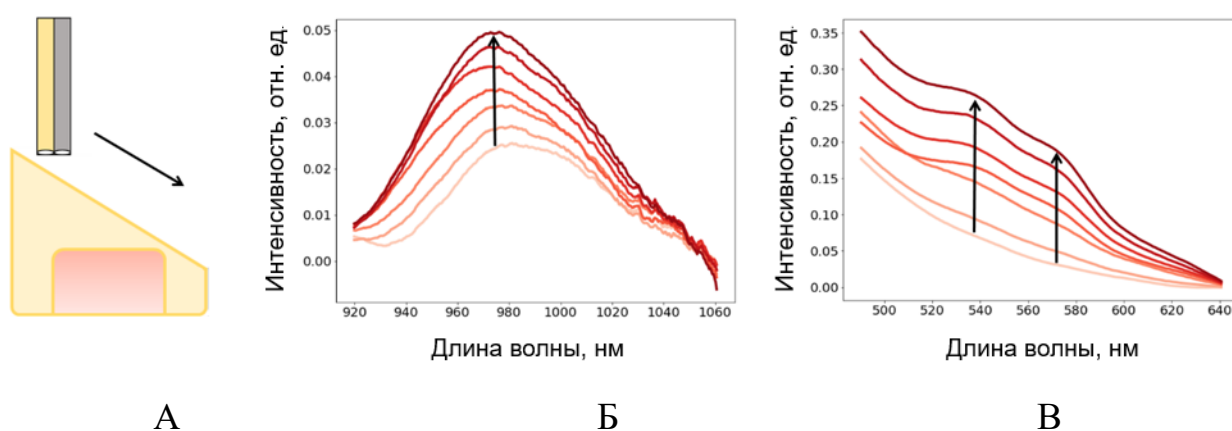


Рисунок 3 – Результаты, полученные с использованием метода спектроскопии диффузного отражения

А – схематичное изображение установки для измерения спектров диффузного отражения образца зуба, Б – оптическая плотность образца зуба в ближнем ИК-диапазоне (920-1040 нм), В – оптическая плотность образца зуба в видимом диапазоне (490-640 нм)

Поскольку содержание гемоглобина в тканях пульпы зуба повышается при воспалении и снижается в результате кровотечения и анестезии, было показано, что двукратное снижение концентрации крови в фантоме пульпы вызывает соответствующее двукратное уменьшение амплитуды показателя гемоглобина. Показатель же содержания воды, наоборот, практически не зависит от концентрации гемоглобина и потому является более надёжным критерием при использовании в клинической практике. Затем была построена модель линейной регрессии связи спектров диффузного отражения с толщиной дентина, и были рассчитаны предсказанные значения толщины дентина. При расстоянии между

оптическими волокнами 0,7 мм, между расчётными данными и реальными экспериментальными значениями наблюдалась линейная корреляция 0,90 (Рисунок 4). Средняя ошибка определения толщины составила 0,58 мм, что может быть обусловлено неточным определением реальной экспериментальной толщины дентина. Таким образом, было выяснено, что чем меньше расстояние между оптическими волокнами в измерительном зонде, тем эффективнее и точнее определяется толщина дентина.

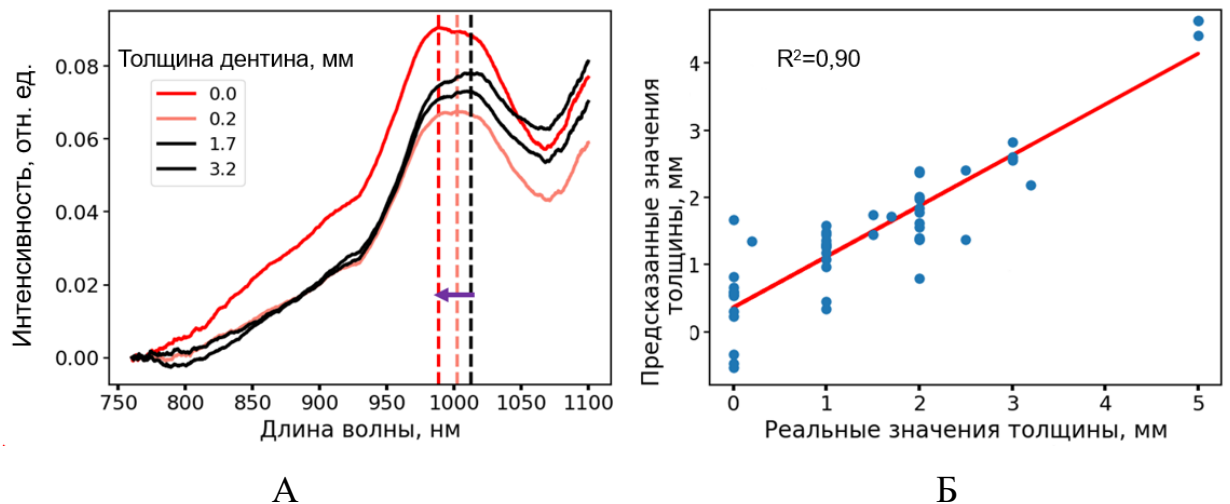


Рисунок 4 – Спектры диффузного отражения при расстоянии 0,7 мм между оптическими волокнами зонда

А – спектры диффузного отражения, измеренные в одной точке при разных толщинах дентина, Б – зависимость предсказанных значений толщин дентина от реально измеренных в эксперименте для модели линейной регрессии

## ВЫВОДЫ

1. Показано, что в настоящее время не все врачи придерживаются в своей практике принципов и методик минимально-инвазивной стоматологии, при этом частота и вариативность использования минимально-инвазивных методик различались в зависимости от опыта работы врачей. Среди врачей со стажем менее 5 лет 23% респондентов предпочитают инвазивное лечение при наличии неполостных кариозных поражений и проводят витальную экстирпацию пульпы при вскрытии полости зуба в процессе лечения кариеса. Среди врачей со стажем 5

– 10 лет аналогичные ответы дали 35% респондентов, а в группе врачей со стажем более 10 лет – 14% респондентов.

2. Установлено, что врачи имеют тенденцию препарировать кариозную полость до твёрдого дентина. При оценке глубоких кариозных полостей на этапе мягкого дентина каппа Флейса составила 0,05, на этапе плотного дентина – 0,25, на этапе пигментированного твёрдого дентина – 0,11, 100% согласие всех участников было достигнуто только при удалении тканей до твёрдого светлого дентина.

3. Подтверждено, что использование коммерчески доступных флуоресцентных методов диагностики позволяет дифференцировать здоровый, инфицированный и повреждённый дентин, что даёт возможность объективизировать критерии дифференциации зон кариозного дентина.

4. Доказано, что, результаты оптических методов диагностики коррелируют с плотностью тканей при зондировании: совпадение результатов зондирования и оптической оценки было достигнуто в 80%, 85%, 86,7%, 76,7% случаев для методик кариес-маркера, FASE, количественной светоиндуцированной флуоресценции, лазерной флуоресцентной спектроскопии, соответственно.

5. Экспериментально подтверждено, что использование аппаратов аутофлуоресцентной стоматоскопии и лазерной спектроскопии для определения конечной точки препарирования увеличивает продолжительность лечения кариеса дентина незначительно (примерно на 20 секунд), что указывает на возможность применения их в клинической практике.

6. В ходе исследований установлено, что для методик зондирования, FASE, лазерной спектроскопии под контролем гистологического исследования чувствительность составляет 62,9%, 75,7%, 86,6%; специфичность – 79,9%, 82,8%, 74,2%; положительная прогностическая ценность – 42,2%, 51,5%, 45,1%; отрицательная прогностическая ценность – 90,2%, 93,4%, 95,8%; в целом диагностическая точность составила: 76,7%, 81,4%, 76,7%, соответственно.

7. Экспериментально были получены показатели флуоресценции твёрдых тканей зуба при кариесе зубов. Для аппарата лазерной спектроскопии они составили: мягкий дентин –  $68,3 \pm 14$  у.е., пигментированный и

непигментированный плотный дентин –  $23,7 \pm 8$  у.е. и  $9,2 \pm 3$  у.е., соответственно, здоровый дентин (твёрдый) –  $4,7 \pm 3$  у.е.; для аппарата количественной светоиндуцированной флуоресценции: мягкий дентин –  $\Delta F = 26,6 \pm 9$ ,  $\Delta R = 28,75$ ; плотный дентин (пигментированный и непигментированный) –  $\Delta F = 18,4 \pm 9$ ,  $\Delta R = 0-10$ ; здоровый дентин (твёрдый) –  $\Delta F = 13,7 \pm 8$ ,  $\Delta R = 0$ . Показано, что использование аппарата аутофлуоресцентной стоматоскопии позволяет селективно удалять инфицированный дентин за счёт визуализации зоны бактериальной инвазии в виде красного свечения.

8. Доказано, что измерение доли воды, а также гемоглобина в пульпе методом спектроскопии диффузного отражения позволяет оценить толщину остаточного дентина. Коэффициенты корреляции между показателями содержания воды, гемоглобина и толщиной дентина составили  $0,92-0,96$  для высоких концентраций гемоглобина. Также было показано, что при определении толщины остаточного дентина измерение доли воды является более надёжным, чем определение уровня гемоглобина.

## **ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

1. Во избежание диагностических ошибок при работе с аппаратами флуоресцентной диагностики необходимо промывать кариозную полость водой и высушивать поверхность перед исследованием для устранения инфицированных опилок дентина.

2. Для определения конечной точки препарирования целесообразно использовать аппарат лазерной спектроскопии, особенно при активном кариозном процессе, который характеризуется светлыми тканями, отличающимися лишь по плотности (пороговый показатель: 15 у.е.).

3. При сохранении пигментированного дентина на дне кариозной полости, а также вблизи полости зуба (при глубоком кариесе) показатели аппарата лазерной спектроскопии могут увеличиваться даже при клинически плотном дентине. В таких случаях следует проводить препарирование под контролем других аппаратов

(количественной светоиндуцированной флуоресценции; аутофлуоресцентной стоматоскопии).

4. Аппараты количественной светоиндуцированной флуоресценции и аутофлуоресцентной стоматоскопии возможно использовать для определения конечной точки препарирования кариозной полости, как при удалении тканей светлого плотного дентина, так и при сохранении пигментированных плотных тканей (пороговыми показателями являются:  $\Delta F = 18\%$ ,  $\Delta R = 10\%$  для аппарата количественной светоиндуцированной флуоресценции и слабая оранжевая флуоресценция для аппарата аутофлуоресцентной стоматоскопии).

5. При использовании аппарата количественной светоиндуцированной флуоресценции в глубоких кариозных полостях при наличии тонкого слоя оставшегося дентина может наблюдаться красная флуоресценция пульпы. В таких случаях для контроля следует проводить повторное зондирование.

6. Дентин, который слабо окрашивается кариес-маркером, но не флуоресцирует при визуализации аппаратом аутофлуоресцентной стоматоскопии, при риске вскрытия полости зуба допустимо сохранять.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Кочмарёва, А.С.** Основные принципы и методики, используемые стоматологами при лечении кариеса зубов исследований / **А.С. Кочмарёва.** // Сборник научных статей по итогам работы Международного научного форума Наука и инновации – современные концепции (г. Москва, 8 апреля 2022 г.) / отв. ред. Д.Р. Хисматуллин. – Москва: Издательство Инфинити, 2022. – С. 107-109.

2. **Кочмарёва, А.С.** Оценка эффективности методик минимально инвазивного лечения кариеса дентина на основании анализа клинических исследований / **А.С. Кочмарёва.** // Сборник научных статей по итогам работы Международного научного форума Наука и инновации – современные концепции (г. Москва, 8 апреля 2022 г.) / отв. ред. Д.Р. Хисматуллин. – Москва: Издательство Инфинити, 2022. – С. 101-106.

3. Dental Pulp Location and Dentin Thickness Assessment in Situ with Diffuse Reflectance Spectroscopy / E. Nikonova, G. Budylin, **A. Kochmareva**, A. Yu. Turkina, P. S. Timashev, E. A. Shirshin // **Journal of Biomedical Photonics & Engineering**. – 2022. – Vol.8. – №4. – P. 040507-1–040507-8. [**Chemical abstracts**]

4. Применение оптических методов для диагностики и оценки качества препарирования кариозных полостей / А.Ю. Туркина, **А.С. Кочмарёва**, Н.И. Николашвили, Н.Н. Власова, В.О. Самусенков, Г.Н. Шелеметьева, И.С. Монахов // **Стоматология для всех**. – 2023. – Т.104. – №3. – С. 10-14.

5. **Кочмарёва, А.С.** Применение лазерной спектроскопии для оценки качества препарирования кариозных полостей / **А.С. Кочмарёва**. // Сборник трудов Международной научно-практической конференции студентов и молодых учёных, посвящённой юбилею сотрудничества медицинского института РУДН и Ташкентского государственного стоматологического института / под редакцией Н. Т. Бутаевой. – Москва: РУДН, 2023. – С. 24-25.

6. Использование аппарата аутофлуоресцентной диагностики для контролируемого препарирования кариозных полостей / **А.С. Кочмарёва**, И.М. Макеева, Г.Н. Шелеметьева, А.Ю. Туркина // **Стоматология для всех**. – 2024. – Т.106. – №1. – С. 4-8.

7. **Kochmareva, A.** Surgery guidance in orthopedics and dentistry: [conference paper: materials of 2024 International Conference Laser Optics (ICLO), St. Petersburg, 1-5 July 2024] / G. Budylin, N. Rovnyagina, E. Nikonova, P. Dyakonov, V. Petrov, D. Davydov, **A. Kochmareva**, A. Yu. Turkina, M. M. Lipina, E. B. Kalinskiy, K. M. Azarkin, B. D. Raikov, A. V. Lychagin, P. S. Timashev, E. A. Shirshin – Text: electronic // IEEE: institute of electrical and electronics engineers. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/>. – P. 489.

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

ICCC – Международная консенсусная группа по кариесологии (International caries consensus collaboration, англ.)

ИК – инфракрасный

ИК-Фурье спектроскопия – инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье

TGF- $\beta$ 1 – трансформирующий фактор роста  $\beta$ 1

Ig – иммуноглобулин (Immunoglobulin, англ.)

IADR – Международная ассоциация стоматологических исследований (International and American Associations for Dental, Oral, and Craniofacial Research, англ.)

ART – атравматичное восстановительное лечение (atraumatic restorative treatment, англ.)

FACE – удаление кариеса с использованием флуоресценции (fluorescence-aided caries excavation, англ.)

LIFEDT – прибор для оценки светоиндуцированной флуоресценции для диагностики и лечения (light-induced fluorescence evaluator for diagnosis and treatment, англ.)

у.е. – условная единица

QLF – количественная светоиндуцированная флуоресценция (quantitative light-induced fluorescence, англ.)

КЛКТ – конусно-лучевая компьютерная томография

аппарат АФС – аппарат аутофлуоресцентной стоматоскопии

ICON – лечение кариеса принципом инфильтрации

СИЦ – стеклоиономерный цемент

МТА – минерал триоксид агрегат (mineral trioxide aggregate, англ.)