

На правах рукописи



Романенко Наталья Валерьевна

**Клинико-экспериментальное обоснование
эффективности применения лазерного излучения длиной волны 445 nm
в стоматологии**

3.1.7. Стоматология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора медицинских наук

Москва – 2026

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 консультант:

доктор медицинских наук, профессор

Тарасенко Светлана Викторовна

Официальные оппоненты:

Блашкова Светлана Львовна – доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, кафедра терапевтической стоматологии, заведующий кафедрой

Дурново Евгения Александровна – доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, директор Института стоматологии, кафедра хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, заведующий кафедрой

Разумова Светлана Николаевна – доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», 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 23 апреля 2026 года в 10:00 часов на заседании диссертационного совета ДСУ 208.001.36 при ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) по адресу: 119991, г. Москва, ул. Трубецкая д. 8, стр. 2

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

Автореферат разослан « ____ » _____ 2026 года

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат медицинских наук, доцент



Дикопова Наталья Жоржевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Современная медицина развивается в направлении инновационных технологий, главной концепцией которых являются малоинвазивность и безболезненность лечебных и диагностических манипуляций (Шугайлов И.А., 2010; Faciola Pessôa de Oliveira P.G. et al., 2019; Bonatto G.O., 2021, Разумова С.Н. и др., 2025). Безболезненность медицинских процедур, слабая выраженность симптомов послеоперационного периода, короткие сроки реабилитации пациентов и отсутствие рубцовой ткани в области хирургического вмешательства взаимосвязаны с оценкой качества жизни пациента (Frencken J.E., 2017; Айвазов Г.Т. и др., 2021; Муслов С.А. и др., 2021).

Условиям малоинвазивной концепции отвечают лазерные технологии. Именно применение лазерного излучения вывело стоматологическую практику на новый высокоэффективный уровень предоставления медицинских услуг и позволило предлагать пациентам методы лечения, которые в значительной степени сокращают период реабилитации (Атрушкевич В.Г. и др., 2019; Дурново Е.А. и др., 2021; Блашкова С.Л. и др., 2022; Daigo Y. et al., 2023). Применение лазерных технологий предполагает и предупреждение кровопотери при проведении хирургического вмешательства (Azma E., Safavi N., 2013; Monteiro L.S. et al., 2013; Fornaini C. et al., 2016; Convissar R.A., 2022; Hassan S. et al., 2022).

Известно, что сокращение периода реабилитации пациентов в хирургической стоматологической практике коррелирует со сроками эпителизации различных видов повреждений слизистой оболочки полости рта (Караков К.Г. и др., 2019; Politis C. et al., 2016). Проведенные многочисленные исследования указывают на значительное сокращение сроков регенерации послеоперационной раны слизистой оболочки полости рта, созданной лазерным излучением, при сравнении с традиционными хирургическими методами (Adel N. et al., 2025; Chandrasekar D. et al., 2025; de Pauli Paglioni M. et al., 2025; Tastan Eroglu Z. et al., 2025).

Воздействие низкоинтенсивным лазерным излучением в области послеоперационной раны создает условия для нормализации микроциркуляции, что также является фактором для сокращения периода реабилитации пациентов после травм и хирургических вмешательств (Moskvin S.V., 2017; Mujić Jahić I. et al., 2024; Праздников Э.Н., Евсюкова З.А., 2024).

В настоящее время в большинстве случаев для препарирования мягких тканей полости рта используются диодные полупроводниковые лазеры длиной волны инфракрасного диапазона света – 810 nm, 940 nm, 970 nm и 980 nm, выполнение хирургических манипуляций с которыми возможно только контактным способом (Azma E., Safavi N., 2013; Derikvand N. et al., 2016; Hanke A. et al., 2021; Convissar R.A., 2022; Трунин Д.А. и др., 2021). Рассечение и отсечение тканей слизистой оболочки полости рта выполняют гибким волокном, которое предварительно иницируют (Convissar R.A., 2022; Estrin N.E. et al., 2023). При инициации кончика оптоволокна на его поверхности формируется пленка из продукта горения – углерода, который является активным поглотителем лазерного излучения

любой длины волны (Convissar R.A., 2022). Технические особенности данной процедуры влекут за собой значительное повышение температуры тканей в области операционного поля и особенно при несвоевременном очищении стекловолокна, что вызывает термический ожог и выраженную карбонизацию тканей, а также формирует болевой синдром у пациентов в ранний послеоперационный период. Данный факт является причиной поиска новых инструментов альтерации.

Более 10 лет назад зарубежные производители медицинского оборудования заявили о создании лазерного аппарата с длиной волны 445 ± 40 nm. Данная длина волны видимого света находится в спектре оттенков синего цвета. В англоязычной литературе данная технология получила название blue laser.

Представленные на мировом рынке лазерные аппараты с длиной волны 445 nm заявлены как бесконтактные хирургические устройства. Данное заявление производителей заведомо предполагает малую инвазивность и атравматичность лечебных манипуляций и более высокую безопасность применения данной лазерной технологии у пациентов разных возрастных групп и у пациентов с сопутствующими заболеваниями.

В 2021 году в России Научно-техническим объединением «ИРЭ-Полус» (в 2025 году компания переименована в «VPG Laserone») создан опытный лазерный аппарат с излучением длиной волны 445 nm. Синий лазер российского производства имеет уникальное разнообразие параметров излучения при сравнении с зарубежными аналогами, что расширяет возможности его применения в медицине.

Внедрение в стоматологическую практику технологии лазерного излучения длиной волны 445 nm обуславливает важность и необходимость проведения исследований, направленных на изучение биологического ответа слизистой оболочки полости рта на воздействие синего лазера при разных режимах работы. Актуальным представилось изучение и определение возможности применения лазерного излучения длиной волны 445 nm в качестве инструмента альтерации и источника энергии для лазеротерапии и фотобиомодуляции тканей в стоматологической практике на территории РФ.

Степень разработанности темы исследования

За последние 10 лет в зарубежных университетах проведено множество научных исследований, раскрывающих потенциал излучения синего лазера. Исследователями установлены факты активной пролиферации культивированных клеток фибробластов десны при бесконтактном воздействии лазерным излучением длиной волны 445 nm (Etemadi A. et al., 2020; Sterczala B. et al., 2021; Fornaini C. et al., 2021; Adel N. et al., 2025), возможности проникновения лазерного излучения синего цвета в твердые ткани зуба, при этом в дентине, пораженном кариозным процессом, на 40 % уменьшается количество штаммов *Streptococcus salivarius* (Lusche I. et al., 2020), что указывает на дезинфицирующее действие лазерного излучения. В 2015 году Carla R. Fontana и коллегами при воздействии лазерным излучением длиной волны 445 nm был зафиксирован факт гибели пигментсодержащих бактерий полости рта – *Porphyromonas gingivalis*, *Prevotella intermedia*,

Prevotella nigrescens и *Prevotella melaninogenica*, входящих в группу пародонтопатогенных микроорганизмов. Norbert Gutknecht и коллеги (2018) отметили высокую эффективность бактерицидного действия лазерного излучения длиной волны 445 nm при воздействии на агрессивного представителя микрофлоры каналов корней зубов – *Enterococcus faecalis*. В 2016 году Carlo Fornaini и коллеги определили, что при сравнении с лазерным излучением длиной волны 532 nm, 808 nm, 1064 nm и 1340 nm абляционным действием с наименьшей температурной реакцией мягких тканей полости рта обладает лазерный луч синего спектра света. По данным Sang Woong Park и коллег (2021), при воздействии лазерным излучением длиной волны 445 nm на ткани наблюдаются вазорелаксация и усиление синтеза монооксида азота клетками предшественниками эндотелия.

Все эти результаты получены при проведении доклинических исследований. В доступной литературе отсутствует информация об оптимальных и безопасных режимах применения лазерного излучения длиной волны 445 nm в стоматологической практике.

Цель исследования – разработка и научное обоснование концепции применения технологии лазерного излучения длиной волны 445 nm для повышения регенераторного потенциала и оптимизации репаративных процессов в слизистой оболочке полости рта при консервативных и оперативных методах реабилитации пациентов с заболеваниями полости рта.

Для реализации цели научной работы сформулированы следующие **задачи исследования**:

1. В эксперименте на животных определить оптимальные параметры лазерного излучения длиной волны 445 nm для качественного и безопасного препарирования мягких тканей полости рта.
2. Изучить особенности морфологических изменений интактной слизистой оболочки полости рта лабораторных животных при воздействии лазерным излучением длиной волны 445 nm в режиме абляции.
3. По данным гистологического метода исследования изучить динамику репаративных процессов в слизистой оболочке полости рта лабораторных животных после проведения хирургических манипуляций с применением лазерного излучения длиной волны 445 nm.
4. С применением цифровой термометрии определить степень термических изменений в области слизистой оболочки полости рта лабораторных животных при воздействии лазерным излучением длиной волны 445 nm в режиме абляции и в режиме фотобиомодуляции тканей.
5. По данным цитологического метода исследования изучить особенности биологического ответа форменных элементов крови – клеток эритроцитов лабораторных животных на воздействие лазерным излучением длиной волны 445 nm в режиме фотобиомодуляции тканей.
6. По данным лазерной доплеровской флоуметрии изучить влияние лазерного излучения длиной волны 445 nm в режиме фотобиомодуляции на микроциркуляцию тканей пародонта.
7. По данным иммуноферментного анализа соскоба слизистой оболочки полости рта в области хирургического вмешательства изучить реакцию местного иммунитета полости рта на воздействие лазерным излучением длиной волны 445 nm в режиме абляции.

8. По данным клинических методов исследования изучить особенности течения послеоперационного периода у пациентов, при лечении которых применена технология лазерного излучения длиной волны 445 nm.
9. Сформулировать методологическое обоснование и практические рекомендации к применению лазерного излучения длиной волны 445 nm в качестве инструмента альтерации, в качестве метода коагуляции сосудов и гемостаза и в качестве источника энергии для низкоинтенсивной лазерной терапии и фотобиомодуляции тканей в стоматологической практике.
10. Разработать и внедрить концепцию применения лазерного излучения длиной волны 445 nm в стоматологическую практику.

Научная новизна

В диссертационной работе изложены новейшие научные достижения в области лазерной медицины и лазерной стоматологии. Впервые на территории Российской Федерации лазерное излучение длиной волны 445 nm представлено для стоматологической практики.

Впервые определены и научно обоснованы оптимальные параметры лазерного излучения длиной волны 445 nm для качественного и безопасного применения в качестве инструмента альтерации, в качестве метода коагуляции сосудов и гемостаза и в качестве источника энергии для низкоинтенсивной лазерной терапии и фотобиомодуляции тканей челюстно-лицевой области.

Впервые выявлены особенности морфологических изменений интактной слизистой оболочки полости рта лабораторных животных при воздействии лазерным излучением длиной волны 445 nm в режиме абляции. Впервые в России и в мире продемонстрирована динамика репаративных процессов в слизистой оболочке полости рта лабораторных животных после проведения хирургических манипуляций с применением лазерного излучения длиной волны 445 nm.

Впервые с применением цифровой термометрии определены температурные показатели в области слизистой оболочки полости рта лабораторных животных при воздействии лазерным излучением длиной волны 445 nm в режиме абляции и в режиме фотобиомодуляции тканей.

Впервые продемонстрирован биологический ответ эритроцитов лабораторных крыс на воздействие лазерным излучением длиной волны 445 nm при проведении процедуры фотобиомодуляции десны.

Впервые по данным лазерной доплеровской флоуметрии установлено влияние лазерного излучения длиной волны 445 nm в режиме фотобиомодуляции на микроциркуляцию тканей пародонта.

Впервые по данным иммуноферментного анализа соскоба слизистой оболочки полости рта в области хирургического вмешательства изучена реакция местного иммунитета полости рта на воздействие лазерным излучением длиной волны 445 nm в режиме абляции.

Впервые по данным клинических методов исследования выявлены особенности течения послеоперационного периода у пациентов, при лечении которых применена технология лазерного излучения длиной волны 445 nm.

На основании результатов диссертационного исследования впервые научно обоснованы и разработаны методики стоматологических вмешательств в полости рта с применением лазерного излучения длиной волны 445 nm.

Теоретическая и практическая значимость работы

В процессе диссертационного исследования изучены технические возможности и научно обоснованы оптимальные параметры работы нового аппарата ALTA BLUE с длиной волны лазерного излучения 445 nm, созданного НПО «VPG Laserone» (Россия).

Оптимальные параметры лазерного излучения длиной волны 445 nm определены для качественного и безопасного применения в качестве инструмента альтерации для препарирования мягких тканей полости рта, в качестве метода коагуляции сосудов и гемостаза и в качестве источника энергии для низкоинтенсивной лазерной терапии и фотобиомодуляции тканей челюстно-лицевой области.

Результаты диссертационного исследования позволили определить показания и противопоказания применения лазерного излучения длиной волны 445 nm в стоматологической практике, а также разработать методики применения синего лазера при реабилитации пациентов с основными заболеваниями полости рта.

На основании результатов анкетирования пациентов выявлена высокая степень их удовлетворенности тем фактом, что хирургическое вмешательство проведено с применением лазерной технологии, что позволяет рекомендовать бесконтактный способ препарирования мягких тканей полости рта при операции френулопластики языка.

Применение лазерного излучения длиной волны 445 nm для гемостаза в донорской зоне твердого неба при операции трансплантации свободного десневого лоскута позволяет сократить продолжительность хирургического вмешательства и снизить риск возникновения осложнений в послеоперационный период.

Сформулированные алгоритмы применения лазерной технологии длиной волны 445 nm при хирургическом стоматологическом лечении позволяют повысить эффективность и безопасность лечения пациентов зрелого возраста при оперативных вмешательствах, выполняемых для устранения возрастных аномалий развития мягких тканей полости рта, что в настоящее время имеет важное социально-экономическое значение в связи с увеличением продолжительности жизни человека.

Разработанные методики применения лазерного излучения длиной волны 445 nm позволяют повысить эффективность реабилитации пациентов в ранний послеоперационный период дентальной имплантации, при проведении консервативной терапии заболеваний пародонта и вирусных заболеваний слизистой оболочки полости рта, при хирургических манипуляциях, выполняемых для устранения пародонтальных карманов и аномалии развития мягких тканей полости рта, при устранении сосудистых мальформаций слизистой оболочки

полости рта и красной каймы губ, а также при удалении доброкачественных новообразований слизистой оболочки полости рта и вылуцивании ретенционных кист малых слюнных желез.

Материалы проведенного диссертационного исследования могут являться фундаментальным основанием для дальнейших исследований в области лазерной медицины и развития российской научной школы лазерологии.

Методология и методы исследования

Для составления дизайна диссертационного исследования предполагалось проведение методологического анализа научных публикаций, посвященных изучению свойств лазерного излучения длиной волны 445 nm.

В основу диссертационной работы положены принципы доказательной медицины. Для определения возможности внедрения лазерного излучения длиной волны 445 nm в клиническую практику предполагалось проведение экспериментального и клинического исследований.

В экспериментальном исследовании в качестве источников лазерного излучения использованы аппараты с длиной волны 810 nm («PICASSO *lite*», «AMD LASERS, LLC» (США) и 445 nm («ALTA BLUE», НПО «VPG Laserone» (Россия). Эмпирическим путем были определены оптимальные параметры работы лазерных аппаратов в режиме абляции.

Экспериментальное исследование включало изучение влияния лазерного излучения на слизистую оболочку полости рта лабораторных животных (крыс) в режиме абляции и в режиме фотобиомодуляции. Дополнительно изучали реакцию форменных элементов крови – эритроцитов на воздействие лазерным излучением длиной волны 445 nm в режиме фотобиомодуляции.

Для изучения биологического ответа эритроцитов и тканей слизистой оболочки полости рта лабораторных животных (крыс) на воздействие лазерным излучением длиной волны 445 nm проведены цитологическое исследование, гистологическое исследование и термометрия.

Полученные результаты позволили сформулировать Протоколы применения лазерного излучения длиной волны 445 nm в стоматологической практике при лечении и реабилитации пациентов с заболеваниями полости рта.

Для определения возможности применения лазерной технологии длиной волны 445 nm с целью повышения регенераторного потенциала и оптимизации репаративных процессов в слизистой оболочке полости рта при консервативных и оперативных методах реабилитации пациентов с заболеваниями полости рта лазерное излучение длиной волны 445 nm использовано при 10 видах стоматологических вмешательств. Для научного обоснования эффективности применения лазерной технологии длиной волны 445 nm в стоматологической практике реализованы 14 методов исследования и регистрации результатов, являющихся оптимальными для каждого отдельного вида стоматологических манипуляций: клиническая оценка стоматологического статуса, упрощенный индекс гигиены полости рта ОНI-S, индекс гингивита

GI, индекс кровоточивости десны, пародонтальный индекс PI, цифровая рейтинговая шкала (Numeric rating Scale for pain – NRS) для определения боли, выраженности отека и гиперемии слизистой оболочки полости рта, индекс регенерации слизистой оболочки в области линейного операционного разреза (Early Wound Healing Score – EHS), хронометрия, тест для определения герметичности и эпителизации операционной раны, анкетирование пациентов по шкале The Patient Satisfaction Scale, лазерная доплеровская флоуметрия и иммуноферментный анализ.

Для статистической обработки полученных данных применены современные методы анализа, позволившие определить степень значимости результатов и выявить корреляционные связи между явлениями.

Положения, выносимые на защиту

1. Применение лазерного излучения длиной волны 445 nm в качестве инструмента альтерации при минимальной мощности 0,7 W у экспериментальных животных формирует коагуляционный некроз с менее выраженной инфильтрацией тканей и при меньшем нагревании слизистой оболочки полости рта по сравнению с воздействием на мягкие ткани лазерным излучением длиной волны 810 nm в режиме абляции.
2. Применение лазерного излучения длиной волны 445 nm в качестве источника энергии для низкоинтенсивной лазерной терапии создает тепловой эффект, нагревая слизистую оболочку полости рта у лабораторных животных ниже порогового показателя в 42°C, и повышает способность эритроцитов к деформируемости.
3. Применение лазерного излучения длиной волны 445 nm в качестве инструмента альтерации предупреждает риск возникновения кровотечения во время операции и в послеоперационный период, способствует уменьшению сроков регенерации раны и предупреждению риска возникновения инфекционных воспалительных осложнений на фоне формирования коагуляционного некроза и создает высокую степень удовлетворенности пациентами пластическим хирургическим вмешательством в полости рта.
4. Применение лазерного излучения длиной волны 445 nm в качестве источника энергии для низкоинтенсивной лазерной терапии и фотобиомодуляции тканей способствует увеличению скорости кровотока и повышению показателя окислительного метаболизма в тканях пародонта у здоровых добровольцев, нормализует показатели микроциркуляции в тканях пародонта у пациентов с Диагнозом: K05.4 Хронический катаральный гингивит после процедуры удаления наддесневых и поддесневых зубных отложений ультразвуковым скейлером, способствует уменьшению выраженности симптомов послеоперационного периода у пациентов после хирургических вмешательств в полости рта.
5. Применение технологии лазерного излучения длиной волны 445 nm в качестве метода коагуляции сосудов и гемостаза способствует сокращению продолжительности оперативного

вмешательства и предупреждению риска возникновения инфекционных воспалительных осложнений при операции трансплантации свободного десневого лоскута с неба, а также является эффективным методом лечения сосудистых мальформаций.

6. Разработанная концепция применения лазерного излучения длиной волны 445 nm в стоматологической практике способствует повышению регенераторного потенциала тканей и позволяет оптимизировать репаративные процессы в слизистой оболочке полости рта при консервативных и оперативных методах реабилитации пациентов с заболеваниями полости рта.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность полученных результатов, сформулированных выводов и положений, выносимых на защиту, основывается на достаточном объеме репрезентативного материала, использовании современных и высокотехнологичных методов исследования и современных способов статистической обработки данных с подбором оптимальных критериев оценки для каждого явления.

Дизайн экспериментального исследования, тщательное планирование, соблюдение стандартов надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice), максимально приближенные к клинической практике манипуляции в полости рта лабораторных животных и предварительная оценка гипотетического размера эффекта обуславливают объективность предпосылок для проведения клинического исследования.

Наблюдаемые явления при клиническом исследовании совпадают с теоретическими положениями и с результатами методологического анализа ранее выполненных научно-исследовательских работ по объекту исследования.

Высокая степень достоверности полученных результатов подтверждается также достаточным объемом выборки, определяемым при помощи Sample Size Calculator для каждого отдельного метода исследования.

Результаты исследования представлены и обсуждены на: Научно-практической конференции с международным участием «Лазеры в медицине 2021» (Москва, 2021); Международной научно-практической конференции «Современные технологии в медицинском образовании», посвященной 100-летию Белорусского государственного медицинского университета (Минск, Республика Беларусь, 2021); Национальном конгрессе с международным участием «Паринские чтения 2022», посвященном памяти профессора, Заслуженного деятеля науки Республики Беларусь О.П. Чудакова. (Минск, Республика Беларусь, 2022); VI Сеченовском международном биомедицинском саммите: Технологический суверенитет (SIBS-2022) (Москва, 2022); Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы хирургической стоматологии и дентальной имплантологии» (Ташкент, Республика Узбекистан, 2022); Симпозиуме «Лазерные технологии в работе практикующих врачей стоматологов и руководителей клиник» (Москва, 2023); Симпозиуме «Принципы междисциплинарного подхода

к диагностике, профилактике и лечению стоматологических заболеваний» (Москва, 2023); VI Международном конгрессе стоматологов «Актуальные проблемы стоматологии и челюстно-лицевой хирургии». (Ташкент, Республика Узбекистан, 2023); VII Научно-практической конференции «Актуальные вопросы стоматологии», посвященной 10 выпуску стоматологического факультета ФГБОУ ВО Кировского ГМУ МЗ РФ (Киров, 2023); Всероссийской научной конференции с международным участием «Актуальные вопросы хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии», посвященной 100-летию академика Н.Н. Бажанова (Москва, 2023); Научно-практической конференции с международным участием «Лазерная медицина в России: прошлое, настоящее, будущее», посвященной 100-летию Олега Ксенофоновича Скобелкина (Москва, 2023); IX Международном междисциплинарном конгрессе по заболеваниям органов головы и шеи (Санкт-Петербург, 2023); 33rd International Conference on Dentistry and oral health (Amsterdam, The Netherlands, 2023); Национальном конгрессе с международным участием «Паринские чтения 2024. Диагностика, лечение, восстановительный период и диспансеризация пациентов с хирургической патологией черепно-челюстно-лицевой области» (Минск, Республика Беларусь, 2024); Симпозиуме «Лазерная стоматология. Актуальное настоящее и перспективы» в рамках 50-й Всероссийской научно-практической Конференции СТАР «Актуальные вопросы стоматологии» (Москва, 2024); Конференции «Актуальные вопросы хирургического лечения в пародонтологии, имплантологии, стоматологии» (Москва, 2025); Научно-практической конференции с международным участием «Скобелкинские чтения. Лазерные технологии в медицине» (Москва, 2025).

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 3.1.7 Стоматология согласно пунктам 2, 3, 4, 5, 8, 11.

Личный вклад автора

Автором самостоятельно проведен анализ отечественной и иностранной научной литературы, посвященной инновационной лазерной технологии длиной волны 445 ± 40 nm. Автором самостоятельно оформлен литературный обзор и в соавторстве опубликованы 2 обзорные научные статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий Сеченовского Университета / Перечень ВАК при Минобрнауки России.

Автором самостоятельно составлен дизайн диссертационного исследования, определены цель и задачи научной работы, осуществлен экспериментальный этап диссертационной работы: лично выполнены все консервативные и оперативные манипуляции в полости рта лабораторных животных (крыс), лично проведено наблюдение за статусом объектов исследования и подготовлены препараты для цитологического и гистологического методов исследования.

Автором лично проведено комплексное стоматологическое обследование и лечение 20 студентов-добровольцев со здоровым пародонтом и 280 пациентов, имеющих основные

стоматологические заболевания и нуждающихся в первичной специализированной медико-санитарной помощи по профилю «Стоматология» в амбулаторных условиях в плановом порядке. Автором самостоятельно проведено оформление медицинской документации и формирование базы данных в программе Microsoft Excel.

Автор лично разработала уникальный перечень из 15 вопросов, раскрывающий мнение пациентов о результатах операции френулопластики языка, выполненной с применением лазерной технологии.

Автор самостоятельно обработала результаты экспериментального и клинического исследования и с соавторами подготовила оригинальные статьи для публикации в отечественных и зарубежных научных медицинских изданиях. На основании полученных результатов автором лично сформулированы методологическое обоснование и клинические рекомендации к применению лазерного излучения длиной волны 445 nm в качестве инструмента альтерации, в качестве метода коагуляции сосудов и гемостаза и в качестве источника энергии для низкоинтенсивной лазерной терапии и фотобиомодуляции тканей челюстно-лицевой области, а также составлены аннотации к 4 патентам.

Публикации по теме диссертации

Результаты исследования представлены в 29 научных публикациях, из них 6 – в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий Сеченовского Университета / Перечень ВАК при Минобрнауки России, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора медицинских наук; 4 статьи – в изданиях, индексируемых в международных базах Scopus, Web of Science и PubMed, 3 статьи – в иных изданиях Перечня ВАК при Минобрнауки России, 4 патента, 12 публикаций – в сборниках материалов международных и всероссийских научных конференций (из них 5 – зарубежные конференции).

Структура и объем диссертации

Материалы диссертационной работы изложены на 350 страницах машинописного текста. Диссертация состоит из введения и глав: обзора литературы, материалов и методов исследования, результатов экспериментального исследования, результатов клинического исследования, обсуждения результатов собственных исследований и заключения, выводов, практических рекомендаций, списка терминов, приложений и списка литературы, который включает 405 источников, из них 105 российских и 300 иностранных авторов. Научная работа иллюстрирована 102 таблицами и 178 рисунками.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Внедрение в клиническую практику лазерного излучения длиной волны 445 nm требовало доказательства безопасности и обоснования эффективности применения данной технологии.

Методологический анализ научных публикаций, посвященных изучению особенностей биологического ответа клеток и тканей живого организма на воздействие лазерным излучением длиной волны 445 nm, позволил обосновать концепцию применения технологии синего лазера в 3 направлениях: в качестве инструмента альтерации, в качестве метода коагуляции сосудов и

гемостаза и в качестве источника энергии для низкоинтенсивной лазерной терапии (НИЛТ) и фотобиомодуляции тканей челюстно-лицевой области.

Для реализации поставленных задач проведены экспериментальное и клиническое исследования.

Экспериментальное исследование

Экспериментальное исследование проведено в Центральном виварии ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) в период с февраля по декабрь 2022 года. Объектом изучения явились 128 половозрелых лабораторных крыс мужского пола линии WISTAR массой от 170 до 250 граммов. Проведение медицинских манипуляций было одобрено Локальным Этическим Комитетом ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России 07 октября 2021 года (Протокол ЛЭК № 17-21).

Медицинские манипуляции, выполненные в ходе эксперимента, были максимально приближены к реально существующим клиническим процедурам, проводимым в настоящее время в амбулаторных стоматологических клиниках при лечении пациентов с заболеваниями полости рта с применением лазерных технологий. Врачебные процедуры включали в себя хирургические манипуляции – разрезы слизистой оболочки и препарирование мягких тканей в области преддверия полости рта, а также физиотерапию – воздействие лазерным низкоинтенсивным излучением на область десны.

Для подтверждения гипотезы об эффективности применения лазерного излучения длиной волны 445 nm в качестве инструмента альтерации и источника энергии для фотобиомодуляции тканей выполнены термометрия, гистологическое и цитологическое исследования. Дизайн эксперимента в виде графической схемы представлен на Рисунке 1.

Для экспериментального исследования использованы диодные полупроводниковые лазерные аппараты, сертифицированные на территории Российской Федерации и предназначенные для применения в клинической стоматологической практике. Нами проведено изучение биологического ответа тканей на воздействие лазерным излучением длиной волны 445 nm, соответствующей синему цвету видимого спектра света, и на воздействие лазерным излучением длиной волны 810 nm, соответствующей инфракрасному свету ближнего диапазона.

Эмпирическим путем было установлено, что минимальная мощность, при которой происходит рассечение слизистой оболочки полости рта лабораторной крысы иницированным волокном диодного полупроводникового лазера длиной волны 810 nm при импульсном режиме (PW), равна значению – 0,7 W. Также нами определено, что 0,7 W – минимальное значение оптимальной мощности при импульсном режиме (PW) лазерного излучения длиной волны 445 nm, при котором при воздействии на слизистую оболочку полости рта лабораторных животных бесконтактным способом и неиницированным волокном наблюдается явление абляции.

При импульсном режиме (PW) работы лазерного аппарата ALTA BLUE пиковая мощность составляла 13 W. При данной мощности в области слизистой оболочки полости рта лабораторной

крысы при выполнении линейного разреза формировалась зона выраженной карбонизации тканей. Данное явление является неприемлемым при препарировании мягких тканей. Для поддержания постоянного значения мощности – 0,7 W – целесообразным представилось проведение хирургических манипуляций при непрерывном режиме (CW) лазерного излучения.

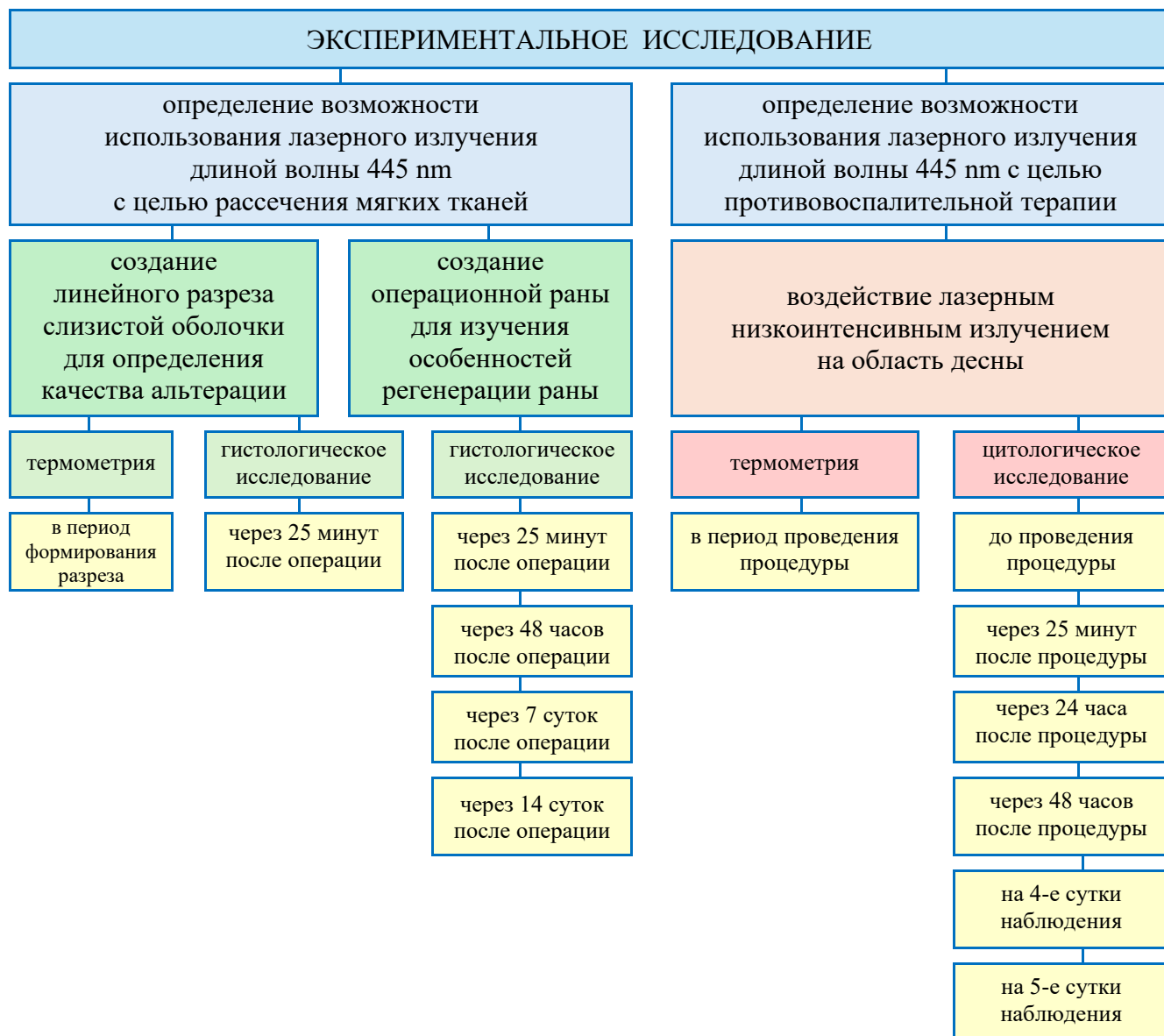


Рисунок 1 – Графическая схема дизайна эксперимента

Также нами определено, что 0,7 W – минимальное значение оптимальной мощности при импульсном режиме (PW) лазерного излучения длиной волны 445 nm, при котором при воздействии на слизистую оболочку полости рта лабораторных животных бесконтактным способом и неиницированным волокном наблюдается явление абляции.

При импульсном режиме (PW) работы лазерного аппарата ALTA BLUE пиковая мощность составляла 13 W. При данной мощности в области слизистой оболочки полости рта лабораторной крысы при выполнении линейного разреза формировалась зона выраженной карбонизации тканей. Данное явление является неприемлемым при препарировании мягких тканей. Для поддержания

постоянного значения мощности – 0,7 W – целесообразным представилось проведение хирургических манипуляций при непрерывном режиме (CW) лазерного излучения.

Особенностью работы лазерного аппарата PICASSO *lite* является отсутствие усиления мощности при импульсном режиме (PW). Таким образом, установленная нами мощность – 0,7 W оставалась постоянной в течение всего периода излучения лазера.

Для изучения биологического ответа слизистой оболочки на воздействие лазерным излучением в режиме абляции у 24 лабораторных животных выполнен линейный разрез слизистой оболочки в области нижней челюсти с вестибулярной стороны. Линейное движение оптического волокна выполняли со скоростью 3 мм/сек, что позволило за 1,5 сек сформировать разрез длиной 5 мм. В I группе (n = 12) линейный разрез оптическим волокном лазерного аппарата ALTA BLUE выполнен бесконтактным способом, что требовало удержания кончика световода в позиции начала линии операционного разреза в течение 2-3 секунд и после формирования точечного дефекта в области эпителия – продолжения линейного движения. Период, при котором лазерное излучение было активировано, но видимого повреждения тканей не происходило, обозначили периодом адаптации. Во II группе (n = 12) линейный разрез оптическим волокном лазерного аппарата PICASSO *lite* выполнен контактным способом.

При формировании линейного разреза была проведена термометрия слизистой оболочки в области операционной раны с применением цифрового термометра ТЦ-1200 производства компании ООО «ИзТех» (Россия). Через 25 мин после окончания хирургической манипуляции выполняли биопсию слизистой оболочки полости рта. Были подготовлены 24 биоптата для проведения гистологического исследования.

При проведении гистологического исследования биоптатов слизистой оболочки полости рта лабораторных животных I группы в 50 % случаев наблюдения в области операционного дефекта очагов заметного коагуляционного некроза не наблюдали. Эпителиальный слой клеток был сохранен. Признаки воспалительной инфильтрации отсутствовали (Рисунки 2А, 2Б).

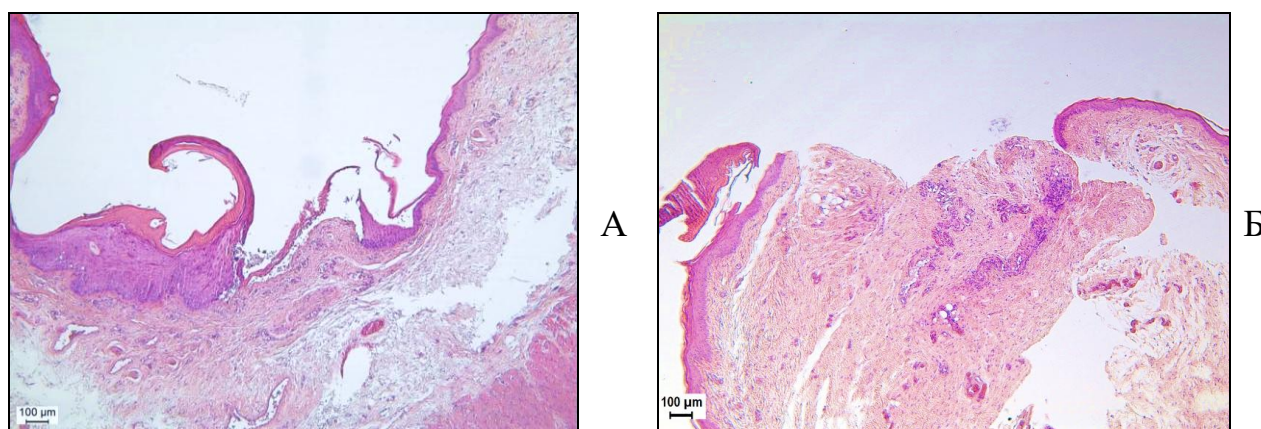


Рисунок 2 – Участок слизистой оболочки полости рта лабораторной крысы, имеющий дефект, созданный лазерным излучением длиной волны 445 nm бесконтактным способом при мощности 0,7 W при непрерывном режиме: А – десквамация эпителия в центре операционного разреза, увеличение x 50; Б – десквамация эпителия в центре операционного разреза, увеличение x 50

При формировании операционного разреза слизистой оболочки полости рта лазерным излучением длиной волны 810 nm в 25 % наблюдения нами обнаружены дефекты большой площади. В области данных дефектов отмечали относительно толстые слои коагуляционного некроза с уплотнением соединительной ткани и разрушением большей части клеточных элементов (Рисунок 3А). На поверхности участка, где эпителий не сохранился, имелись обрывки ткани с полной коагуляцией и без клеток. В более глубоких участках эпителий сохранился, клеточные элементы присутствовали, но в большей их части выявлена деструкция цитоплазмы – плазморексис и деструкция ядер этих клеток – кариорексис. Под участками поражения соединительная ткань находилась в состоянии отека с резким полнокровием сосудов и появлением нейтрофильных лейкоцитов в небольшом количестве.

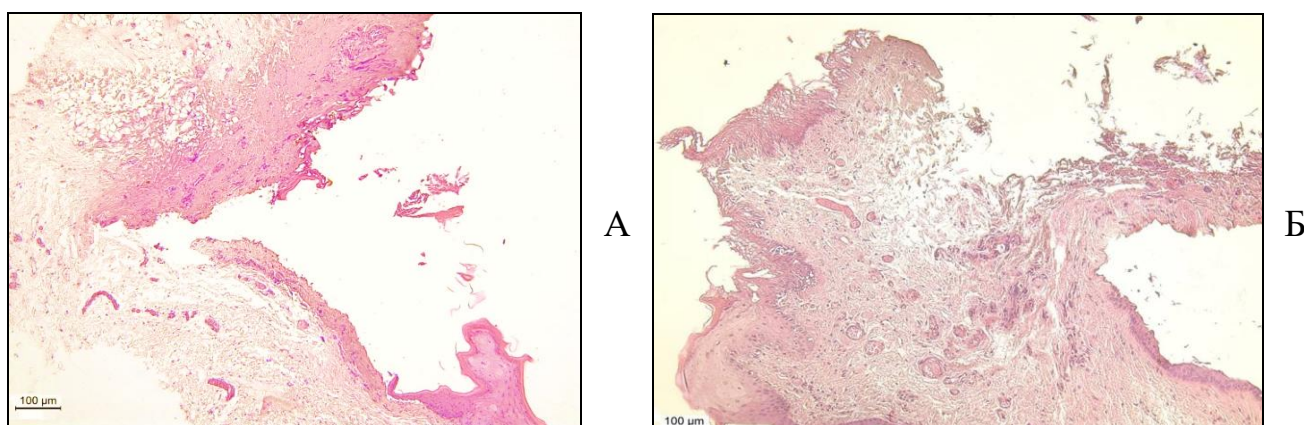


Рисунок 3 – Участок слизистой оболочки полости рта лабораторной крысы, имеющий дефект, созданный лазерным излучением длиной волны 810 nm контактным способом при мощности 0,7 W при импульсном режиме:

- А – зона коагуляционного некроза с уплотнением соединительной ткани, увеличение x 100;
 Б – Зона коагуляционного некроза без эпителия, увеличение x 100

В 75 % случаев наблюдения в биоптатах слизистой оболочки полости рта лабораторных крыс II группы исследования в центре операционного разреза наблюдали зоны коагуляционного некроза без эпителия, имеющие небольшой размер (Рисунок 3Б). По периферии операционного разреза присутствовал более тонкий слой сохранившегося эпителия.

Во всех образцах операционной раны слизистой оболочки полости рта лабораторных животных II группы эпителий подвергался деструкции и некрозу, в толще *Lamina propria* наблюдали воспалительную инфильтрацию, полнокровие сосудов и отек соединительной ткани.

Применение лазерного излучения длиной волны 445 nm при формировании линейного разреза слизистой оболочки полости рта лабораторных животных (крыс) имеет преимущества при сравнении с лазерным излучением длиной волны инфракрасного диапазона (810 nm): в меньшей степени выражен коагуляционный некроз, зона десквамации эпителия представлена малой площадью, отсутствуют признаки разрушения клеточных элементов.

Распределение значений температурных показателей в зависимости от способа воздействия и длины волны лазерного излучения явилось ненормальным (значимость критерия Shapiro-Wilk:

$p < 0,005$) (Таблица 1). Сравнительный анализ для ненормально распределенных количественных признаков выполнен с помощью критерия Kruskal-Wallis с последующим попарным сравнением групп.

Таблица 1 – Распределение значений температурных показателей в зависимости от способа воздействия и длины волны лазерного излучения

Показатель	Температура ($t^{\circ}C$)	
	Mean \pm SD	Медиана и размах [25 %; 75 %]
445 nm (период адаптации), n = 84	36,4 \pm 5,2	36,0 [32,0; 40,2]
445 nm (стадия альтерации), n = 48	52,4 \pm 4,2	53,0 [48,8; 56,0]
810 nm, n = 48	63,6 \pm 7,4	63,0 [59,0; 69,0]
Значимость, p	<0,001	
Распределение	Ненормальное	

При воздействии лазерным излучением длиной волны 445 nm рассеечение эпителиального слоя клеток слизистой оболочки полости рта начинало происходить при температуре 47,08 \pm 0,996 $^{\circ}C$, что достоверно ($p < 0,001$) ниже аналогичного показателя, полученного нами при использовании лазерного излучения длиной волны 810 nm (56,33 \pm 4,21 $^{\circ}C$).

При попарном сравнении показателей 3 групп анализа (U-критерий Mann-Whitney, поправка на множественные сравнения по Holm) данные значимо различались между собой ($p < 0,001$). Максимальный показатель температуры выявлен при воздействии лазерным излучением длиной волны 810 nm контактным способом и иницированным волокном. Минимальный показатель определен нами при воздействии лазерным излучением длиной волны 445 nm в период адаптации.

Изучение особенностей репаративной регенерации раны слизистой оболочки полости рта, созданной при воздействии лазерным излучением длиной волны 445 nm, проведено у 48 особей при операции френулопластики нижней губы по методу Irving Glickman (Рисунок 4).

Для изучения гистологической картины послеоперационной раны каждого временного периода нами использовано по 12 лабораторных особей. Для гистологического исследования всего подготовлено 48 образцов тканей (12 x 4 временных периода).

Первый забор биоптата слизистой оболочки полости рта в области послеоперационной раны для гистологического исследования был выполнен через 25 минут после проведения хирургической манипуляции у 12 случайным образом выбранных особей. Затем биопсия была проведена через 48 часов после операции (в начале третьих суток), а также на 7-е и 14-е сутки послеоперационного периода. После забора биоптатов лабораторных крыс выводили из эксперимента.

Через 25 минут после окончания хирургического вмешательства при проведении гистологического исследования биоптатов слизистой оболочки полости рта лабораторных крыс во всех случаях наблюдения выявлена относительно большая зона коагуляционного некроза.

На 3-и сутки послеоперационного периода в большинстве образцов (83,33 %) встречались крупные участки некроза соединительной и мышечной тканей, вокруг которых выявлено нарушение

нормальной гистоархитектоники коллагеновых волокон: их расположение было неупорядоченным и разнонаправленным в комбинации с очагами конденсации и разрыхлений, что отчетливо прослеживалось при окрашивании пикросириусом красным при светопольной и поляризационной микроскопиях; при фазово-контрастной микроскопии определялась их деструкция.

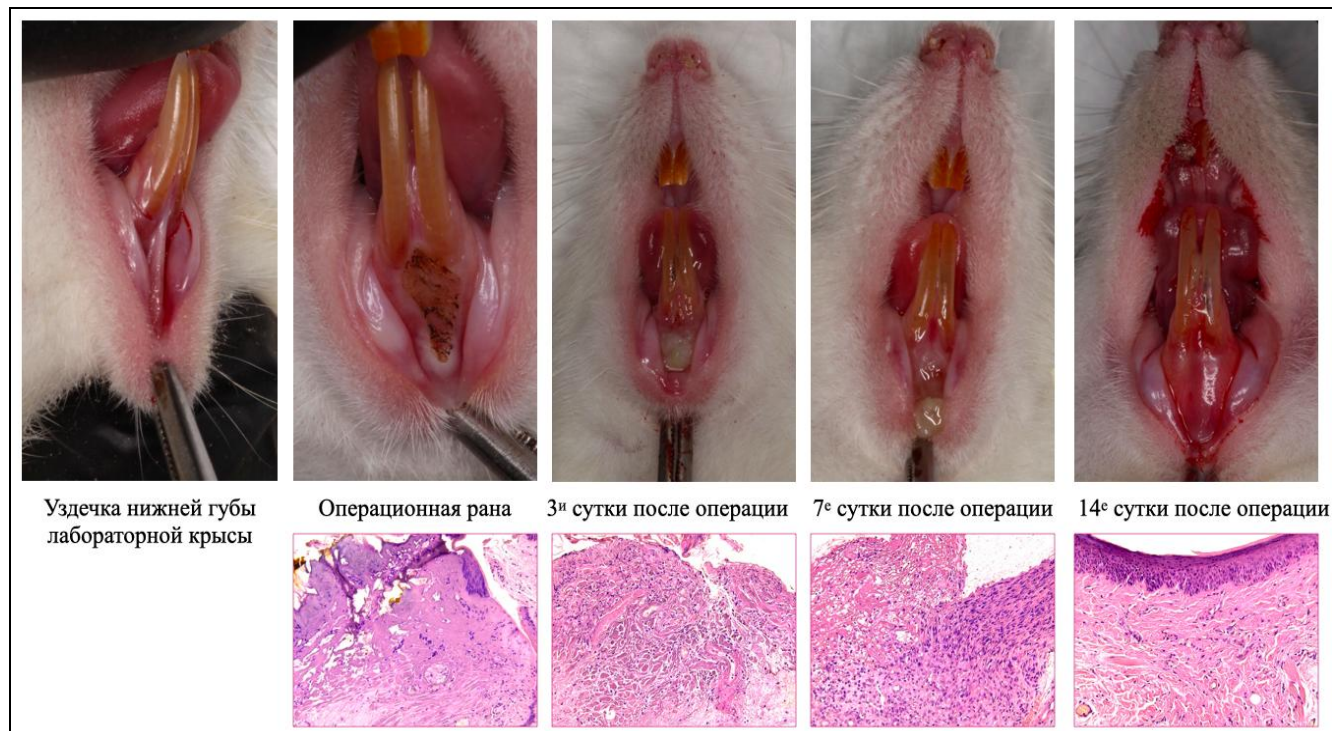


Рисунок 4 – Динамика репаративных процессов в слизистой оболочке полости рта лабораторного животного (крысы) при формировании операционной раны лазерным излучением длиной волны 445 nm. Стандартная световая микроскопия. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение x200

При гистологическом анализе на 7-е сутки послеоперационного периода в 11 (91,67 %) лабораторных образцах отмечали признаки активного процесса регенерации раны. В отдельных случаях область коагуляционного некроза была частично организована соединительной тканью. Некротические массы значительно уменьшились в объеме; отмечено их прорастание тяжами клеток фибробластов и макрофагов, а также новообразованными волокнами коллагена. При этом данные массы подвергались активному фагоцитозу макрофагами, но без формирования гигантских многоядерных клеток. При фазово-контрастной микроскопии четко определялась разница в рисунке некротических масс и коллагеновых волокон

На 14-е сутки послеоперационного периода во всех гистологических образцах некротические массы отсутствовали полностью. В области ранее выявленных участков некроза сформирована фиброзно-рубцовая ткань, состоящая из пучков коллагеновых волокон, клеток фибробластов, и богатая увеличенным количеством кровеносных сосудов.

Полученные результаты гистологического анализа демонстрировали коагуляционный тип некроза в зоне абляции тканей и отсутствие выраженности II стадии воспалительной реакции

– фазы экссудации, что определяло тенденцию к уменьшению длительности периода эпителизации и сокращению общих сроков репаративной регенерации раны слизистой оболочки полости рта.

Данные факты могут быть интерпретированы как позитивные признаки высокого потенциала восстановления тканей, препарированных лазерным излучением, так и признаки, указывающие на снижение риска возникновения кровотечения и инфекционных воспалительных осложнений в ранний и поздний послеоперационные периоды.

В период эксперимента лабораторные животные были активны; признаков инфекционного воспаления в области послеоперационной раны полости рта выявлено не было.

Для объективизации результатов гистологического исследования проведен полуколичественный анализ состояния биоптатов – скоринг, при котором учитывали значения критериев оценки признаков воспаления (некроз, экссудация, воспалительная инфильтрация, нарушение микроциркуляции) и признаков регенерации послеоперационной раны (эпителизация, неоангиогенез, распространенность и зрелость грануляционной ткани и фиброз).

Статистическая обработка полученных результатов проведена с помощью языка программирования R v4.3. Для количественных показателей определены среднее значение, стандартное отклонение, медиана, межквартильный интервал, минимальное и максимальное значения; характер распределения установлен с помощью теста Shapiro-Wilk.

Динамика воспалительной реакции в области операционной раны слизистой оболочки полости рта лабораторных животных (крыс), созданной воздействием лазерным излучением длиной волны 445 nm в режиме абляции, через 25 минут после операции и на 3-и, 7-е и 14-е сутки послеоперационного периода представлена на Рисунке 5.

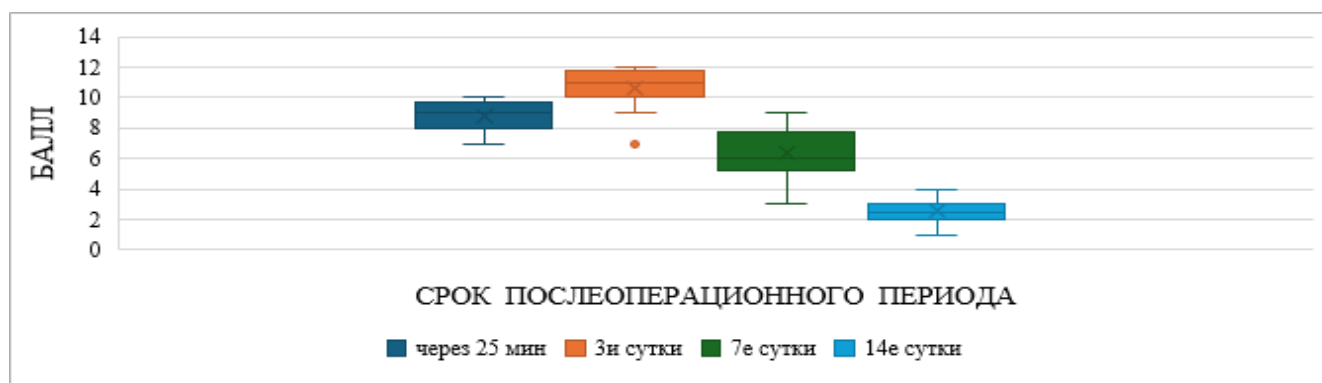


Рисунок 5 – Выраженность симптомов воспалительной реакции в области операционной раны, созданной воздействием лазерного излучения длиной волны 445 nm, через 25 минут после операции и на 3-и, 7-е и 14-е сутки послеоперационного периода

Динамика репаративной регенерации операционной раны слизистой оболочки полости рта лабораторных животных (крыс), созданной воздействием лазерным излучением длиной волны 445 nm, через 25 минут после операции и на 3-и, 7-е и 14-е сутки послеоперационного периода представлена на Рисунке 6.

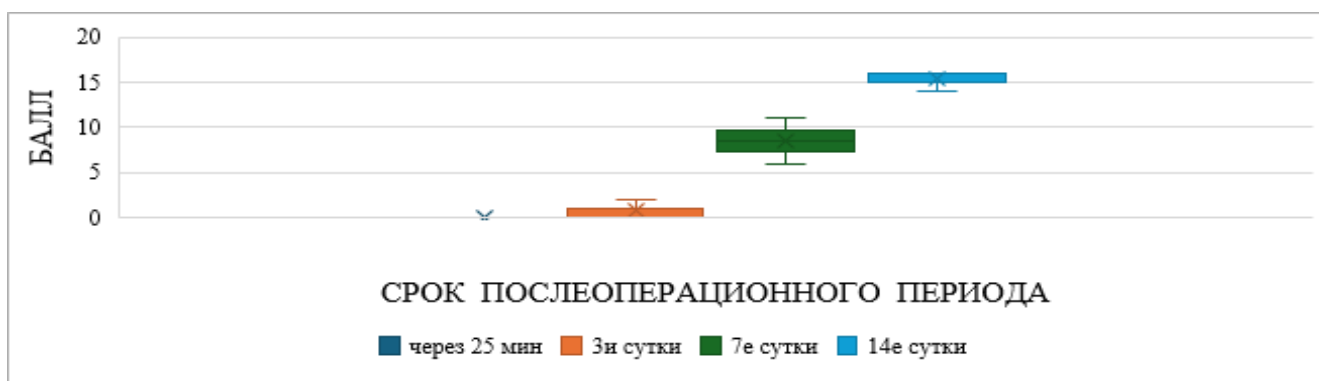


Рисунок 6 – Выраженность признаков репаративной регенерации операционной раны, созданной воздействием лазерного излучения длиной волны 445 nm, через 25 минут после операции и на 3-и, 7-е и 14-е сутки послеоперационного периода

Уже на 7-е сутки после операции показатели репаративной регенерации тканей преобладали над процессом воспалительной реакции ($p < 0,05$).

Для разработки методики выполнения медицинской процедуры А22.07.008: воздействие лазерным низкоинтенсивным излучением на область десны с применением лазерного излучения длиной волны 445 nm проведена термометрия контактным способом с применением цифрового термометра ТЦ-1200 производства компании ООО «ИзТех» (Россия).

В данном экспериментальном исследовании объектом изучения послужили 32 лабораторные крысы. У всех животных до проведения процедуры воздействия низкоинтенсивным лазерным излучением (НИЛИ) проведено измерение температуры слизистой оболочки полости рта в области резцов нижней челюсти с вестибулярной стороны. Среднее значение показателей температуры в области прикрепленной кератинизированной десны у здоровых лабораторных животных (крыс), не имеющих заболеваний тканей пародонта, составило $29,31 \pm 0,203^\circ\text{C}$.

Процедуру воздействия лазерным излучением выполняли в области десны зубов нижней челюсти лабораторных крыс при мощности лазерного излучения 0,5 W бесконтактным способом динамической методикой в виде спиралеобразных движений при непрерывном режиме и неиницированным волокном в течение 5 мин. В I группе сравнения ($n = 16$) расстояние от кончика световода до поверхности десны составляло 2,5-3 мм. Во II группе сравнения ($n = 16$) расстояние от кончика световода до поверхности десны составляло 4,5-5 мм. От воздействия синим светом глаза лабораторных крыс защищали стерильной салфеткой. Выбранная нами область воздействия лазерным излучением у лабораторных животных (крыс) соответствует папиллярной и маргинальной десне зубов 3.3–3.2–3.1–4.1–4.2–4.3 с вестибулярной стороны у человека. Данная область нередко подвергается воспалительному процессу – развитию гингивита и пародонтита, комплексное лечение которых включает лазеротерапию.

У первых 3 лабораторных крыс температурные показатели при выполнении процедуры воздействия НИЛИ на область десны при дистанции в 2,5-3 мм оказались крайне высокими и включали пороговые значения: при этом даже нижние границы 95% доверительного интервала

для средней и медианы превышали безопасный порог 42°C (Niemz M.H., 2007). Констатация данного факта послужила решением о прекращении проведения экспериментального исследования с данными условиями. При осмотре десны зубов нижней челюсти 3 лабораторных крыс в области воздействия НИЛИ при оптическом трехкратном увеличении признаков развития острого воспалительного процесса на фоне возможного термического повреждения тканей не выявлено.

Среднее значение t° в области воздействия НИЛИ при соблюдении расстояния от кончика световода до поверхности десны в 4,5-5 мм составило $37,54 \pm 1,717$ (медиана – 37,20 [37,1; 37,3]), что повышало t° тканей десны у лабораторных животных в среднем на $8,37 \pm 0,296^{\circ}\text{C}$ ($p=0,0001$).

При данной методике пороговый температурный показатель безопасности процедуры НИЛТ (42°C) не превышен, что позволило планировать клинические исследования и рекомендовать процедуру НИЛТ с динамической методикой и соблюдением дистанции от кончика оптического волокна до поверхности десны в 4,5-5 мм для применения в стоматологической практике.

Нами проведено изучение влияния лазерного излучения длиной волны 445 nm на форменные элементы крови – клетки эритроциты – для выявления феномена деформируемости эритроцитов.

В данном экспериментальном исследовании объектом изучения послужили 24 лабораторные крысы массой от 170 до 200 граммов. Первый забор венозной крови проводили до процедуры воздействия НИЛИ из боковой вены хвоста животных с помощью иглы и шприца. Каплю крови переносили на стерильное лабораторное стекло и распределяли по всей его гладкой поверхности.

Изучение влияния лазерного излучения длиной волны 445 nm на эритроциты проведено при выполнении медицинской процедуры – А22.07.008: воздействие лазерным низкоинтенсивным излучением на область десны. Воздействие НИЛИ выполняли в области десны зубов нижней челюсти лабораторных крыс неиницированным волокном при мощности лазерного излучения 0,5 W бесконтактным способом динамической методикой в виде спиралеобразных движений при непрерывном режиме (CW) в течение 5 минут с соблюдением расстояния от кончика световода до поверхности десны в 4,5-5 мм. Курс воздействия НИЛИ на область десны составил 3 сеанса по 5 минут с интервалом в 24 ч. Забор крови из боковой вены хвоста лабораторных животных выполняли ежедневно через 25 минут после окончания процедуры. Дополнительно забор крови осуществляли на 4-е и 5-е сутки исследования. После этого животных выводили из эксперимента. Всего выполнено 144 забора крови, и для проведения цитологического исследования подготовлено 144 лабораторных стекла с препаратами венозной крови лабораторных животных.

До проведения процедуры НИЛИ эритроциты деформируемых форм составили $10,84 \pm 0,21$ % (M+SD) от общего количества красных клеток крови крыс линии WISTAR. На Рисунке 7 представлены результаты сравнительного исследования объема деформируемых форм эритроцитов в динамике до и после проведения процедур НИЛИ. При анализе результатов выявлены статистически значимые изменения объема деформируемых форм эритроцитов в течение периода наблюдения ($\chi^2(5)=1198,8, p<0,001$).

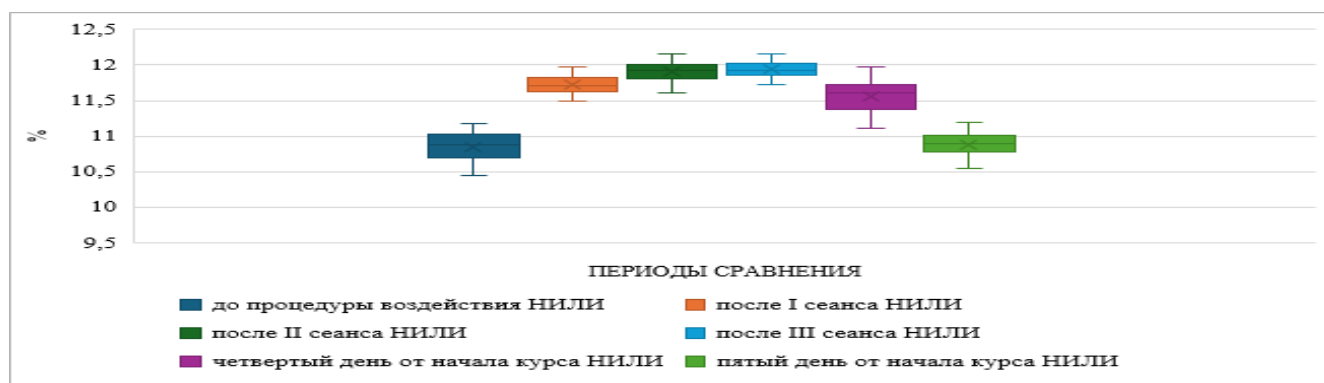


Рисунок 7 – Объем деформируемых форм эритроцитов крыс линии Wistar до проведения процедуры НИЛИ, после I, II и III сеансов НИЛИ, а также на 4-е и 5-е сутки наблюдения после начала проведения курса процедур НИЛИ (%)

После I сеанса НИЛИ отмечено увеличение объема деформируемых форм эритроцитов в среднем на 0,89 % [95 % ДИ: 0,77; 1,01] ($p < 0,001$).

После II сеанса наблюдали дальнейшее увеличение объема в среднем на 0,19 % [95 % ДИ: 0,07; 0,31] ($p < 0,001$). Увеличение объема деформируемых форм эритроцитов на данном этапе исследования по сравнению с начальным периодом составило 1,08 % [95 % ДИ: 0,96; 1,2] ($p < 0,001$). После II сеанса НИЛИ статистически значимого изменения объема по сравнению с предыдущим периодом установлено не было ($p = 0,647$), но по сравнению с начальным периодом объем оставался статистически значимо большим ($p < 0,001$): разница между средними значениями составила 1,1 % [95 % ДИ: 0,98; 1,22].

На 4-е сутки после начала курса НИЛИ объем деформируемых форм эритроцитов был статистически значимо ($p < 0,001$) больше при сравнении с начальным периодом в среднем на 0,72 % [95 % ДИ: 0,6; 0,84]. При сравнении с предыдущим периодом отмечалось уменьшение среднего объема деформируемых форм эритроцитов на 0,38 % [95 % ДИ: 0,26; 0,5] ($p < 0,001$).

На 5-е сутки после начала курса НИЛИ отмечено дальнейшее снижение объема деформируемых форм эритроцитов ($p < 0,001$): среднее уменьшение при сравнении с 4-ми сутками от начала курса эксперимента составило 0,68 % [95 % ДИ: 0,56; 0,79].

Эритроциты обладают высокой способностью к деформируемости (Байбеков И.М. и др., 2008). В зависимости от диаметра капилляров и направления градиента давления в кровотоке эритроциты могут деформироваться в осесимметричные парашюто-образные (куполообразные) или асимметричные башмакообразные формы во время циркуляции. Указанные формы позволяют эритроцитам более активно перемещаться в узких капиллярах и осуществлять трансфер кислорода в системе периферического кровообращения. В папиллярной десне располагаются узкие капилляры диаметром 7-10 мкм, что является анатомической особенностью кровоснабжения тканей пародонта.

Дополнительно нами проведен подсчет куполообразно измененных форм эритроцитов (Рисунок 8). Воздействие лазерным излучением длиной волны 445 nm вызывало достоверное повышение

числа куполообразно деформируемых эритроцитов крови лабораторных крыс линии WISTAR ($p < 0,001$). Каждая процедура НИЛИ поддерживала высокий количественный показатель куполообразно измененных форм эритроцитов в крови лабораторных животных. При попарном сравнении показателей 7 групп анализа (Paired Samples T-Test) не все данные значительно различались между собой (Таблица 2).

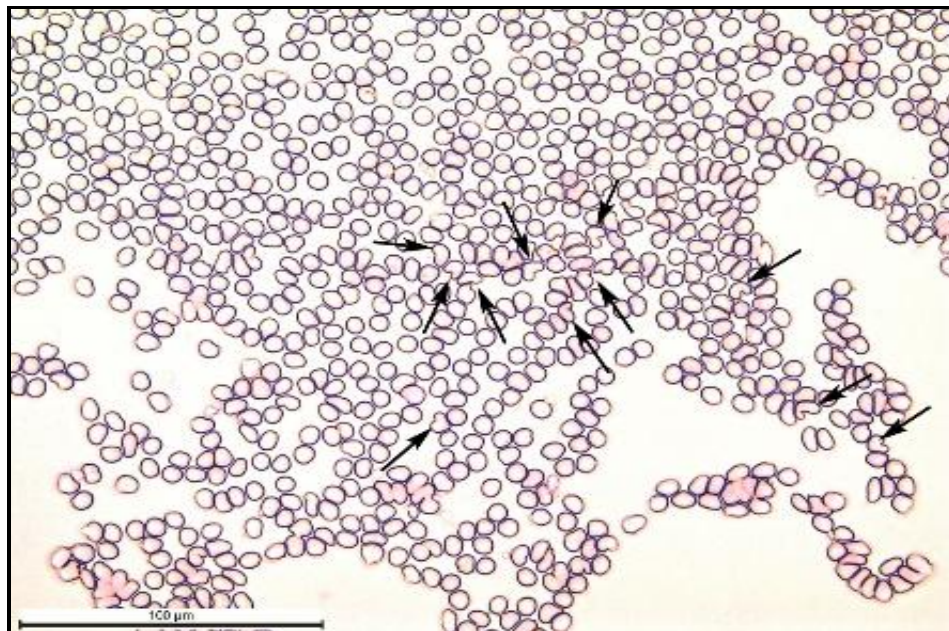


Рисунок 8 – Куполообразно измененные формы эритроцитов в мазке крови лабораторной крысы линии WISTAR при воздействии лазерным излучением длиной волны 445 nm (куполообразно измененные эритроциты обозначены стрелками). Увеличение: x400

Таблица 2 – Paired Samples T-Test (Student's *t*-test). Сравнительная оценка количественных показателей куполообразных форм эритроцитов в периферической крови лабораторных крыс при воздействии лазерным излучением длиной волны 445 nm до и после проведения I, II и III сеансов процедуры НИЛИ, а также на 4-е и 5-е сутки наблюдения после начала проведения курса процедур НИЛИ

Группы сравнения		statistic	D f	<i>p</i>
После I сеанса НИЛИ	До процедуры НИЛИ	7,93	23,0	<0,001
После II сеанса НИЛИ	После I сеанса НИЛИ	0,366	23,0	0,717
После III сеанса НИЛИ	После II сеанса НИЛИ	0,0549	23,0	0,957
После III сеанса НИЛИ	После I сеанса НИЛИ	0,611	23,0	0,547
4-е сутки от начала курса НИЛИ	До процедуры НИЛИ	5,44	23,0	<0,001
5-е сутки от начала курса НИЛИ	До процедуры НИЛИ	2,44	23,0	0,023
5-е сутки от начала курса НИЛИ	4-е сутки от начала курса НИЛИ	-6,37	23,0	<0,001

Проведенное экспериментальное исследование позволило подтвердить факты об уникальности свойств лазерного излучения длиной волны 445 nm, что обусловило начало выполнения клинического исследования.

Клиническое исследование

Клиническое исследование предполагало внедрение технологии лазерного излучения длиной волны 445 nm в амбулаторную стоматологическую практику и было реализовано в период с февраля 2023 года по май 2025 года.

Комплексное медицинское обследование и стоматологическое лечение пациентов с применением технологии лазерного излучения длиной волны 445 nm проведено на кафедре хирургической стоматологии Института стоматологии имени Е.В. Боровского ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) и в стоматологической клинике Бостонского института эстетической медицины в г. Москве.

Проведение медицинских манипуляций было одобрено Локальным Этическим Комитетом ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России: Протоколы ЛЭК № 03-23 от 16 февраля 2023 года и № 02-24 от 29 января 2024 года.

Комплексное стоматологическое обследование проведено у 300 пациентов в возрасте от 18 до 92 лет, имеющих основные стоматологические заболевания и нуждающихся в плановой и неотложной медицинской помощи в амбулаторных условиях. Средний возраст пациентов составил $39,33 \pm 15,3$ лет [медиана – 37,5; 27,0, 48,0]. 66 % наблюдений составили женщины (n=198). Большую часть участников клинического исследования – 47,33% – составили пациенты возрастной группы В: 25-44 года. Общая характеристика пациентов по полу и нозологическим формам представлена в Таблице 3.

Таблица 3 – Общая характеристика пациентов по полу и нозологическим формам

Клинический Диагноз	Шифр по МКБ-10	Пол и количество пациентов				Количество пациентов			
		Мужской		Женский		n		%	
		n	%	n	%				
Воспалительно-деструктивные заболевания тканей пародонта									
Хронический гингивит	K05.1	11	3,67	9	3	20	6,67		
Хронический пародонтит	K05.3	10	3,33	14	4,67	24	8		
Рецессия десны	K06.0	9	3	27	9	36	12		
Частичное отсутствие зубов									
Потеря зубов вследствие несчастного случая, удаления или локализованного пародонтита	K08.1	10	3,33	14	4,67	24	8		
Воспалительно-деструктивные заболевания в области имплантатов зубов									
Мукозит	K05.5	1	0,33	2	0,67	3	1		
Периимплантит	K10.2	2	0,67	1	0,33	3	1		
Воспалительные заболевания челюстно-лицевой области									
Корневая киста	K04.8	1	0,33	2	0,67	3	1		
Верхнечелюстной синусит	J32.0	10	3,33	14	4,67	24	8		
Вирусные заболевания челюстно-лицевой области									
Герпетический гингивостоматит	B00.2	6	2	18	6	24	8		

Продолжение Таблицы 3

Врожденные и приобретенные аномалии развития мягких тканей полости рта							
Мелкий свод преддверия полости рта	Q38.6	16	5,33	44	14,67	60	20
Аберрантная уздечка губы	Q38.0	4	1,33	8	2,67	12	4
Анкилоглоссия	Q38.1	9	3	21	7	30	10
Доброкачественные новообразования и сосудистые мальформации							
Папиллома полости рта	D10.3	1	0,33	3	1	4	1,33
Фиброма полости рта	D10.3	2	0,67	2	0,67	4	1,33
Сосудистые мальформации	D18.0	2	0,67	4	1,33	6	2
Заболевания слюнных желез							
Мукоцеле слюнной железы	K11.6	1	0,33	2	0,67	3	1
Здоровые добровольцы с интактным пародонтом							
Полость рта санирована	Z01.2	10	3,33	10	3,33	20	6,67
Общее количество пациентов						300	100

Методологическое и клиническое обоснование эффективности применения лазерной технологии длиной волны 445 nm при реабилитации пациентов с заболеваниями полости рта продемонстрировано при 10 видах стоматологических вмешательств (Таблица 4).

Таблица 4 – Виды лечебных манипуляций, выполненных с применением лазерных технологий

Лечебная манипуляция	Код процедуры	Пол и количество пациентов				Количество манипуляций
		Мужской		Женский		
		n	%	n	%	n
Лазерная физиотерапия челюстно-лицевой области	A22.07.003	14	31,11	31	68,89	129
Воздействие низкоинтенсивным лазерным излучением на область десны	A22.07.008	21	52,50	19	47,50	40
Вестибулопластика	A16.07.045	16	26,67	44	73,33	60
Коагуляция кровотокающего сосуда лазерная	A22.30.033.002	12	25,00	36	75,00	48
Открытый кюретаж пародонтальных карманов	A16.07.038	5	41,67	7	58,33	12
Френулопластика языка	A16.07.044	9	30,00	21	70,00	30
Френулопластика верхней губы	A16.07.042	4	33,33	8	66,67	12
Пластика ороантрального соустья	A16.07.096	6	50,00	6	50,00	12
Лазерная хирургия при новообразованиях мягких тканей	A22.30.013	5	35,71	9	64,29	14
Вылущивание ретенционной кисты малой слюнной железы	A16.07.067	1	33,33	2	66,67	3
Общее количество лечебных манипуляций – 360						

С применением лазерных технологий выполнено 360 врачебных манипуляций 264 пациентам. Контрольные группы составили 36 пациентов: сравнение эффективности применения лазерных

технологий с традиционными способами выполнения хирургических вмешательств (с помощью скальпеля) проведено при выполнении операций: открытый кюретаж пародонтальных карманов, пластика ороантрального соустья и внутрикостная дентальная имплантация.

Большая часть стоматологических вмешательств была представлена хирургическими манипуляциями: в режиме абляции в качестве инструмента альтерации лазерное излучение длиной волны 445 nm применено в 137 клинических случаях (из 264) (51,89%), в качестве метода коагуляции сосудов и гемостаза – в 54 (20,46%), в качестве источника энергии для лазеротерапии и фотобиомодуляции тканей челюстно-лицевой области – в 73 клинических случаях (27,65%).

Применение лазерного излучения длиной волны 445 nm в качестве инструмента альтерации

Оценка эффективности применения лазерного излучения длиной волны 445 nm в режиме абляции проведена при реабилитации пациентов с Диагнозом: K05.30 Хронический пародонтит при выполнении хирургического метода лечения – операции открытого кюретажа пародонтальных карманов (Код процедуры: A16.07.038).

I (контрольную) группу составили пациенты, иссечение грануляций и дезэпителизация вестибулярной стенки пародонтального кармана которым была выполнена с применением лезвия N15с; II группу исследования составили клинические случаи, при которых иссечение грануляций и дезэпителизация вестибулярной стенки пародонтального кармана были выполнены с применением лазерного излучения длиной волны 445 nm в режиме абляции.

В исследование были включены 24 пациента (14 женщин (58,3 %) и 10 мужчин (41,7 %) в возрасте от 31 до 45 лет. Средний возраст участников исследования составил $36,5 \pm 4,1$ лет (медиана – 36 (32,8; 40)). Пациенты были распределены в 2 равные группы исследования. Объем выборки был определен с использованием формул Sample size. Статистически значимых отличий между группами в отношении возраста ($p=0,591$) и гендерного состава ($p>0,999$) выявлено не было.

Профессиональная гигиена полости рта пациентам была проведена в период 3-5 суток до планового хирургического вмешательства. За 1 месяц до операции с целью коррекции окклюзии были устранены преждевременные контакты зубов-антагонистов. В день операции у каждого пациента в области предстоящего хирургического вмешательства оценивали 3 клинических признака воспалительно-деструктивного процесса в области тканей пародонта – индекс кровоточивости десны, пародонтальный индекс PI и цвет слизистой оболочки папиллярной и маргинальной десны с вестибулярной стороны зубов. Повторно значения данных индексов определяли через 3 месяца после операции.

Статистический анализ и визуализация полученных данных проведены с использованием среды для статистических вычислений R 4.5.0 (R Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия). Для сравнения 2 групп в отношении порядковых показателей с числом уровней 3 и более использован перестановочный χ^2 Pearson's test. Для сравнения групп в отношении количественных и порядковых переменных с числом уровней 4 и более использован перестановочный ранговый Brunner Munzel test.

Для сравнения групп в отношении динамики порядковых показателей использованы смешанные модели пропорциональных шансов с включением термина взаимодействия между индикаторами группы и периодов наблюдения. Для анализа связанных порядковых показателей использован Friedman test (в качестве метода для попарных post hoc сравнений применен Conover test). При проведении множественных попарных post hoc сравнений для контроля инфляции частоты ошибок I рода применена процедура Benjamini-Hochberg. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Факт кровоточивости десны при зондировании у пациентов 2 группы сравнения до операции был зафиксирован в 100 % случаев наблюдения. Среднее значение индекса составило $2,2 \pm 0,4$ ($p > 0,999$), что подтверждало сопоставимость клинических ситуаций для сравнительного анализа.

Среднее значение пародонтального индекса PI у пациентов в каждой группе исследования составило $6,3 \pm 0,5$ ($p > 0,999$), что также подтверждало сопоставимость клинических ситуаций для сравнительного анализа. Согласно критериям оценки пародонтального индекса PI по A. Russel (1956), значение $6,3 \pm 0,5$ соответствует третьей стадии воспалительно-деструктивного процесса.

В 50 % случаев наблюдения в области предстоящего хирургического вмешательства выявлен цианоз слизистой оболочки маргинальной десны с вестибулярной стороны. Среднее значение показателя цвета – 3 ± 1 ($p > 0,999$) (Рисунок 11). Ход хирургического вмешательства – открытый кюретаж пародонтального кармана – представлен на Рисунках 12, 13, 14.



Рисунок 11 – Клиническая ситуация: цианоз слизистой оболочки маргинальной десны зубов 1.4 – 1.3 с вестибулярной стороны до операции



Рисунок 12 – Клиническая ситуация: визуализация грануляций при операции открытого кюретажа пародонтального кармана в области зубов 1.4 – 1.3

В послеоперационный период критериями оценки для сравнения были болевые ощущения у пациента, а также выраженность отека и цвет слизистой оболочки папиллярной и маргинальной десны в области хирургического вмешательства. Стоматологический статус пациентов определяли

через 24 ч, 48 ч, 72 ч, а также на 5-е, 7-е и 14-е сутки после операции. Для анализа выраженности болевых ощущений у пациентов в послеоперационной области были представлены 24 Дневника боли.



Рисунок 13 – Клиническая ситуация: введение пористого гидроксиапатита ксеногенного происхождения в костный дефект в области зубов 1.4 – 1.3



Рисунок 14 – Клиническая ситуация: изоляция пористого гидроксиапатита барьерной мембраной из натурального коллагена ксеногенного происхождения

При сравнительном анализе установлены статистически значимые отличия между 2 группами исследования в отношении динамики выраженности боли ($p < 0,001$). В послеоперационный период у пациентов II группы отмечена статистически значимо меньшая выраженность болевого синдрома через 24 ч ($p = 0,001$), через 48 ч ($p < 0,001$) и через 72 ч ($p < 0,001$) по сравнению с данными показателями I (контрольной) группы (Рисунок 15).

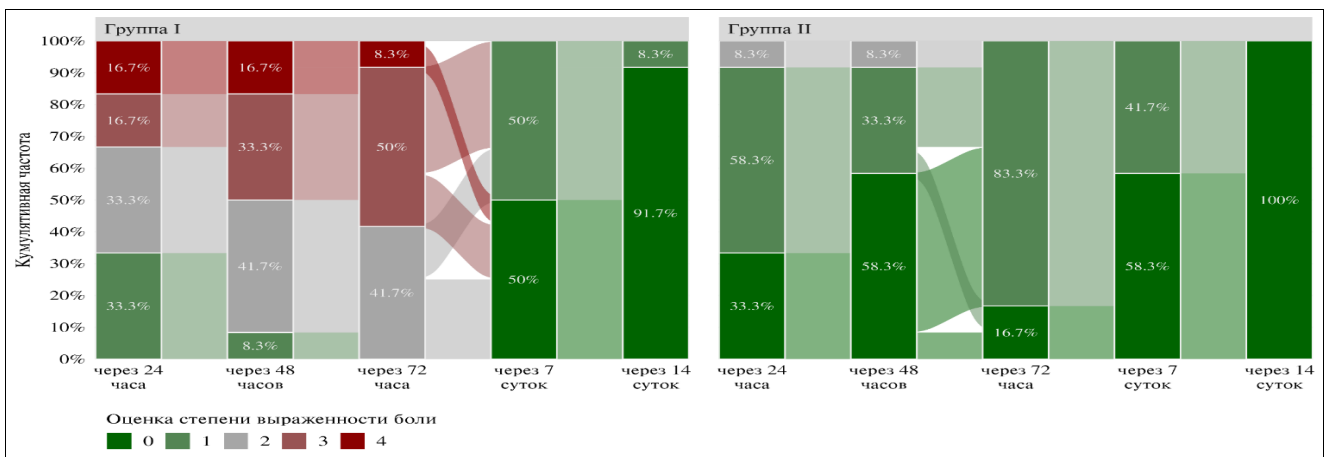


Рисунок 15 – Результаты сравнительного анализа показателей выраженности боли в области послеоперационной раны у пациентов 2 групп исследования

При сравнительном анализе динамики выраженности отека были выявлены статистически значимые отличия между группами ($p = 0,004$). У пациентов II группы исследования отмечали достоверно меньшей выраженностью отека через 24 ч ($p = 0,054$) и 72 ч после операции ($p = 0,014$) (Рисунок 16).

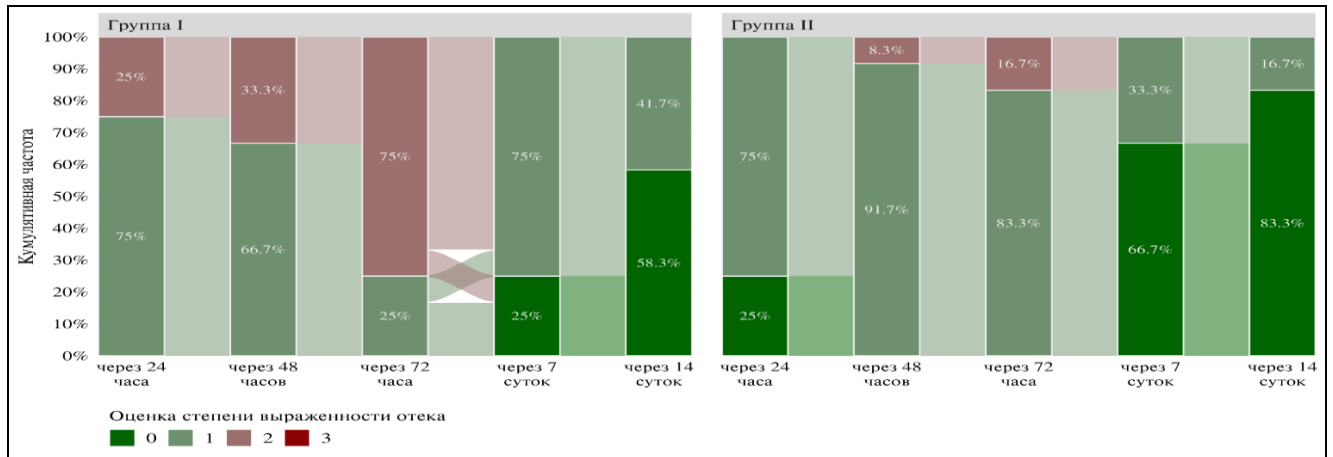


Рисунок 16 – Сравнительная оценка выраженности отека слизистой оболочки в области послеоперационной раны у пациентов 2 групп исследования

Статистически значимых отличий между группами в отношении динамики показателей цвета слизистой оболочки в области послеоперационной раны не выявлено ($p=0,367$) (Рисунок 17). Также не выявлено статистически значимых отличий между группами в отношении показателей цвета слизистой оболочки на всех сроках наблюдения послеоперационного периода. Высокий показатель цвета слизистой оболочки папиллярной и маргинальной десны с вестибулярной стороны зубов ($M\pm SD: 3\pm 1$) обусловлен выявлением признаков нарушения микроциркуляции в области очага хронического воспалительного процесса в виде замедления венозного оттока.

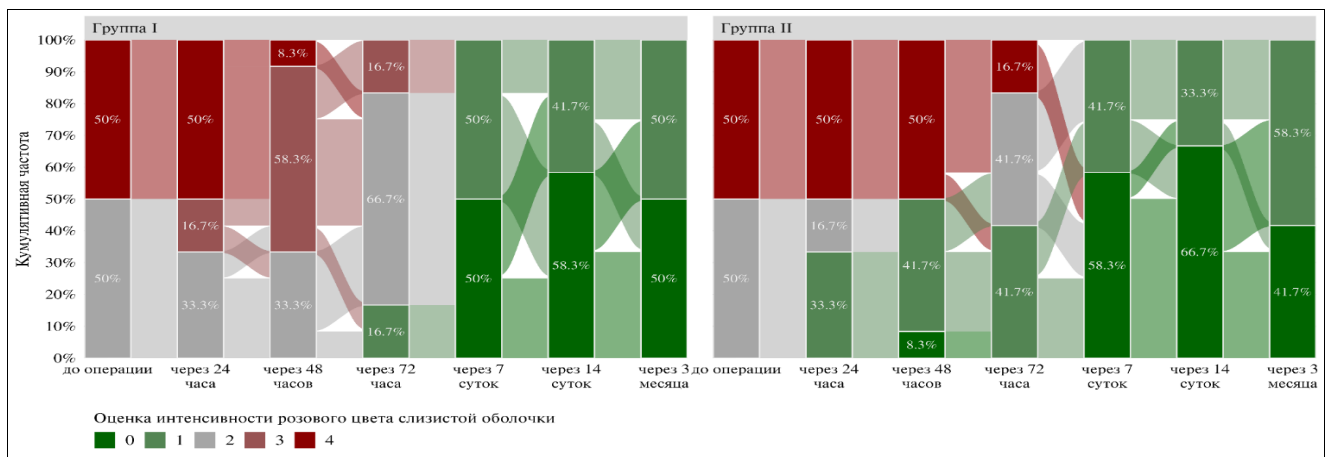


Рисунок 17 – Результаты сравнительного анализа показателей цвета слизистой оболочки папиллярной и маргинальной десны с вестибулярной стороны зубов у пациентов 2 групп исследования

В послеоперационный период в 2 группах исследования отмечено статистически значимое снижение показателя цвета ($p<0,001$): выявлены признаки исчезновения цианоза. В контрольной группе установлено статистически значимое снижение показателя цвета через 72 ч после операции по сравнению со значениями до операции ($p<0,001$), через 24 ч ($p<0,001$) и 48 ч ($p=0,005$) после операции.

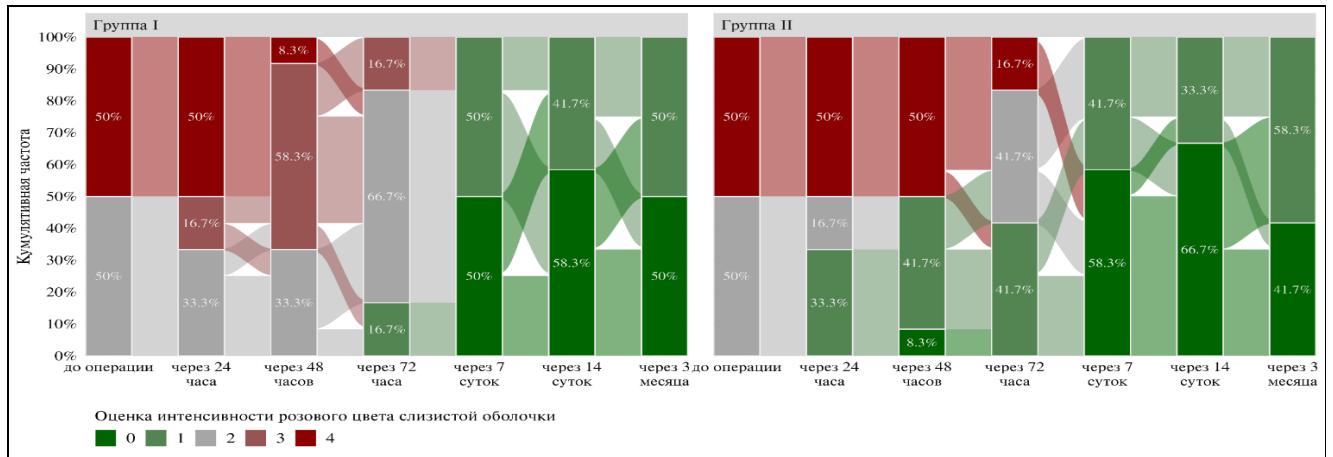


Рисунок 17 – Результаты сравнительного анализа показателей цвета слизистой оболочки папиллярной и маргинальной десны с вестибулярной стороны зубов у пациентов 2 групп исследования

На 7-е и 14-е сутки послеоперационного периода выявлены статистически значимые изменения показателя цвета по сравнению со значениями через 72 ч ($p < 0,001$) после операции. Во II группе исследования отмечено статистически значимое уменьшение показателя цвета слизистой оболочки через 24 ч ($p = 0,044$), 48 ч ($p < 0,001$) и через 72 ч ($p < 0,001$) по сравнению со значениями до операции. Через 7 и 14 суток отмечены статистически значимые изменения цвета слизистой оболочки по сравнению со значениями, установленными через 72 ч после операции ($p < 0,001$). Во всех случаях наблюдения цианоз слизистой оболочки папиллярной и маргинальной десны, диагностированный в день операции, сохранялся в течение первых 72 часов (Рисунок 18).



Рисунок 18 – Клиническая ситуация: умеренный отек и выраженный цианоз слизистой оболочки маргинальной десны зубов 1.4 – 1.3 с вестибулярной стороны через 48 ч после операции



Рисунок 19 – Клиническая ситуация: контрольный осмотр через 3 месяца после операции. Кровоточивость десны при зондировании

При использовании в качестве инструмента альтерации лазерного излучения длиной волны 445 nm случаев выраженной гиперемии слизистой оболочки папиллярной и маргинальной десны в области послеоперационной раны зафиксировано не было.

Через 3 месяца после операции цвет слизистой оболочки папиллярной и маргинальной десны зубов с вестибулярной стороны был без признаков воспаления (Рисунок 19): средние показатели цвета у пациентов I (контрольной) и II групп исследования составили $0,5 \pm 0,5$ и $0,6 \pm 0,5$ соответственно. В 2 группах наблюдения через 3 месяца после хирургического вмешательства отмечено статистически значимое снижение значений показателя цвета слизистой оболочки ($p < 0,001$).

Статистически значимых отличий между группами в отношении динамики индекса кровоточивости десны до операции и через 3 месяца после ее проведения не выявлено ($p = 0,948$).

В Таблице 5 представлены результаты сравнительного анализа показателей пародонтального индекса PI до операции и через 3 месяца после хирургического вмешательства. Статистически значимых отличий между группами в отношении динамики данного показателя не выявлено ($p = 0,896$).

Таблица 5 – Результаты сравнительного анализа значений пародонтального индекса PI у пациентов 2 групп исследования

Значение индекса PI	I (контрольная) группа	II (сравнения) группа	Значимость, <i>p</i>
PI до операции	$6,3 \pm 0,5$	$6,3 \pm 0,5$	$> 0,999$
6	8 (66,7 %)	8 (66,7 %)	
8	4 (33,3 %)	4 (33,3 %)	
PI через 3 месяца	$0,7 \pm 0,5$	$0,6 \pm 0,5$	0,7
0	4 (33,3 %)	5 (41,7 %)	
1	8 (66,7 %)	7 (58,3 %)	

Статистически значимых отличий между группами в отношении показателей пародонтального индекса PI не было установлено как до операции ($p > 0,999$), так и через 3 месяца после ее проведения ($p = 0,7$). Средние значения пародонтального индекса PI у пациентов I (контрольной) и II групп через 3 месяца после операции составили $0,7 \pm 0,5$ и $0,6 \pm 0,5$ соответственно. Согласно критериям оценки индекса PI по A. Russel (1956), данные значения соответствуют I стадии заболеваний пародонта, что в данных клинических ситуациях предполагает период ремиссии заболевания.

Применение лазерного излучения длиной волны 445 nm в качестве инструмента альтерации при проведении операции открытого кюретажа пародонтальных карманов имеет преимущества при сравнении с хирургическим лезвием: в послеоперационный период менее выражены болевые ощущения у пациентов и менее выражен отек слизистой оболочки папиллярной и маргинальной десны в зоне хирургического вмешательства.

Лазерное излучение длиной волны 445 nm в режиме абляции применено при операции вестибулопластики по методике Irving Glickman у 48 пациентов (Таблица 6). Данный объем выборки позволил усовершенствовать Протокол хирургического вмешательства и оформить

патентное право на способ углубления свода преддверия полости рта (Рисунки 20, 21, 22). Средний возраст 48 пациентов составил $57,4 \pm 12,8$ [медиана – 56,0; 47,8, 65,3].

Таблица 6 – Характеристика пациентов по полу, возрасту и области операции

Пол	Количество пациентов, n	Соотношение, %	Возраст, лет	Область операции	
				Верхняя челюсть	Нижняя челюсть
Мужской	16	33,33	49-76	11	5
Женский	32	66,67	38-82	15	17
Всего	48	100	38-82	26	22



Рисунок 20 – Клиническая ситуация: отсутствие зоны прикрепленной слизистой оболочки в области дентальных имплантатов



Рисунок 21 – Клиническая ситуация: создание оптимальной глубины свода преддверия полости рта и широкой зоны прикрепленной слизистой оболочки

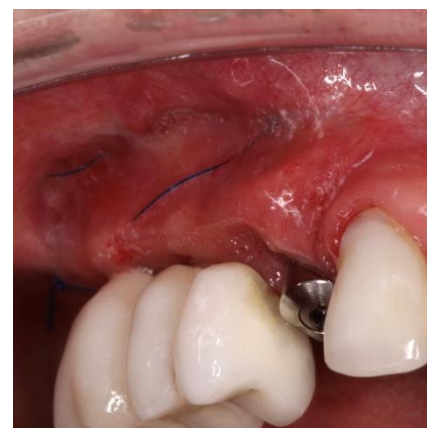


Рисунок 22 – Клиническая ситуация: 21-е сутки послеоперационного периода

Хирургическое вмешательство с применением лазерного излучения длиной волны 445 nm выполнено при мощности 1 W и импульсном режиме бесконтактным способом.

Непосредственно по окончании хирургического вмешательства пациентам был предложен нестероидный противовоспалительный препарат – Ибупрофен в дозе 400 мг для принятия внутрь per os, выданы Памятка об особенностях послеоперационного периода, Лист назначений и рекомендаций; определены даты контрольных осмотров: на 3-и, 7-е, 10-е, 14-е и 21-е сутки послеоперационного периода. Всем пациентам было предписано назначение: Ибупрофен по 400 мг 2 раза в день курсом 3 суток строго после приема пищи с большим количеством воды. Пациентам предписывали оценивать и фиксировать свои болевые ощущения в области послеоперационной раны по цифровой рейтинговой шкале боли NRS через 24 ч после операции, а также на 3-и, 7-е, 10-е, 14-е и 21-е сутки послеоперационного периода.

При проведении контрольных осмотров оценивали выраженность отека и гиперемии слизистой оболочки в области послеоперационной раны по балльной шкале и проводили антисептическую обработку полости рта пациентов. Снятие швов проводили на 21-е сутки послеоперационного периода.

Статистический анализ и визуализация полученных данных проведены с использованием среды для статистических вычислений R 4.5.1 (R Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия).

При операции вестибулопластики, выполненной с применением лазерной технологии, у пациентов в полости рта формировалась раневая поверхность, представленная плотным коагуляционным слоем тканей (Рисунок 21). По окончании хирургического вмешательства признаков отека и гиперемии слизистой оболочки в области операционной раны не отмечали.

На 3-и сутки послеоперационного периода в 100 % случаев наблюдения рана была покрыта фибриновым налетом. Оценить выраженность отека и гиперемии слизистой оболочки послеоперационной раны возможным представилось только в перифокальной области. При осмотре выявлен незначительный отек слизистой оболочки по периметру раны: средний балл составил $1,083 \pm 0,279$ [медиана – 1,0; 1,0, 1,0] (Рисунок 23).

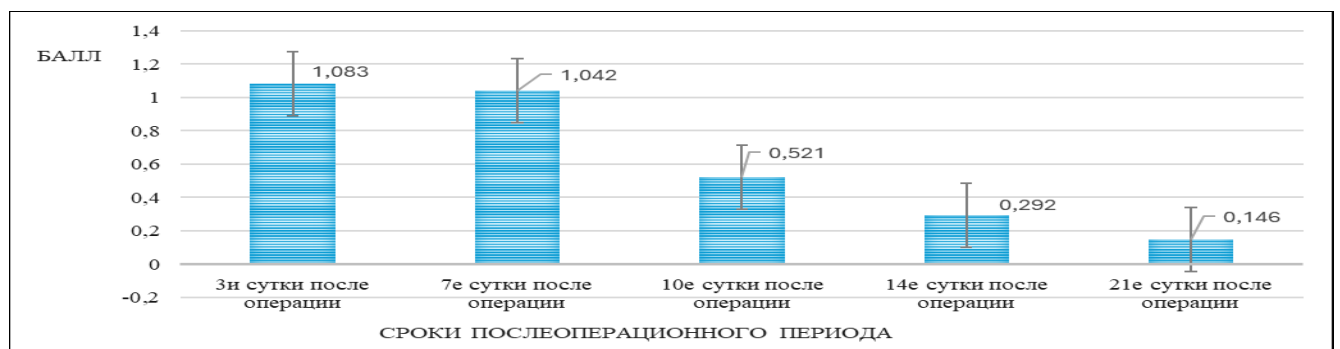


Рисунок 23 – Динамика выраженности отека слизистой оболочки в области послеоперационной раны, созданной лазерным излучением длиной волны 445 nm в режиме абляции

На 3-и сутки после операции вестибулопластики среднее значение показателя выраженности гиперемии слизистой оболочки по периметру раны составило $1,021 \pm 0,144$ [медиана – 1,0; 1,0, 1,0] (Рисунок 24). Максимальная выраженность гиперемии и отека слизистой оболочки в области послеоперационной раны отмечена на 7-е сутки после операции вестибулопластики.

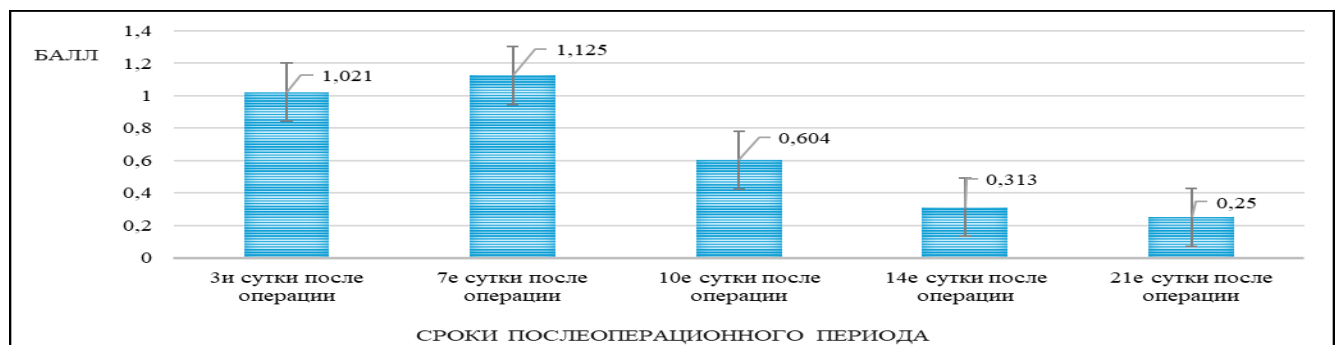


Рисунок 24 – Динамика выраженности гиперемии слизистой оболочки в области послеоперационной раны, созданной лазерным излучением длиной волны 445 nm в режиме абляции

К 10-м суткам послеоперационного периода значения показателей выраженности гиперемии и отека слизистой оболочки снизились в 2 раза. На 7-е, 10-е и 21-е сутки после

операции вестибулопластики гиперемия слизистой оболочки в области послеоперационной раны была достоверно выражена интенсивнее, чем отек тканей (Таблица 7).

Таблица 7 – Paired Samples T-Test: Сравнительная оценка показателей выраженности гиперемии и отека слизистой оболочки в области послеоперационной раны у пациентов на 1-е, 3-и, 7-е, 10-е, 14-е и 21-е сутки после операции вестибулопластики, выполненной с применением лазерного излучения длиной волны 445 nm в режиме абляции

Гиперемия слизистой оболочки	Отек слизистой оболочки	Тест	Statistic	D f	p
Сроки послеоперационного периода					
3-и сутки после операции	3-и сутки после операции	Student's <i>t</i> -test	-1,77	47,0	0,083
7-е сутки после операции	7-е сутки после операции	Student's <i>t</i> -test	2,07	47,0	0,044
10-е сутки после операции	10-е сутки после операции	Student's <i>t</i> -test	2,07	47,0	0,044
14-е сутки после операции	14-е сутки после операции	Student's <i>t</i> -test	1,0	47,0	0,322
21-е сутки после операции	21-е сутки после операции	Student's <i>t</i> -test	2,34	47,0	0,024

При анализе 48 Дневников боли установлено, что в послеоперационный период в 100 % случаев наблюдения на фоне приема препарата Ибупрофен пациенты не ощущали выраженных болевых ощущений. После отмены приема нестероидного противовоспалительного препарата пациенты отмечали незначительные болевые ощущения в области послеоперационной раны (Рисунок 25). Максимальный балл – 2 – был указан 1 пациентом (2,083 %) на 7-е сутки после операции; в 45,83 % случаев наблюдения пациенты не ощущали болевых ощущений.

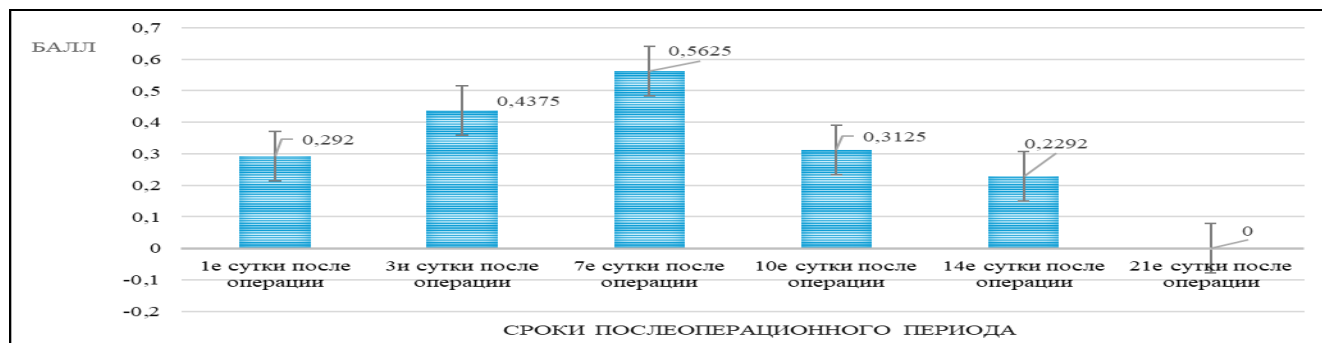


Рисунок 25 – Динамика показателей боли по шкале NRS в области послеоперационной раны у пациентов на 1-е, 3-и, 7-е, 10-е, 14-е и 21-е сутки после операции вестибулопластики, выполненной с применением лазерного излучения длиной волны 445 nm в режиме абляции

Случаев кровотечения и формирования гематом в ранний послеоперационный период не зарегистрировано. На 14-е сутки послеоперационного периода в 100 % случаев наблюдения раневая поверхность, созданная лазерным излучением в режиме абляции, была эпителизирована полностью. Свод преддверия полости рта был углублен, и создана зона прикрепленной слизистой оболочки в области имплантатов зубов с вестибулярной стороны (Рисунок 22).

После удаления непрерывного шва на 21-е сутки после хирургического вмешательства пациентам предписывали выполнение упражнения: нагнетание воздуха под свод преддверия полости рта в области проведенной операции вестибулопластики курсом 21 сутки.

Применение лазерного излучения длиной волны 445 nm при операции вестибулопластики создает оптимальные бескровные условия для визуализации операционного поля, предупреждает кровопотерю и формирование гематомы в челюстно-лицевой области.

Известно, что процесс репаративной регенерации тканей протекает при участии факторов врожденного иммунитета. Актуальным представилось изучение реакции местного иммунитета на наличие в полости рта раневой поверхности, созданной при воздействии лазерным излучением длиной волны 445 nm в режиме абляции.

Изучение влияния лазерного излучения длиной волны 445 nm в режиме абляции на местный иммунитет полости рта проведено у 24 пациентов из 48, участвующих в исследовании. Средний возраст пациентов составил $60,1 \pm 12,6$ [медиана – 59,5; 50,5, 68,5]. 50 % наблюдений составили женщины ($n = 12$) и 50 % наблюдений составили мужчины ($n = 12$). Операция вестибулопластики с применением лазерного излучения длиной волны 445 nm в режиме абляции с целью создания широкой зоны прикрепленной слизистой оболочки в области дентальных имплантатов с вестибулярной стороны проведена в области верхней челюсти у 13 пациентов (54,17 %) и в области нижней челюсти у 11 пациентов (45,83 %).

Изучение продукции цитокинов IL-1 beta, IL-6, IL-8, IL-10, IL-18, фактора некроза опухоли (TNF- α) и IFN- α в области хирургического вмешательства проводили через 25 минут по окончании операции, а также на 3-и, 7-е, 10-е, 14-е и 21-е сутки послеоперационного периода.

Статистический анализ и визуализация полученных данных проведены с использованием среды для статистических вычислений R 4.5.1 (R Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия).

Контрольными значениями являлись показатели, полученные у пациентов из целевой области до начала хирургического вмешательства. До операции вестибулопластики в области предполагаемого хирургического вмешательства выявлена продукция IL-18, TNF- α и IFN- α низких концентраций; присутствия цитокинов IL-1 β , IL-6, IL-8 и IL-10 не установлено.

Через 25 мин после окончания операции вестибулопластики в 100 % случаев наблюдения в зоне раневой поверхности и перифокальной области выявлена экспрессия всех исследуемых цитокинов (Рисунки 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32).

В большинстве случаев наблюдения отмечали тенденцию к увеличению продукции цитокинов к 3-м суткам послеоперационного периода. Признаков супрессии местного иммунитета полости рта при воздействии лазерным излучением длиной волны 445 nm в режиме абляции не выявлено.

Концентрация цитокинов IL-1 β , IL-6, IL-8 и IL-10 на раневой поверхности на всем протяжении периода эпителизации раны в 100 % случаев наблюдения была достоверно выше концентрации цитокинов в перифокальной области, которую определяли как существующую через 25 мин после операции вестибулопластики, а также на 3-и, 7-е и 10-е сутки послеоперационного периода ($p < 0,001$).

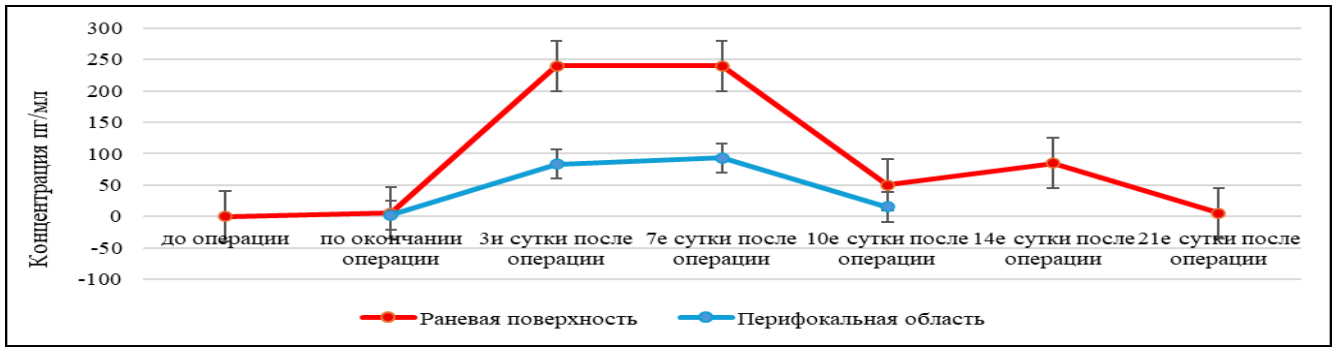


Рисунок 26 – Динамика секреции IL-1 β в области послеоперационной раны, созданной при проведении операции вестибулопластики с применением лазерного излучения длиной волны 445 nm в режиме абляции

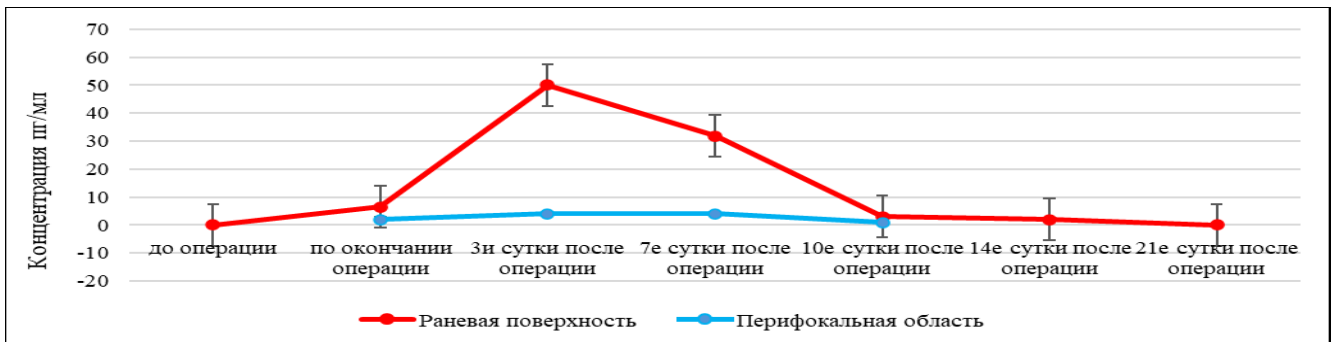


Рисунок 27 – Динамика секреции IL-6 в области послеоперационной раны, созданной при проведении операции вестибулопластики с применением лазерного излучения длиной волны 445 nm в режиме абляции



Рисунок 28 – Динамика секреции IL-8 в области послеоперационной раны, созданной при проведении операции вестибулопластики с применением лазерного излучения длиной волны 445 nm в режиме абляции

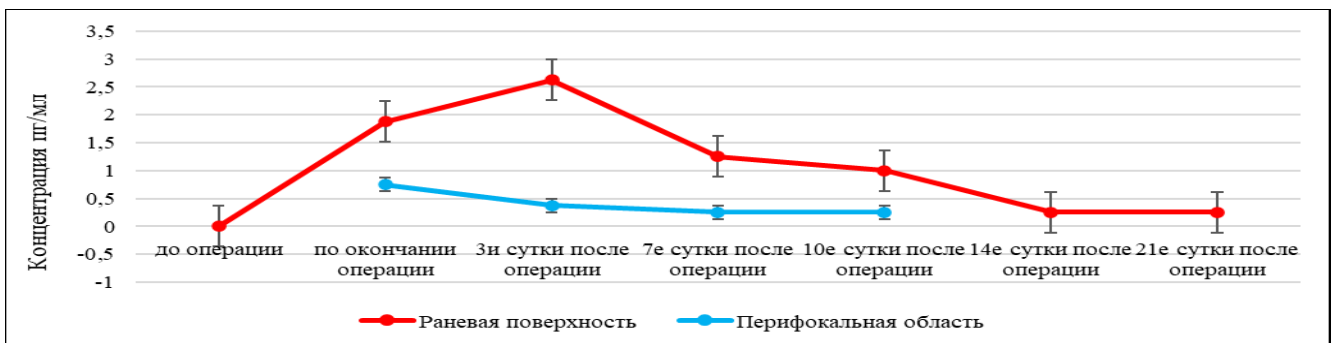


Рисунок 29 – Динамика секреции IL-10 в области послеоперационной раны, созданной при проведении операции вестибулопластики с применением лазерного излучения длиной волны 445 nm в режиме абляции

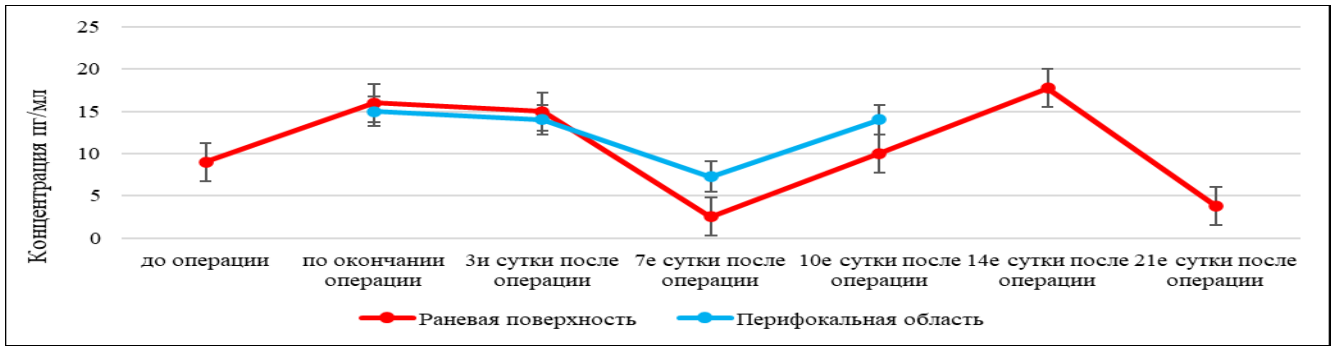


Рисунок 30 – Динамика секреции IL-18 в области послеоперационной раны, созданной при проведении операции вестибулопластики с применением лазерного излучения длиной волны 445 nm в режиме абляции



Рисунок 31 – Динамика секреции TNF-α в области послеоперационной раны, созданной при проведении операции вестибулопластики с применением лазерного излучения длиной волны 445 nm в режиме абляции

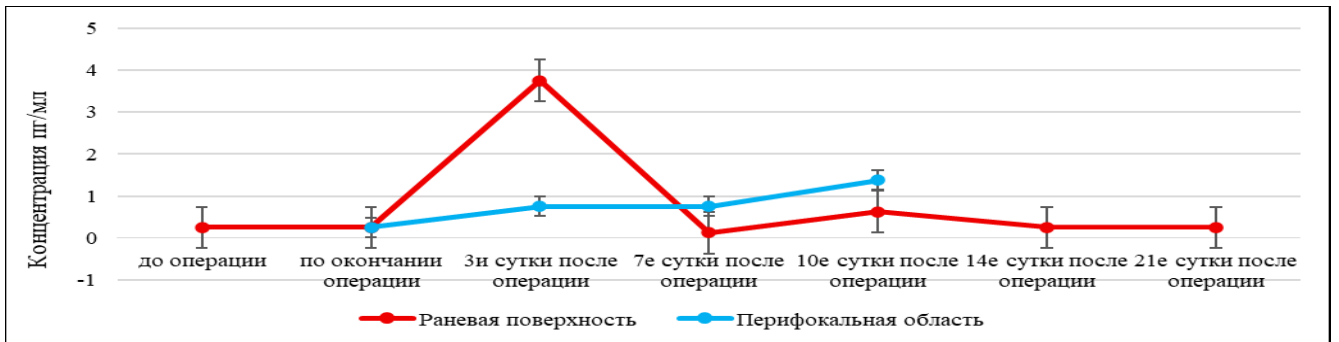


Рисунок 32 – Динамика секреции IFN-α в области послеоперационной раны, созданной при проведении операции вестибулопластики с применением лазерного излучения длиной волны 445 nm в режиме абляции

На 7-е сутки послеоперационного периода концентрация цитокинов IL-18, TNF-α и IFN-α на раневой поверхности была достоверно ниже концентрации цитокинов в перифокальной области ($p < 0,001$, $p = 0,02$, $p < 0,001$ соответственно, согласно Wilcoxon test) (Рисунки 30, 31, 32).

На 10-е сутки послеоперационного периода концентрация цитокинов IL-18 и IFN-α на раневой поверхности была достоверно ниже концентрации цитокинов в перифокальной области ($p < 0,001$, согласно Wilcoxon test) (Рисунки 30, 32).

На 14-е сутки послеоперационного периода наблюдалось снижение экспрессии цитокинов IL-6, IL-10, TNF-α и IFN-α (Рисунки 27, 29, 31, 32). Статистические показатели цитокинов IL-6,

IL-10 и TNF- α достигли значимости ($p < 0,001$, согласно Conover test). Для показателя цитокина IFN- α статистическая значимость не оказалась достоверной ($p = 0,066$, согласно Conover test). Для цитокинов IL-1 β , IL-8 и IL-18 на 14-е сутки послеоперационного периода было характерно усиление экспрессии ($p < 0,001$, $p = 0,021$, $p < 0,001$ соответственно, согласно Conover test) (Рисунки 26, 28, 30).

На 21-е сутки послеоперационного периода концентрация цитокинов IL-1 β , IL-8 и IL-18 в зоне репаративного процесса выраженно снизилась ($p < 0,001$, $p = 0,523$, $p < 0,001$ соответственно, согласно Conover test). Показатели концентрации цитокинов IL-6 и IFN- α достигли контрольных значений (0 пг/мл и $0,25 \pm 0,44$ пг/мл соответственно).

Полученные результаты ИФА соскоба слизистой оболочки полости рта в динамике регенерации послеоперационной раны, созданной при воздействии лазерным излучением длиной волны 445 nm в режиме абляции, демонстрируют картину координированного процесса при ответе местного гуморального иммунитета на хирургическую травму. Баланс между провоспалительными и противовоспалительными механизмами обеспечил оптимальные условия для эпителизации хирургической раны и предупреждения развития инфекционного воспалительного процесса.

Эффективность применения лазерного излучения 445 nm в качестве источника энергии для низкоинтенсивной лазерной терапии и фотобиомодуляции тканей челюстно-лицевой области

В клиническом исследовании, посвященном определению целесообразности включения лазерного излучения длиной волны 445 nm в комплексную терапию заболеваний пародонта, приняли участие 20 пациентов с Диагнозом: K05.10 Хронический катаральный гингивит. Средний возраст участников клинического исследования составил $27,4 \pm 7,24$ лет [медиана – 26,5; 20,8, 34,3].

Индекс гигиены полости рта ОНI-S составил $1,43 \pm 0,277$ [медиана – 1,5; minimum 1,0, maximum 2,0], что соответствовало среднему уровню значимости и удовлетворительной оценке индивидуальной гигиены полости рта. В 100 % случаев наблюдения у пациентов с Диагнозом: K05.10 Хронический катаральный гингивит при зондировании десны выявлена кровоточивость. Индекс Muhlemann & Son в модификации Cowell составил $1,42 \pm 0,294$ [медиана – 1,42; minimum 0,830, maximum 1,83]. Индекс гингивита GI достигал значения $1,26 \pm 0,129$ [медиана – 1,25; minimum 1,042, maximum 1,5], что соответствовало средней степени тяжести гингивита (Рисунок 36).

У пациентов с Диагнозом: K05.10 Хронический катаральный гингивит сессии ЛДФ проводили до стоматологических манипуляций, после процедуры удаления зубных отложений (Рисунок 37) и через 25 минут после окончания физиотерапевтической процедуры НИЛТ. Контрольные значения нами были получены при изучении микроциркуляции в тканях здорового пародонта у 20 добровольцев – студентов IV и V курсов Института стоматологии имени Е.В. Боровского, средний возраст которых составил $22,9 \pm 0,8$ лет. Соблюдение Протокола функционального исследования и строгие критерии включения пациентов в клиническое исследование позволили утверждать об объективности полученных данных, что обусловило полученные результаты рассматривать как контрольные значения.



Рисунок 36 – Клиническая ситуация в области зубов 4.2 – 4.3 при хроническом катаральном гингивите



Рисунок 37 – Клиническая ситуация в области зубов 4.2 – 4.3 после удаления зубных отложений ультразвуковым скейлером

Статистический анализ и визуализация полученных данных ЛДФ проведены с использованием среды для статистических вычислений R 4.4.3 (R Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия).

Показатели микроциркуляции в области десны у пациентов с Диагнозом: K05.10 Хронический катаральный гингивит отличались от значений контрольной группы (Таблица 8).

При развитии катарального воспалительного процесса в области папиллярной и маргинальной десны наблюдаются следующие явления: снижается показатель микроциркуляции крови в тканях пародонта в среднем на 5,78 пф.ед. [95 % ДИ: 5,03; 6,56] ($p < 0,001$), уменьшается величина изменчивости показателя микроциркуляции на 1,01 пф.ед. [95 % ДИ: 0,69; 1,34] ($p < 0,001$), и снижается коэффициент вариации на 0,92 пф.ед. (статистической значимости данный результат не достиг: MD=0,94 % [95 % ДИ: -1,18; 3,07] ($p = 0,365$)).

При анализе показателей лимфотока наблюдалась противоположная картина: в тканях с признаками воспаления значение показателя микроциркуляции было в среднем на 0,76 пф.ед. [95 % ДИ: 0,71; 0,8] выше контрольных данных ($p < 0,001$), значение показателя изменчивости микроциркуляции – выше в среднем на 0,35 пф.ед. [95 % ДИ: 0,24; 0,44] ($p < 0,001$), и в среднем на 9,7 % [95 % ДИ: 0,65; 18,8 %] выше значение коэффициента вариации ($p = 0,037$) (Таблица 8).

При наличии воспаления в области тканей пародонта показатели окислительно-восстановительных процессов характеризовались статистически значимо меньшими значениями ПНК ($p < 0,001$), уровня НАДН ($p = 0,01$) и ФАД ($p < 0,001$): разница между медианами по сравнению с контрольными значениями в отношении указанных показателей составила 3,1 о.е. [95 % ДИ: 2,55; 3,51], 0,18 о.е. [95 % ДИ: 0,03; 0,4] и 0,42 о.е. [95 % ДИ: 0,15; 0,75] соответственно. Значения ПОМ – в среднем на 0,46 о.е. [95 % ДИ: 0,32; 0,61] ниже показателей, зафиксированных в здоровых тканях ($p < 0,001$).

Таблица 8 – Динамика показателей микроциркуляции и окислительного метаболизма в области десны у пациентов с Диагнозом: K05.10 Хронический катаральный гингивит на этапе пародонтологического лечения

Показатель	Результаты лазерной доплеровской флоуметрии				
	Контрольные значения	до лечения	после удаления зубных отложений	после воздействия НИЛИ	Значимость, <i>p</i>
Показатели микроциркуляции крови					
<i>M</i>	19,28±0,61	13,50±1,55	8±1,09	12,8±1,52	<0,001
<i>σ</i>	3,07±0,1	2,05±0,69	1,39±0,65	1,99±0,42	<0,001
<i>K_v</i>	15,92±0,66	14,98±4,5	17,99±9,28	15,58±3,08	0,312
Показатели микроциркуляции лимфы					
<i>M</i>	0,4±0,07	1,16±0,08	0,8±0,3	1,09±0,11	<0,001
<i>σ</i>	0,12±0,04	0,47±0,21	0,18±0,12	0,48±0,21	<0,001
<i>K_v</i>	30,6±7,3	40,3±18,3	26,9±16,96	44,1±18,53	<0,001
Показатели окислительного метаболизма					
ПНК	9,08 [8,79; 9,56]	5,98 [5,68; 6,72]	3,24 [3,01; 3,54]	5,67 [5,2; 6,14]	<0,001
НАДН	1,35 [1,19; 1,41]	1,16 [0,97; 1,27]	1,05 [0,87; 1,13]	1,21 [0,89; 1,38]	0,157
ФАД	3,17 [2,93; 3,62]	2,76 [2,57; 2,96]	2,01 [1,76; 2,33]	2,61 [2,39; 2,89]	<0,001
ПОМ	2,03±0,28	1,57±0,15	1,09±0,18	1,49±0,13	<0,001
Примечание: <i>M</i> – показатель микроциркуляции (пф.ед.); <i>σ</i> – величина изменчивости показателя микроциркуляции (пф.ед.); <i>K_v</i> – коэффициент вариации (%); ПНК – показатель нутритивного кровотока (о.е.); НАДН – никотинамидадениндинуклеотид (о.е.); ФАД – флавинадениндинуклеотид (о.е.); ПОМ – показатель окислительного метаболизма (о.е.)					

Непосредственно после удаления наддесневых и поддесневых зубных отложений с применением ультразвукового скейлера проводили повторное функциональное исследование – ЛДФ. Выявлены изменения в интенсивности микроциркуляции и окислительно-восстановительных процессов: значения всех исследуемых показателей были ниже базовых (Таблица 8).

После проведения процедуры воздействия НИЛИ длиной волны 445 nm при мощности 0,1 W значения показателей микроциркуляции крови и лимфы и окислительного метаболизма повышались и через 25 минут приближались к базовым значениям (Таблица 8).

Лазерное излучение длиной волны 445 nm демонстрирует уникальные свойства, что позиционирует его перспективным и универсальным инструментом для широкого спектра стоматологических вмешательств. Результаты представленных исследований указывают на высокую эффективность применения лазерного излучения длиной волны 445 nm в качестве инструмента альтерации, в качестве метода коагуляции сосудов и гемостаза и в качестве источника энергии для НИЛТ и фотобиомодуляции тканей челюстно-лицевой области.

Основными показаниями к применению лазерного излучения длиной волны 445 nm в режиме абляции являются профилактика кровопотери и предпочтение пациентом бескровности хирургического вмешательства. Бескровные условия хирургического вмешательства сокращают продолжительность манипуляций и создают врачу стоматологу-хирургу оптимальную визуализацию операционного поля, что минимизирует травматизм подлежащих тканей. Наличие плотного коагуляционного слоя на поверхности раны препятствует микробной инвазии, что обуславливает низкий риск абсцедирования лазерной раны.

Применение лазерного излучения длиной волны 445 nm для повышения регенераторного потенциала и оптимизации репаративных процессов в слизистой оболочке полости рта при консервативных и оперативных методах реабилитации пациентов требует соблюдения правил:

1. Препарирование мягких тканей полости рта лучом лазера бесконтактным способом при минимальных значениях оптимальной мощности режима абляции и с периодами термической релаксации тканей импульсного режима (PW).

2. В качестве источника энергии для низкоинтенсивной лазерной терапии и фотобиомодуляции тканей челюстно-лицевой области использование излучения минимальной мощности 0,1 W.

3. Воздействие низкоинтенсивным лазерным излучением мощностью 0,1 W в области интактных тканей слизистой оболочки площадью в 1 см² не должно превышать 1 минуту.

4. Применение лазерного излучения в субабляционном режиме при мощности 0,5 W и при непрерывном режиме (CW) исключительно бесконтактным способом в динамической методике с дистанцией от кончика волокна до поверхности элемента поражения слизистой оболочки полости рта в 4,5-5 мм и при максимальной продолжительности в 3 минуты.

Лазерная технология длиной волны 445 nm не является панацеей при реабилитации пациентов со стоматологическими заболеваниями. Лазерное излучение длиной волны 445 nm –

уникальный инструмент, применение которого по показаниям повышает эффективность лечения всех стоматологических заболеваний. Применение лазерного излучения длиной волны 445 nm создает условия для получения наилучшего результата лечения и не исключает необходимости в планировании хирургического стоматологического лечения: перед проведением пластических операций в полости рта важно устранять миофункциональные и окклюзионные нарушения для гармонизации тонуса мимических мышц и мышц жевательной группы, повышенный тонус которых может сформировать осложнения. Для профилактики осложнений также важно следовать Протоколам стоматологических вмешательств.

Таким образом, синий лазер представляет собой не только инструмент высокоточной бесконтактной альтерации мягких тканей, но и источник энергии для НИЛТ и фотобиомодуляции, что позволяет заявлять о цельной инновационной технологии, которая может являться всеобъемлющим ресурсом в комплексной реабилитации пациентов с заболеваниями полости рта.

Наше исследование дополнило мировые данные о свойствах синего лазера и может являться фундаментальным основанием для дальнейших исследований в области лазерной медицины и развития российской научной школы лазерологии.

На основании полученных результатов диссертационного исследования сформулированы выводы и для практического здравоохранения оформлены методические рекомендации к применению лазерного излучения длиной волны 445 nm в качестве инструмента альтерации, в качестве метода коагуляции сосудов и гемостаза и в качестве источника энергии для низкоинтенсивной лазерной терапии и фотобиомодуляции тканей челюстно-лицевой области.

ВЫВОДЫ

1. Применение лазерного излучения длиной волны 445 nm в качестве инструмента альтерации при минимальном значении оптимальной мощности 0,7 W у экспериментальных животных формирует неглубокий слой коагуляционного некроза с сохранением эпителия по периферии операционной раны, отсутствием признаков разрушения клеточных элементов, с менее выраженной инфильтрацией тканей и достоверно ($p < 0,001$) при меньшем нагревании слизистой оболочки полости рта ($47,08 \pm 0,996^\circ\text{C}$) по сравнению с воздействием на мягкие ткани лазерным излучением длиной волны 810 nm в режиме абляции ($56,33 \pm 4,21^\circ\text{C}$).

2. Объективизировать результаты гистологического исследования при изучении динамики репаративных процессов в слизистой оболочке полости рта лабораторных животных после проведения хирургических манипуляций с применением лазерного излучения длиной волны 445 nm позволяет полуколичественный анализ состояния биоптатов – скоринг. На 7-е сутки послеоперационного периода в 91,67 % случаев наблюдения отмечены признаки активного процесса регенерации раны. Гистологический анализ продемонстрировал коагуляционный тип некроза в зоне абляции тканей и отсутствие выраженности II стадии

воспалительной реакции – фазы экссудации, что обуславливает тенденцию к уменьшению длительности периода эпителизации и сокращению общих сроков репаративной регенерации раны слизистой оболочки полости рта.

3. Воздействие лазерным излучением длиной волны 445 nm на слизистую оболочку полости рта лабораторного животного (крысы) в режиме фотобиомодуляции с дистанцией от кончика оптоволоконна до поверхности десны в 4,5-5 мм вызывает нагрев тканей на $8,37 \pm 0,296^\circ\text{C}$ и достигает показателя – $37,54 \pm 1,72^\circ\text{C}$, что ниже порогового значения в 42°C . В циркулирующей крови лабораторных животных тепловой эффект вызывает увеличение объема деформируемых форм эритроцитов более чем на 0,89 % ($p < 0,001$). Каждая процедура НИЛИ поддерживает высокий количественный показатель куполообразно измененных форм эритроцитов в крови лабораторных животных – $3,27 \pm 0,193$, $3,36 \pm 0,193$, $3,38 \pm 0,179$ ($p < 0,001$). После окончания курса фотобиомодуляции десны высокий количественный показатель куполообразно измененных форм эритроцитов – $2,39 \pm 0,069$, $2,06 \pm 0,069$ – поддерживается по крайней мере еще в течение 2-х суток.

4. По данным лазерной доплеровской флоуметрии, при воздействии лазерным излучением длиной волны 445 nm при мощности 0,1 W в режиме фотобиомодуляции на десну пациентов со здоровым пародонтом отмечено статистически значимое увеличение значений показателя нутритивного кровотока и уровня кофермента ФАД ($p < 0,001$), снижение уровня кофермента НАДН ($p < 0,001$) и увеличение показателя окислительного метаболизма на 0,16 перфузионных единиц ($p < 0,001$). Применение лазерного излучения длиной волны 445 nm при мощности 0,1 W в качестве НИЛТ у пациентов с Диагнозом: K05.10 Хронический катаральный гингивит после процедуры удаления зубных отложений с применением ультразвукового скейлера нормализует микроциркуляцию тканей пародонта, что проявляется статистически значимым увеличением всех показателей кровотока, лимфотока и окислительного метаболизма ($p < 0,001$).

5. По данным иммуноферментного анализа соскоба слизистой оболочки полости рта в области хирургического вмешательства, лазерное излучение длиной волны 445 nm в режиме абляции не вызывает иммуносупрессии местного иммунитета полости рта, о чем свидетельствует последовательный рост экспрессии провоспалительных и противовоспалительных цитокинов – IL-1 β , IL-6, IL-8, IL-10, IL-18, TNF α и IFN- α до периода полной эпителизации операционной раны.

6. Воздействие низкоинтенсивным лазерным излучением длиной волны 445 nm мощностью 0,1 W курсом 3 сеанса по 1 минуте с интервалом в 24 часа на линию швов после операции дентальной имплантации сокращает срок полной эпителизации линии операционного разреза до 5 суток, что достоверно быстрее при сравнении со сроком полной эпителизации линии операционного разреза, не подвергнутого воздействию лазерным излучением ($p < 0,05$).

7. Воздействие низкоинтенсивным лазерным излучением длиной волны 445 nm мощностью 0,5 W при постоянном режиме бесконтактным способом и динамической

методикой в течение 3 минут на элементы поражения слизистой оболочки полости рта и красной каймы губ вирусом герпеса в 100 % случаев наблюдения вызывает устранение боли у пациентов.

8. Применение лазерного излучения длиной волны 445 nm при формировании трапециевидного лоскута по A. Rehrmann с целью первичной пластики ороантрального сообщения способствует малой выраженности коллатерального отека, достигая максимального значения в $1,42 \pm 0,515$ балла, что достоверно ниже аналогичного показателя ($2,75 \pm 0,452$), установленного при формировании трапециевидного лоскута хирургическим лезвием ($p < 0,001$); преимущества применения лазерного излучения длиной волны 445 nm также подтверждаются и высокими значениями Индекса раннего заживления (Early Wound Healing Score) через 24 ч и 48 ч после операции – $22,75 \pm 1,54$ и $28,00 \pm 1,95$ соответственно.

9. Воздействие лазерным излучением длиной волны 445 nm мощностью 1,0 W при постоянном режиме бесконтактным способом и динамической методикой в течение 3 минут на раневую поверхность донорской зоны в области твердого неба при операции трансплантации свободного десневого лоскута в 100 % случаев формирует качественный гемостаз и предупреждает развитие кровотечения в послеоперационный период.

10. Применение лазерного излучения длиной волны 445 nm в качестве инструмента альтерации создает бескровные условия в операционном поле, способствует отсутствию признаков воспалительной реакции и в комплексе с миофункциональной терапией и использованием монофиламентного шовного материала, не вызывающего асептическое воспаление в области послеоперационной раны, предупреждает образование рубцовой ткани при операции френулопластики языка и формирует высокий уровень удовлетворенности пациентов пластической операцией в полости рта, достигая значения индекса Customer Satisfaction Index в 94 % на 14-е сутки после операции и 100 % – через 3 месяца.

11. Применение разработанной концепции использования лазерного излучения длиной волны 445 nm в стоматологической практике позволило повысить эффективность консервативных и оперативных методов лечения при реабилитации пациентов с заболеваниями полости рта.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Применение лазерного излучения длиной волны 445 nm в режиме абляции рекомендовано бесконтактным способом при импульсном режиме (PW) и при минимальных значениях оптимальной мощности.

2. При операции френулопластики языка для предупреждения образования рубцовой ткани в области линии операционного разреза рекомендовано: применение лазерной технологии длиной волны 445 nm, препарирование мягких тканей лазерным излучением при импульсном режиме, применение бесконтактного способа препарирования тканей, создание условий для эпителизации раны первичным натяжением и использование шовного материала, не вызывающего развитие асептического воспаления в области линии швов. Применение

лазерного излучения длиной волны 445 nm в качестве инструмента альтерации не отменяет необходимости выполнения упражнений миофункциональной терапии.

3. Применение лазерного излучения длиной волны 445 nm для деэпителизации и иссечения грануляций при операции открытого кюретажа пародонтальных карманов рекомендовано при мощности 0,7 W и импульсном режиме.

4. После проведения процедуры удаления зубных отложений с применением ультразвукового скейлера необходимо выполнение процедуры воздействия низкоинтенсивным лазерным излучением длиной волны 445 nm на область десны при мощности 0,1 W и непрерывном режиме динамической методикой бесконтактным способом с дистанцией от кончика оптоволоконна до поверхности десны в 4,5-5 мм длительностью 1 мин/зуб.

5. Проведение процедуры низкоинтенсивной лазерной терапии и фотобиомодуляции тканей пародонта с применением лазерного излучения длиной волны 445 nm рекомендовано при мощности 0,1 W и постоянной режиме динамической методикой бесконтактным способом с дистанцией от кончика оптоволоконна до поверхности десны в 4,5-5 мм.

6. Воздействие лазерным излучением длиной волны 445 nm на первичные и вторичные элементы поражения слизистой оболочки полости рта герпетической инфекцией рекомендовано проводить трехкратно при мощности не более 0,5 W по 1 минуте в области 1 см² при постоянной режиме динамической методикой бесконтактным способом с дистанцией от кончика оптоволоконна до поверхности десны в 4,5-5 мм ежедневно в течение 3 суток.

7. Для повышения эффективности лечения пациентов с применением лазерных технологий и предупреждения дискредитации технологии лазерного излучения длиной волны 445 nm неприемлемо копирование методик, применяемых при использовании лазерного излучения инфракрасного диапазона (810 nm и 980 nm).

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Романенко, Н. В.** Реконструкция зоны прикрепленной кератинизированной десны с применением диодного лазера / Н. В. Романенко, С. В. Тарасенко // **Лазерная медицина.** – 2021. – Т. 25. – № 3S. – С. 76.

2. **Романенко, Н. В.** Применение диодного полупроводникового лазера при выполнении операции вестибулопластики / Н. В. Романенко, С. В. Тарасенко, А. А. Овсиенко. – Текст : непосредственный // Сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции «Стоматология славянских государств» / Под ред. А. В. Цимбалистова, Н. А. Авхачевой. – Белгород: НИУ «БелГУ», 2021. – С. 246-249.

3. **Романенко, Н.В.** Экспериментальное обоснование применения лазерного излучения длиной волны 445±40 nm в клинической практике (Обзор литературы) / **Н. В. Романенко, С. В. Тарасенко** // **Российский стоматологический журнал.** – 2021. – Том 25. – № 6. – С. 573-582.

4. **Романенко, Н.В.** Применение диодного полупроводникового лазера при лечении протетического гингивита. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной памяти ученого С. Э. Кубаева (Самарканд, 25-26 февраля 2022 года). Под редакцией Ж. А. Ризаева. / Н. В. Романенко, С. В. Тарасенко, Ю. В. Крылова // **Журнал стоматологии и краниофациальных исследований**. – 2022. – С. 397-402.

5. **Романенко, Н. В.** Голубой лазер: перспективы бесконтактной абляции мягких тканей при реабилитации пациентов с мелким сводом преддверия полости рта / **Н. В. Романенко, С. В. Тарасенко**. – Текст : непосредственный // Сборник трудов Национального конгресса с международным участием «Паринские чтения 2022», посвященного памяти профессора, Заслуженного деятеля науки Республики Беларусь О. П. Чудакова. – Минск, 5-6 мая 2022. – Минск: «Издательский центр БГУ», 2022. – С. 329-332.

6. Determination of the degree of tissue heating under the exposure to laser radiation with a wavelength of 445 ± 40 nm / **N. V. Romanenko, A. A. Davtyan, A. Y. Suvorov, A. A. Derevyankin, I. M. Bondar, S. V. Djidjavadze, M. A. Zhornik, D. V. Skulbeda, E. A. Morozova, N. A. Blagushina** // **Head and neck. Russian Journal**. – 2022. – Vol. 10. – № 2. – Suppl. 2. – С. 71-74. [Scopus]

7. Экспериментальное обоснование безопасности применения лазерного излучения длиной волны 445 ± 40 nm в стоматологической практике / **Н. В. Романенко, С. В. Тарасенко, А. Ю. Суворов, А. А. Деревянкин, С. В. Джиджавадзе, И. М. Бондарь, Д. В. Скульбеда, М. А. Жорник** // **Стоматология для всех**. – 2022. – № 4 (101). – С. 28-33.

8. The assessment of the results of the biological response of the oral mucosa on the effect of laser irradiation with a wavelength of 445 ± 40 nm / **N. V. Romanenko, S. V. Tarasenko, N. B. Serezhnikova, A. B. Shekhter, A. Y. Suvorov, S. V. Djidjavadze, A. A. Derevyankin, I. M. Bondar**. – Текст : непосредственный // BOOK OF ABSTRACTS Sechenov International Biomedical Summit 2022, 08-09.11.2022, Moscow, Russia. M.: Publishing house of Sechenov University, 2022. – P. 30.

9. **Романенко, Н.В.** Свойства света длиной волны 400-500 nm / Н. В. Романенко, С. В. Тарасенко // **Российская стоматология**. – 2022. – Т. 15. – № 4. – С. 24-30.

10. Сравнительная оценка результатов биологического ответа слизистой оболочки полости рта на воздействие лазерным излучением длиной волны 445 и 810 nm (экспериментальное исследование) / **Н. В. Романенко, С. В. Тарасенко, Н. Б. Сержникова, А. Б. Шехтер, А. Ю. Суворов, С. В. Джиджавадзе, А. А. Деревянкин** // **Клиническая стоматология**. – 2022. – Т. 25. – № 4. – С. 137-143. [Scopus]

11. **Романенко, Н. В.** Создание зоны прикрепленной кератинизированной слизистой оболочки в области имплантатов зубов с применением лазерных технологий / Н. В. Романенко, С. В. Тарасенко, Е. В. Щетинина. – Текст : непосредственный // Сборник тезисов Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы хирургической стоматологии и дентальной имплантологии». – Ташкент, 20.12.2022. – Ташкент: Издательство Ташкентского стоматологического института, 2022. – С. 82-83.

12. Особенности биологического ответа эритроцитов на воздействие лазерным излучением / **Н. В. Романенко**, С. В. Тарасенко, А. С. Кораблинова, Е. В. Щетинина. – Текст : непосредственный // Научный прорыв 2023: сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса, Пенза, 15 февраля 2023 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023. – С. 62-66.

13. Температурные показатели альтерации слизистой оболочки полости рта при воздействии лазерным излучением длиной волны 445 ± 40 nm и 810 ± 10 nm / **Н. В. Романенко**, С. В. Тарасенко, А. Ю. Суворов, С. В. Джиджавадзе, А. А. Деревянкин // **Вятский медицинский вестник**. – 2023. – № 1 (77). – С. 45-50.

14. **Романенко, Н. В.** Применение голубого лазера при репозиции верхней губы с целью устранения улыбки I класса / Н. В. Романенко, С. В. Тарасенко, Е. В. Щетинина. – Текст : непосредственный // Сборник тезисов VI Международного конгресса стоматологов «Актуальные проблемы стоматологии и челюстно-лицевой хирургии». – Ташкент, 16 мая 2023. – Ташкент: Издательство Ташкентского стоматологического института, 2023. – С. 270-272.

15. Применение голубого лазера при реабилитации пациентов с мелким сводом преддверия полости рта. Материалы, Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Лазерная медицина в России: прошлое, настоящее, будущее», посвященная 100-летию Олега Ксенофонтовича Скобелкина / **Н. В. Романенко**, С. В. Тарасенко, Е. В. Щетинина, Ю. В. Крылова // **Медицинская физика**. – 2023. – № 2. – С. 86-87.

16. Репаративная регенерация раны слизистой оболочки полости рта, созданной при воздействии лазерным излучением длиной волны 445 nm / **Н. В. Романенко**, Н. Б. Сержникова, Е. В. Щетинина, М. А. Жорник. – Текст : непосредственный // Сборник трудов Национального конгресса с международным участием «Паринские чтения 2024»: Диагностика, лечение, восстановительный период и диспансеризация пациентов с хирургической патологией черепно-челюстно-лицевой области. – Минск, 3 мая 2024. – Минск: «Издательский центр БГУ», 2024. – С. 169-174.

17. The features of the reparative regeneration of an oral mucosa wound created under the exposure of a laser at a wavelength of 445 nm (a pilot study) / **N. Romanenko**, S. Tarasenko, A. Davtyan, N. Serezhnikova, S. Djidjavadze, A. Derevyankin, E. Shchetinina, A. Deryugin, A. Burlak // **Lasers in Medical Sciences**. – 2024. – Vol. 39. – Article number 152. [Web of Science, Scopus, PubMed, Springer]

18. **Патент на изобретение № 2812751 С1.** Российская Федерация, МПК А61В 17/24. Способ выполнения непрерывного хирургического шва при вестибулопластике / **Романенко Н. В.**, Тарасенко С. В. – 2023102349, заявл. 02.02.2023, **опубл. 01.02.2024, Бюл. № 4.**

19. **Патент на изобретение № 2820122 С1.** Российская Федерация, МПК А61В 17/24. Способ вестибулопластики / **Романенко Н. В.**, Тарасенко С. В. – 2023114314, заявл. 31.05.2023, **опубл. 29.05.2024, Бюл. № 16.**

20. Патент на изобретение № 2826977 С1. Российская Федерация, МПК А61В 17/24, А61В 18/20. Способ вестибулопластики / Романенко Н. В., Тарасенко С. В. – 2023114315, заявл. 31.05.2023, опубл. 19.09.2024, Бюл. № 26.

21. Патент на изобретение № 2827004 С1. Российская Федерация, МПК А61В 17/24, А61N 5/067, А61В 18/20, А61L 15/14. Способ остановки кровотечения в области донорской зоны твердого неба / Романенко Н. В., Тарасенко С. В. – 2023128592, заявл. 03.11.2023, опубл. 19.09.2024, Бюл. № 26.

22. Применение лазерного излучения длиной волны 445 nm для гемостаза в области донорской зоны твердого неба / Н. В. Романенко, А. Ю. Суворов, Н. А. Благушина, А.А. Смирнов, С.В. Тарасенко // **Пародонтология**. – 2025. – Т. 30. – № 1. – С. 56-66.

23. Определение эффективности воздействия низкоинтенсивным лазерным излучением длиной волны 445 nm на область десны по данным лазерной доплеровской флоуметрии / Н. В. Романенко, Е. В. Тульских, Н. М. Кирсанова, С. В. Тарасенко // **Клиническая практика**. – 2025. – Т. 16. – № 1. – С. 38-46. [Scopus]

24. Удовлетворенность пациентов результатом хирургического лечения при использовании в качестве инструмента альтерации лазерного излучения длиной волны 445 nm / Н. В. Романенко, Н. А. Благушина, Н. М. Шоркин, М. А. Вергун // **Медико-фармацевтический журнал «Пульс»**. – 2025. – Т. 27. – № 3. – С. 32-40.

25. Гистологическая оценка репаративной регенерации раны, созданной лазерным излучением длиной волны 445 nm в режиме абляции / Н. В. Романенко, М. А. Вергун, А. А. Смирнов, Н. Б. Серезникова // **Медицинский алфавит**. – 2025. – № 10. – С. 64-69.

26. Лазерное ассистирование при операции трансплантации свободного десневого лоскута с неба. Материалы научно-практической конференции «Скобелкинские чтения. Лазерные технологии в медицине» / Н. В. Романенко, М. А. Вергун, Н. А. Благушина, И.Ю. Лизунова, С.В. Тарасенко // **Медицинская физика**. – 2025. – № 2. – С. 56.

27. Экспериментальное обоснование применения лазерного излучения с длиной волны 445 nm в клинической стоматологической практике. Материалы научно-практической конференции «Скобелкинские чтения. Лазерные технологии в медицине» / Н. В. Романенко, Н. Б. Серезникова, Н. М. Шоркин, С. В. Тарасенко // **Медицинская физика**. – 2025. – № 2. – С. 56.

28. Оценка эффективности курса лазерной терапии при реабилитации пациентов с диагнозом «В00.2 Герпетический гингивостоматит» / Н. В. Романенко, Н. Аяяди, Ж. А. Уляшева, Н. А. Благушина // **Пародонтология**. – 2025. – Т. 30. – № 3. – С. 321-335.

29. Evaluation of the effect of laser irradiation with a wavelength of 445 nm on microcirculation and oxidative metabolism of gingiva according to laser doppler flowmetry / N. Romanenko, E. Tulsikikh, A. Ababkova, N. Blagushina // **Lasers in Medical Sciences**. – 2025. – Vol. 40. – Article number 376. [Web of Science, Scopus, PubMed, Springer]

СПИСОК ТЕРМИНОВ

Лазер (от англ. *laser*): Акроним названия технологии, представленной на английском языке как Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Термин был предложен инженером-физиком Gould Gordon (Колумбийский университет, США).

Длина волны лазерного излучения: Физическое расстояние между пиками последовательных волн в лазерном луче; измеряется в нанометрах (нм, nm).

Мощность лазерного излучения: Количество энергии, генерируемой лазерным аппаратом в 1 секунду, измеряется в ваттах (Вт, W). Данная энергетическая характеристика – регулируемая.

Интенсивность лазерного излучения: Физическая величина, определяющая мощность светового потока, попадающего на единицу площади; измеряется в Вт/см² (W/cm²).

Плотность энергии лазерного излучения: Отношение мощности излучения, проходящего через сечение лазерного пучка, к площади сечения; измеряется в Вт/см² (W/cm²).

Режим лазерного излучения: Способ доставки лазерного излучения к биологическим тканям: может быть непрерывным (CW), импульсным (PW) или импульсно-периодическим.

Частота импульсов лазерного излучения: Частота, с которой импульс повторяется за определенный период времени; измеряется в герцах (Гц).

Длительность импульса: Время, в течение которого лазерный генератор испускает энергию; измеряется в долях секунды.

Пиковая мощность лазерного излучения: Максимальный уровень мощности в течение отдельного импульса лазерного излучения; измеряется в ваттах (Вт, W).

Период термической релаксации тканей: Время, в течение которого лазерное излучение не генерируется и не поступает к биологическим тканям; измеряется в секундах и долях секунды.

Доза энергии лазерного излучения: Количество лазерной энергии, поглощенной биологической тканью единичной площади в течение одного сеанса; измеряется в Дж/см² (J/cm²).

Размер пятна лазерного излучения: Диаметр лазерного луча на целевом объекте; измеряется в миллиметрах (мм, mm).

Низкоинтенсивное лазерное излучение (НИЛИ): Лазерное излучение малой мощности, которое используется в медицине для физиотерапевтического воздействия.

Низкоинтенсивная лазерная терапия (НИЛТ): Физиотерапевтический метод светолечения с использованием низкоэнергетического лазерного излучения.

Фотобиомодуляция (ФДТ): Процедура воздействия низкоинтенсивным лазерным излучением на область здоровых тканей. Термин введен в 2015 году Juanita J. Anders (Университет Мэриленда, США).