

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НИЗКОИНТЕНСИВНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 445 НМ НА ОБЛАСТЬ ДЕСНЫ ПО ДАННЫМ ЛАЗЕРНОЙ ДОППЛЕРОВСКОЙ ФЛОУМЕТРИИ

Н.В. Романенко, Е.В. Тульских, Н.М. Кирсанова, С.В. Тарасенко

Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В настоящее время перечень диодных полупроводниковых лазеров для хирургической стоматологической практики расширен благодаря появлению медицинского синего лазера. Актуальным представляется изучение влияния лазерного излучения длиной волны 445 нм на микроциркуляцию слизистой оболочки полости рта. **Цель исследования** — изучить влияние лазерного излучения длиной волны 445 нм при мощности 0,1 Вт на микроциркуляцию и лимфоток в области десны методом лазерной доплеровской флоуметрии. **Методы.** Эффективность воздействия лазерным излучением длиной волны 445 нм на область десны установлена по данным лазерной доплеровской флоуметрии. Изучена динамика базального кровотока и базального лимфотока в области прикреплённой кератинизированной десны зубов нижней челюсти: определены числовые значения показателя микроциркуляции, величины его изменчивости и коэффициента вариации до и после лазерной терапии. Статистический анализ и визуализация полученных данных проведены с использованием среды для статистических вычислений R 4.4.2. **Результаты.** У 20 добровольцев методом лазерной доплеровской флоуметрии выявлено достоверное увеличение показателя микроциркуляции в области тканей десны при воздействии лазерным излучением длиной волны 445 нм на область десны. **Заключение.** Увеличение скорости кровотока в тканях десны при воздействии низкоинтенсивным лазерным излучением длиной волны 445 нм указывает на наличие у синего лазера терапевтического эффекта. В профилактические мероприятия заболеваний тканей пародонта рекомендуется включать процедуры фотобиомодуляции с применением технологии синего лазера мощностью 0,1 Вт.

Ключевые слова: микроциркуляция; лазерная доплеровская флоуметрия; синий лазер; низкоинтенсивное лазерное излучение; фотобиомодуляция.

Для цитирования:

Романенко Н.В., Тульских Е.В., Кирсанова Н.М., Тарасенко С.В. Определение эффективности воздействия низкоинтенсивным лазерным излучением длиной волны 445 нм на область десны по данным лазерной доплеровской флоуметрии. *Клиническая практика*. 2025;16(1):38–46. doi: <https://doi.org/10.17816/clinpract677229>

Поступила 16.03.2025

Принята 26.03.2025

Опубликована online 26.03.2025

ОБОСНОВАНИЕ

В современной стоматологической практике при лечении воспалительных и воспалительно-деструктивных заболеваний тканей пародонта широко используется низкоинтенсивное лазерное излучение (НИЛИ) красного и инфракрасного спектра света [1–3]. НИЛИ оказывает биостимулирующее, противовоспалительное, анальгезирующее и регенеративное действие на ткани пародонта [4, 5]. Механизм действия НИЛИ связан с фотохимическими реакциями, происходящими в клетках под воздей-

ствием лазерного излучения. Поглощение света хромофорами приводит к активации клеточных ферментов, увеличению синтеза аденозинтрифосфата и улучшению оксигенации тканей [6, 7].

Результаты лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) указывают на улучшение микроциркуляции в слизистой оболочке папиллярной и маргинальной десны, повышение капиллярного кровотока и увеличение вазомоторной активности сосудов при включении в традиционную схему пародонтологического лечения воздействие лазерным излучением

DETERMINING THE EFFICIENCY OF LOW-INTENSITY LASER RADIATION EXPOSURE WITH A WAVELENGTH OF 445 NM APPLIED TO THE GINGIVAL AREA ACCORDING TO THE DATA FROM LASER DOPPLER FLOWMETRY

N.V. Romanenko, E.V. Tulsikh, N.M. Kirsanova, S.V. Tarasenko

The First Sechenov Moscow State Medical University, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Currently, the list of diode semiconductor lasers in surgical dental practice is expanded due to the development of the blue laser. The topical issue is the evaluation of the effects of laser radiation with a wavelength of 445 nm on the microcirculation of oral cavity mucosa. **AIM:** to assess the effects of 445 nm laser radiation with a 0.1 Watt power on the microcirculation and the lymphatic flow in the gingival area using the method of laser Doppler flowmetry. **METHODS:** The efficiency of laser radiation with a wavelength of 445 nm in the gingival area was determined by the data from laser Doppler flowmetry. Dynamic changes of the basal circulation and basal lymphatic flow in the area of the attached keratinized gingiva in the teeth of the mandible were evaluated in healthy volunteers: the numerical values obtained for the microcirculation were measured along with its variability and the coefficient of variation before and after laser therapy. Statistical analysis and visualization of the obtained data were performed using the R 4.4.2 statistical calculations medium. **RESULTS:** In a total of 20 volunteers, the method of laser Doppler flowmetry has shown a significant increase of the microcirculation values in the gingival tissues upon the exposure of the laser radiation with a wavelength of 445 nm to the gingiva (gum). **CONCLUSION:** An increase of the circulation rates in the gingival tissues upon the exposure of the low-intensity laser radiation with a wavelength of 445 nm indicates the presence of a therapeutic effect caused by the blue laser. The procedures of preventing the diseases of the parodontal tissues are recommended to be supplemented by photobiomodulation with using the blue laser technology at a power of 0.1 W.

Keywords: microcirculation; laser Doppler flowmetry; blue laser; low-level laser irradiation; photobiomodulation.

For citation:

Romanenko NV, Tulsikh EV, Kirsanova NM, Tarasenko SV. Determining the efficiency of low-intensity laser radiation exposure with a wavelength of 445 nm applied to the gingival area according to the data from laser doppler flowmetry. *Journal of Clinical Practice*. 2025;16(1):38–46. doi: <https://doi.org/10.17816/clinpract677229>

Submitted 16.03.2025

Accepted 26.03.2025

Published online 26.03.2025

ем длиной волны 632,8 нм, 650 нм, 810 нм, 850 нм, 890 нм или 980 нм [1, 8–11]. Нормализация локального кровотока способствует дегидратации тканей и уменьшению выраженности отёка. Все эти факторы способствуют общему повышению трофических процессов в тканях десны [3, 12].

В настоящее время перечень диодных полупроводниковых лазеров для стоматологической практики расширен с появлением медицинского синего лазера с излучением на длине волны 445±40 нм. Мировые производители синего лазера позиционируют данную технологию как лучшую для хирургического препарирования мягких тканей, так как излучение на длине волны 445±40 нм в большей степени поглощается гемоглобином, оксигемогло-

бином и меланином, чем лазерное излучение инфракрасного спектра света [13, 14]. В клинической практике стоматологические лазеры инфракрасного диапазона применяются как для лазерной хирургии, так и для лазерной терапии. Актуальным представляется определение возможности применения лазерного излучения длиной волны 445 нм для НИЛИ слизистой оболочки полости рта с перспективой включения данной манипуляции в комплекс лечебных мероприятий при воспалительных заболеваниях тканей пародонта.

Цель исследования — изучение влияния лазерного излучения длиной волны 445 нм при мощности 0,1 Вт на микроциркуляцию и лимфоток в области десны методом лазерной доплеровской флоуметрии.

МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Для выявления признаков влияния низкоинтенсивного лазерного излучения с длиной волны 445 нм на микроциркуляцию пародонта нами проведено обсервационное проспективное интервенционное нерандомизированное неконтролируемое исследование. При составлении дизайна клинического исследования пользовались приёмом PICO (табл. 1).

Критерии соответствия

Критерии включения: возраст от 18 лет и старше; пациенты женского и мужского пола; наличие здорового пародонта; наличие письменного добровольного информированного согласия пациента на участие в исследовании.

Критерии не включения: возраст до 18 лет; беременность, период лактации; приём пациентом препаратов группы антиагрегантов или антикоагулянтов; установленный диагноз «Гингивит»; установленный диагноз «Пародонтит»; наличие вредной привычки табакокурения; периодический или постоянный приём наркотических средств; ротовой тип дыхания; наличие в анамнезе сопутствующей патологии, влияющей на систему периферического кровоснабжения (сахарный диабет, артериальная гипертензия, метаболический синдром); аномалия развития лицевого скелета (мелкий свод преддверия полости рта, недостаточность высоты альвеолярного края нижней челюсти, тесное положение зубов передней группы нижней челюсти, высокое прикрепление подбородочных мышц); миофункциональные нарушения (повышенный тонус подбородочных мышц); наличие ортодонтических конструкций в полости рта.

Критерии исключения: при несостоятельности диагностической процедуры, связанной с непред-

виденными обстоятельствами (например, аллергия на лазерное излучение).

Условия проведения

Клиническое исследование проведено на кафедре хирургической стоматологии Института стоматологии имени Е.В. Боровского ФГАОУ ВО «Первый МГМУ имени И.М. Сеченова» Минздрава России.

Продолжительность исследования

Клиническое исследование с участием 20 добровольцев проведено в период 2023–2024 годов.

Описание медицинского вмешательства

Для определения возможности и целесообразности использования лазерного излучения длиной волны 445 нм в качестве источника энергии для лазеротерапии и фотобиомодуляции тканей пародонта нами проведено изучение показателей микроциркуляции крови и лимфы в области слизистой оболочки полости рта при воздействии низкоинтенсивным лазерным излучением на область десны (код манипуляции А22.07.008).

Клиническое исследование проводили в утренние часы, в светлое время суток, в положении пациентов сидя в стоматологическом кресле в позиции спинки под углом 100 градусов, голова пациентов была расположена на подголовнике. Держатель диагностического зонда анализатора «ЛАЗМА-Д» устанавливали на слизистую оболочку в зоне прикреплённой кератинизированной десны зубов 4.2–4.3 с вестибулярной стороны (рис. 1). Зона обследования была выбрана методом удобной детерминированной выборки. Для исключения артефактов в записи перфузии нами использована штатная система, состоящая из штатива и фиксатора оптоволоконка.

Микроциркуляцию крови и лимфы оценивали по данным ЛДФ, которую проводили до процедуры

Таблица 1

Блок-схема дизайна исследования

Показатели	Расшифровка обозначений в данном исследовании
P	Пациенты (добровольцы) со здоровым пародонтом
I	Воздействие НИЛИ длиной волны 445 нм на область десны
C	Сравнение результатов лазерной доплеровской флуометрии до и после воздействия НИЛИ длиной волны 445 нм на область десны у добровольцев
O	Определение качества микроциркуляции крови и лимфы у добровольцев после проведения процедуры воздействия НИЛИ длиной волны 445 нм на область десны

Примечание. P — population, I — intervention, C — comparison, O — outcome. НИЛИ — низкоинтенсивное лазерное излучение.

воздействия НИЛИ на область десны для составления контрольных показателей и через 25 минут по её окончании для выявления терапевтического эффекта. Продолжительность каждого измерения составляла 120 секунд.

Процедуру воздействия лазерным излучением длиной волны 445 нм (ALTA BLUE, НТО «ИРЭ-Полюс», Россия) выполняли в области десны зубов 4.2–4.3 с вестибулярной и язычной сторон при мощности лазерного излучения 0,1 Вт бесконтактным способом — динамической методикой в виде спиралеобразных движений в непрерывном режиме (continuous wave, CW) и неиницированным волокном по 30 секунд с каждой стороны (рис. 2). Расстояние от кончика световода до поверхности десны составляло 4,5–5 мм. Площадь зоны воздействия — 2 см². По окончании процедуры на дисплее лазерного аппарата ALTA BLUE показатель «total energy» указывал на значение 6 J. Плотность энергии составляла 3 Дж/см².

Изучение показателей базового кровотока и лимфотока в области десны при воздействии лазерного излучения длиной волны 445 нм выполнено методом ЛДФ. Оценку функционального состояния микроциркуляторного русла десны проводили с помощью компьютеризированного диагностического лазерного анализатора «ЛАЗМА СТ».

Аппарат лазерный диагностический «ЛАЗМА СТ» (ООО НПП «ЛАЗМА», Россия) состоит из анализатора периферического кровотока, лимфотока и коферментов ткани «ЛАЗМА-Д» и блока для температурных и электростимуляционных функциональных проб «ЛАЗМА-ТЕСТ» (Регистрационное удосто-

верение на медицинское изделие от 08.06.2017 № РЗН 2017/5844). Для реализации задач данного исследования нами использован анализатор «ЛАЗМА-Д», оснащённый программным обеспечением версии 3.0.2.384.

При проведении ЛДФ оценивали такие медико-биологические характеристики, как показатель периферического кровотока (показатель микроциркуляции) и показатель периферического лимфотока. Значение показателя микроциркуляции пропорционально произведению числа эритроцитов на среднюю скорость их движения в капиллярах. Значение показателя периферического лимфотока пропорционально произведению числа рассеивателей в лимфотоке на среднюю скорость их движения [15].

После сессии ЛДФ изучаемые диагностические характеристики базального кровотока и лимфотока отображаются на экране монитора в виде цветной доплерограммы и числовых значений: показателя микроциркуляции (M), величины его изменчивости (σ) и коэффициента вариации (Kv).

Коэффициент вариации (Kv) определяет вазомоторную активность сосудов микроциркуляторного русла в процентах (%): $Kv = (\sigma/M) \times 100\%$.

На основании получаемых данных представляется возможность определения состояния микроциркуляции в исследуемой области.

Статистический анализ

Объём выборки был определён с использованием формул Sample size на основе результатов аналогичного исследования, опубликованного ранее [16].



Рис. 1. Зона расположения датчика диагностического зонда при проведении лазерной доплеровской флоуметрии.

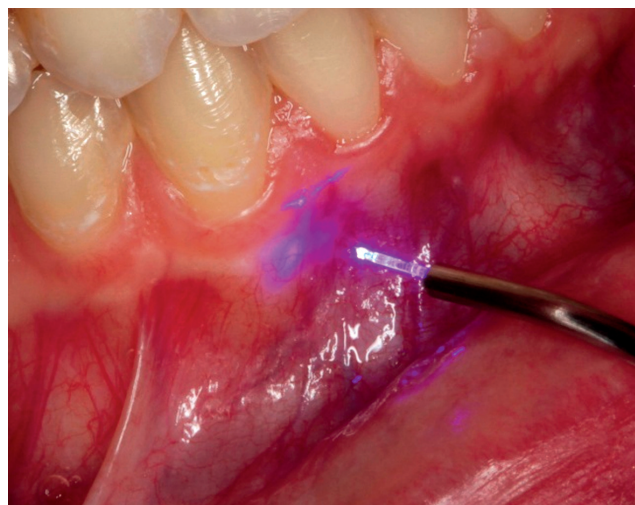


Рис. 2. Процедура низкоинтенсивного лазерного излучения в области десны зубов 4.2–4.3 у практически здорового добровольца.

Статистический анализ и визуализация полученных данных проведены с использованием среды для статистических вычислений R 4.4.2 (R Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия). Для количественных показателей определены среднее значение, стандартное отклонение, медиана и межквартильный интервал; характер распределения установлен с помощью теста Шапиро–Уилка.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

Группу исследования составили 20 студентов-добровольцев Института стоматологии имени Е.В. Боровского, из них 10 юношей и 10 девушек в возрасте 22–24 (средний возраст $22,9 \pm 0,8$) лет, без вредных привычек, без признаков воспаления тканей пародонта, без соматической патологии в анамнезе.

За 7–10 дней до исследования всем участникам была проведена профессиональная гигиена полости рта. В день проведения исследования добровольцы не принимали кофеинсодержащие напитки. Для проведения исследования добровольцы являлись через 3 часа после приёма пищи и выполнения индивидуальной гигиены полости рта. В течение 25 минут осуществляли информирование пациентов о цели исследования и методике ЛДФ, а также проводили осмотр полости рта и определение стоматологического статуса. Данного времени было достаточно для приобретения добровольцами полного эмоционального и физиологического покоя.

Основные результаты исследования

При воздействии лазерного излучения длиной волны 445 нм на область десны 20 добровольцев

показатели ЛДФ изменялись (рис. 3). У здоровых добровольцев среднее значение периферического кровотока (M) крови составило $19,28 \pm 0,61$ пф.ед. (перфузионные единицы). Среднее значение изменчивости показателя микроциркуляции (σ) соответствовало величине $3,07 \pm 0,1$ пф.ед. Значение коэффициента вариации (Kv) выведено по формуле и достигало $15,92 \pm 0,66\%$. После проведения процедуры НИЛИ отмечено статистически значимое увеличение показателя микроциркуляции (M) крови в среднем на 3,07 пф.ед. ($22,36 \pm 1,2$; 95% ДИ 2,44–3,71; $p < 0,001$). Статистически значимых изменений в отношении изменчивости показателя микроциркуляции (σ) не установлено ($p = 0,319$). Однако после процедуры НИЛИ отмечено увеличение вариабельности данного показателя: его стандартное отклонение увеличилось в 6,71 раза (95% ДИ 4,33–10,4; $p < 0,001$) (см. рис. 3). После процедуры НИЛИ было отмечено уменьшение коэффициента вариации (Kv) в среднем на 1,52% ($14,4 \pm 3,04$; 95% ДИ 0,14–2,9; $p = 0,032$). Установлено также статистически значимое увеличение стандартного отклонения данного показателя в 4,62 раза (95% ДИ 2,98–7,15; $p < 0,001$).

Среднее значение показателя микроциркуляции (M) лимфы составило $0,4 \pm 0,07$ пф.ед. Среднее значение изменчивости показателя микроциркуляции (σ) соответствовало величине $0,12 \pm 0,04$ пф.ед. Значение коэффициента вариации (Kv) выведено по формуле и достигало $30,6 \pm 7,3\%$ (рис. 4).

После воздействия лазерным излучением длиной волны 445 нм на область десны значение показателя микроциркуляции (M) лимфы достоверно не изменилось.

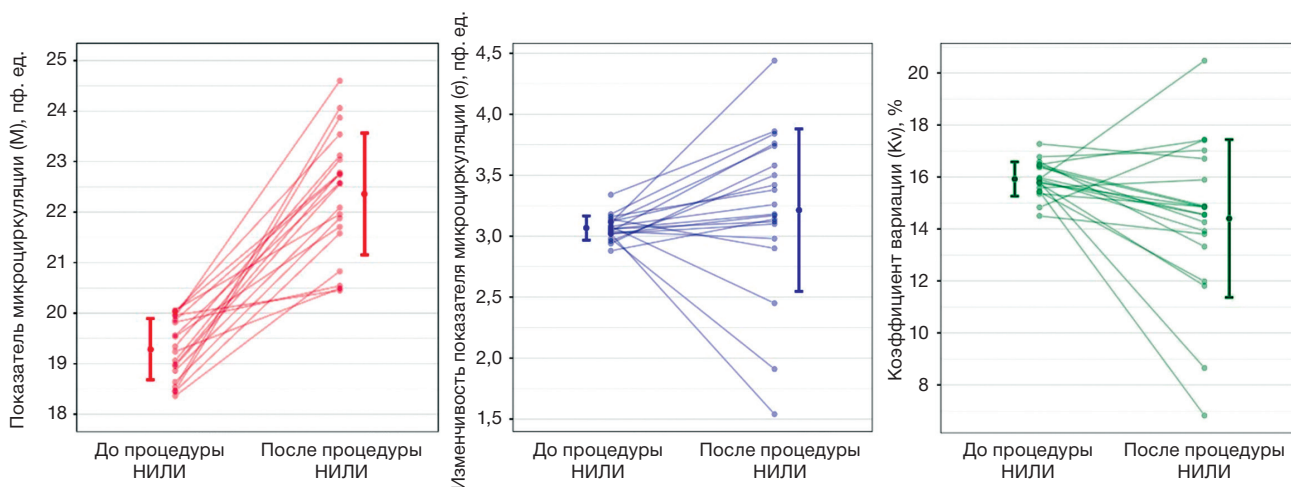


Рис. 3. Динамика изменения показателей базального микрососудистого кровотока десны, определённого методом лазерной доплеровской флоуметрии, при воздействии лазерным излучением длиной волны 445 нм при мощности 0,1 Вт.

Нежелательные явления

Нежелательных реакций на процедуру НИЛИ в ходе исследования не выявлено.

ОБСУЖДЕНИЕ

В нашем исследовании впервые проведено воздействие низкоинтенсивным излучением синего лазера на ткани здорового пародонта. Отмечено незначительное, но достоверное изменение показателей базового кровотока в области тканей десны.

С 2015 года мировым стоматологическим сообществом для обозначения процедуры НИЛИ в области здоровых тканей используется термин «фотобиомодуляция» [17]. Фотобиомодуляция является потенциально эффективным и неинвазивным методом улучшения процессов микроциркуляции [10]. Бесконтактное воздействие лазерного излучения на ткани при невысоких показателях мощности вызывает ряд физиологических процессов на клеточном и тканевом уровнях [9].

Противовоспалительный эффект лазерного излучения красного и инфракрасного спектра света проявляется при мощности 0,1–0,5 Вт и в большей степени — при минимальном значении (0,1 Вт) [9]. Известно также, что максимальное значение мощности физиотерапевтического лечения синим лазером — 0,5 Вт — приближается к показателю абляционного режима. При мощности лазерного излучения 0,7 Вт синий лазер способен рассекать слизистую оболочку полости рта [18]. Целесообразным представилось при физиотерапевтическом применении максимально отдалиться от значений мощности хирургического режима работы синего лазера. Именно по этим причинам в данном клиническом исследовании для воздействия на зону

прикреплённой кератинизированной десны выбрана мощность лазерного излучения в 0,1 Вт.

Основой биологического ответа тканей живого организма на лазерное излучение низкой мощности является феномен активации Ca^{2+} -зависимых реакций в клетках, что проявляется повышением редокс-потенциала митохондрий, увеличением синтеза и накопления аденозинтрифосфата, активацией синтеза ДНК и РНК [9]. Поглощение лазерной энергии хромофорами приводит к активации клеточных ферментов, увеличению показателей окислительного метаболизма, стимуляции микроциркуляции и улучшению оксигенации тканей [19].

Увеличение скорости кровотока в области десны после воздействия лазерным излучением длиной волны 445 нм сопровождается снижением скорости лимфотока, что объясняется физиологическими особенностями микроциркуляции: при повышении скорости крови возрастает гидростатическое давление в капиллярах, что затрудняет фильтрацию жидкости в интерстициальное пространство. Увеличение давления также способствует реабсорбции жидкости из интерстиция обратно в кровь, уменьшая объём жидкости, доступной для образования лимфы. При ускорении кровотока также сокращается время контакта между кровью и стенками капилляров, что уменьшает возможность диффузии жидкости в интерстициальное пространство [15]. Аналогично данным Т.Н. Сафоновой и соавт. [20], увеличение скорости кровотока обуславливает снижение скорости лимфотока и способствует ускорению окислительных процессов в тканях десны. В нашем исследовании мы также наблюдали тенденцию к снижению показателя микроциркуляции лимфы, не достигшей предела статистической значимости.

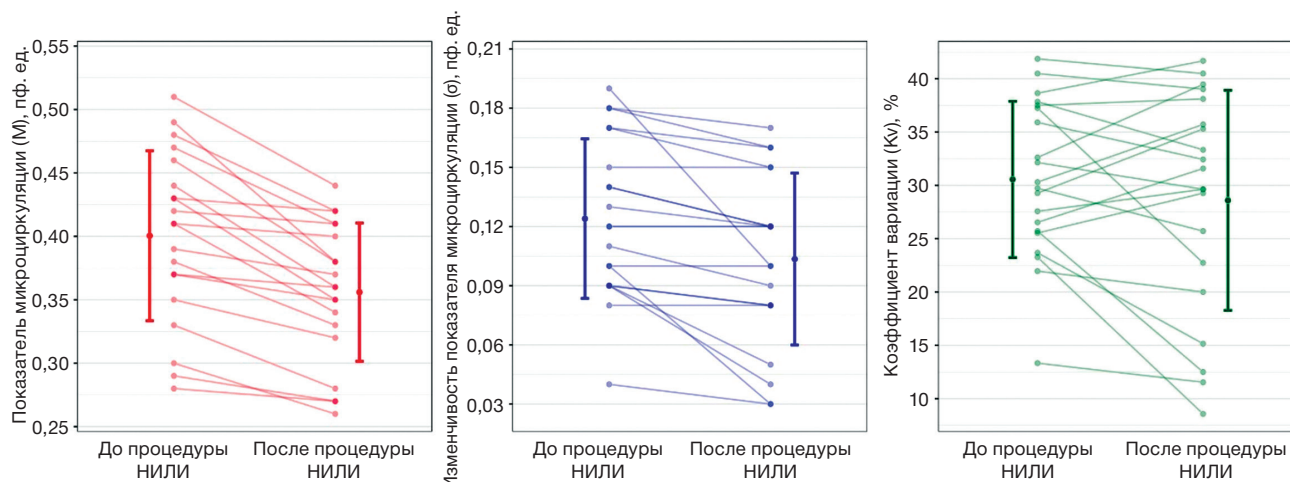


Рис. 4. Динамика изменения показателей базального лимфотока десны, определённого методом лазерной доплеровской флоуметрии, при воздействии лазерным излучением длиной волны 445 нм при мощности 0,1 Вт.

При нарушении функционирования микроциркуляторного русла происходит замедление кровотока, изменение формы и количества функционирующих капилляров, формируется венозный застой, что приводит к появлению цианоза слизистой оболочки папиллярной и маргинальной десны [21, 22].

Воздействие лазерного излучения длиной волны 445 нм при мощности 0,1 Вт в течение 1 минуты на область десны одного зуба вызывает увеличение скорости кровотока в тканях пародонта у здоровых добровольцев. В доступной литературе отсутствуют научные данные о влиянии излучения синего лазера на микроциркуляцию тканей десны при большей мощности. В эксперименте было установлено, что при несоблюдении методики НИЛИ при мощности 0,5 Вт происходит нагревание тканей пародонта лабораторных животных до 52,3°C, что значительно выше пороговых значений (42°C) [23]. Известно, что пик поглощения лазерного излучения гемоглобином соответствует длине волны синего диапазона спектра [10]. При применении мощности лазерного излучения, близкому к абляционному, процедура НИЛИ может вызвать агрегацию эритроцитов и гемостаз. На основании полученных результатов и научно обоснованных фактов при проведении профилактических мероприятий заболеваний тканей пародонта рекомендуется выполнение процедуры фотобиомодуляции с применением технологии синего лазера при мощности 0,1 Вт.

Лазерная доплеровская флоуметрия — объективный и неинвазивный метод функциональной диагностики микроциркуляции поверхностных тканей, позволяющий непрерывно регистрировать кровоток и лимфоток в режиме реального времени [15, 24]. Основными измеряемыми показателями в ЛДФ являются динамика показателя микроциркуляции и спектральные составляющие колебаний кровотока и лимфотока в тканях [15, 25]. Эти показатели зависят от множества физиологических, патологических и физических факторов, таких как пол, возраст, эмоциональное состояние человека, наличие сосудистой патологии, наличие метаболических заболеваний, температура воздуха в кабинете функциональной диагностики и др. [15, 26–29], в связи с чем для объективизации результатов функционального исследования нами использована предварительная подготовка пациентов в течение 25 минут.

Перспективным представляется изучение особенностей микроциркуляции в области десны при воздействии лазерным излучением длиной

волны 445 нм у пациентов с диагнозом «Гингивит и пародонтит».

Ограничения исследования

Ограничением исследования является то, что оно одноцентровое и нерандомизированное.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые представлена информация о возможности клинического применения инновационной лазерной технологии длиной волны 445 нм при фотобиомодуляции тканей пародонта. Полученные результаты о повышении скорости кровотока при мощности лазерного излучения 0,1 Вт указывают на возможность применения данного режима фотобиомодуляции в клинической практике.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. *Н.В. Романенко* — идея и дизайн исследования, проведение клинического исследования, написание текста, статистическая обработка данных, окончательная научная редакция, формулировка заключения; *Е.В. Тульских* — участие в клиническом исследовании, сбор и статистическая обработка данных; *Н.М. Кирсанова* — участие в клиническом исследовании, сбор данных, обзор литературы; *С.В. Тарасенко* — окончательная научная редакция, общее руководство. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Этическая экспертиза. Проведение клинического исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» Минздрава России 16 февраля 2023 года (протокол ЛЭК № 03-23 от 16.02.2023).

Благодарности. Авторы выражают благодарность руководителю научно-производственного предприятия «ЛАЗМА» Сидорову Виктору Васильевичу за обучение работе с лазерным диагностическим аппаратом «ЛАЗМА СТ» и консультирование.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. N.V. Romanenko — concept and study design, conducting a clinical trial, manuscript writing, statistical data processing, final scientific editing, formulation of conclusions; E.V. Tulsikh — participation in a clinical trial, data collection and statistical analysis; N.M. Kirsanova — participation in a clinical trial, data collection, literature review; S.V. Tarasenko — final scientific editing, general guidance. The authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Ethics approval. The clinical trial was approved by the local ethics committee of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “I.M. Sechenov First Moscow State Medical University” of the Ministry of Health of the Russian Federation on February 16, 2023 (LEK Protocol № 03–23 dated February 16, 2023).

Acknowledgments. The authors express their gratitude to the head of the scientific and production enterprise “LAZMA” Viktor V. Sidorov for training in working with the laser diagnostic device “LAZMA ST” and consulting.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Агафонова И.С. Применение вакуум-лазерной терапии в комплексном лечении хронического гингивита // *Российский стоматологический журнал*. 2024. Т. 28, № 1. С. 93–98. [Agafonova IS. Application of vacuum-laser therapy in complex treatment of chronic gingivitis. *Russian journal of dentistry*. 2024;28(1):93–98]. doi: 10.17816/dent607397 EDN: ATQMNX
- Karoussis IK, Kyriakidou K, Psarros C et al. Effects and Action Mechanism of Low-Level Laser Therapy (LLLT): Applications in periodontology. *Dentistry*. 2018;8(9):1000514. doi: 10.4172/2161-1122.1000514
- Светлакова Е.Н., Мандра Ю.В., Жегалина Н.М. Применение низкоинтенсивного лазерного излучения в комплексном лечении заболеваний пародонта // *Проблемы стоматологии*. 2010. № 5. С. 8–11. [Svetlakova EN, Mandra YuV, Zhegalina NM. Using of low intensity laser therapy in chronical gingivitis treatment. *The Actual problems in dentistry*. 2010;(5):8–11]. EDN: NRASVF
- Джиджавадзе С.В., Клинцева К.Ю., Овсиенко А.А. Применение лазерных технологий в комплексной противовоспалительной терапии гингивита: 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. Минск, 2022. С. 124–128. [Dzhidzhavadze SV, Klintsova KYu, Ovsienko AA. Application of laser technologies in complex anti-inflammatory therapy of gingivitis: Collection of works of the National Congress with international participation “Parinsky Readings 2022”, dedicated to the memory of Professor, Honored Scientist of the Republic of Belarus O.P. Chudakov. Minsk, May 5–6. Minsk; 2022. P. 124–128. (In Russ.)]
- Романенко Н.В., Тарасенко С.В., Крылова Ю.В. Применение диодного полупроводникового лазера при лечении протетического гингивита: материалы международной научно-практической конференции, посвященной памяти ученого С.Э. Кубаева. Самарканд, 25–26 февраля / под ред. Ж.А. Ризаева. Самарканд; 2022. С. 397–402. [Romanenko NV, Tarasenko SV, Krylova YuV. Application of a diode semiconductor laser in the treatment of prosthetic gingivitis: Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the memory of the scientist S.E. Kubaev. Samarkand, February 25–26. Ed. by Zh.A. Rizaev. Samarkand; 2022. P. 397–402. (In Russ.)]
- Manjunath Sh, Singla D, Singh R. Clinical and microbiological evaluation of the synergistic effects of diode laser with nonsurgical periodontal therapy: A randomized clinical trial. *J Indian Society Periodontol*. 2020;24(2):145–149. doi: 10.4103/jisp.jisp_101_19
- Sakurai Y, Yamaguchi M, Abiko Y. Inhibitory effect of low-level laser irradiation on LSP-stimulated prostaglandin E2 production and cyclooxygenase-2 in human gingival fibroblasts. *Eur J Oral Sci*. 2000;108(1):29–34. doi: 10.1034/j.1600-0722.2000.00783.x
- Nunez SC, Nogueira GE, Ribeiro MS, et al. He-Ne laser effects on blood microcirculation during wound healing: A method of in vivo study through laser Doppler flowmetry. *Lasers Surg Med*. 2004;35(5):363–368. doi: 10.1002/lsm.20109
- Moskvin SV. Low-level laser therapy in Russia: History, science and practice. *Lasers Med Sci*. 2017;8:56–65. doi: 10.15171/jlms.2017.11
- Convissar RA. Principles and practice of laser dentistry: Second edition. Mosby; 2015. 328 p.
- Мустафина Ф.К. Исследование показателей микроциркуляции для определения эффективности лечения катарального гингивита с использованием лазерного излучения у лиц молодого возраста: Дис. ... канд. мед. наук. Москва, 2005. 131 с. [Mustafina FK. Study of microcirculation parameters to determine the effectiveness of treatment of catarrhal gingivitis using laser radiation in young people [dissertation]. Moscow; 2005. 131 p. (In Russ.)] EDN: NPIMKB
- Кречина Е.К., Тарасова М.М., Гусева И.Е., и др. Клинико-функциональное обоснование лечения хронического генерализованного пародонтита методом ФДТ // *Клиническая стоматология*. 2024. Т. 27, № 4. С. 6–10. [Krechina EK, Tarasova MM, Guseva IE, et al. Clinical and functional rationale for the treatment of chronic generalized periodontitis using PDT. *Clinical dentistry*. 2024;27(4):6–10]. doi: 10.37988/1811-153X_2024_4_6 EDN: MJBVLD
- Palaia G, Pergolini D, D'Alessandro L, et al. Histological effects of an innovative 445 nm blue laser during oral soft tissue biopsy. *Int J Environment Res Public Health*. 2020;17(8):2651. doi: 10.3390/ijerph17082651
- Lusche I, Dirk C, Frentzen M, et al. Cavity disinfection with a 445 nm diode laser within the scope of restorative therapy: A pilot study. *J Laser Med Sci*. 2020;11(4):417–426. doi: 10.34172/jlms.2020.66
- Крупаткин А.И., Сидоров В.В. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: колебания, информация, нелинейность. Руководство для врачей. Изд. 2-е. Москва: Ленанд, 2016. 496 с. [Krupatkin AI, Sidorov VV. Functional diagnostics of the state of microcirculatory-tissue systems: Oscillations, information, nonlinearity. Manual for doctors. 2nd ed. Moscow: Lenand; 2016. 496 p. (In Russ.)]
- Canjau S, Miron MI, Todea CD. Laser doppler flowmetry evaluation of gingival microcirculation recovery in gingivitis. *Arch Balkan Med Union*. 2015;50(3):354–359.
- Anders JJ, Lanzafame RJ, Arany PR. Low-level light/laser therapy versus photobiomodulation therapy. *Photomed Laser Surg*. 2015;33(4):183–184. doi: 10.1089/pho.2015.9848

18. Романенко Н.В., Тарасенко С.В., Сережникова Н.Б., и др. Сравнительная оценка результатов биологического ответа слизистой оболочки полости рта на воздействие лазерным излучением с длиной волны 445 и 810 нм (экспериментальное исследование) // *Клиническая стоматология*. 2022. Т. 25, № 4. С. 137–143. [Romanenko NV, Tarasenko SV, Serezhnikova NB, et al. A comparative assessment of the results of the biological response of the oral mucosa on the effect of laser radiation with a wavelength of 445 nm and 810 nm. *Clinical dentistry*. 2022;25(4):137–143.] doi: 10.37988/1811-153X_2022_4_137 EDN: TRUZZG
19. Малиновский Е.Л. *Методическое пособие по эксплуатации магнито-ИК-светолазерного терапевтического аппарата «МИЛТА-Ф-5-01» (БИО)*. Москва: НПО Космического приборостроения, 2017. 352 с. [Malinovsky EL. *Methodological manual for the operation of the magnetic-IR-light-laser therapeutic device "MILTA-F-5-01" (BIO)*. Moscow: NPO Kosmicheskogo priborostroeniya; 2017. 352 p. (In Russ.)]
20. Сафонова Т.Н., Кинтукхина Н.П., Сидоров В.В., и др. Исследование микроциркуляции кровотока и лимфотока в коже век методом лазерной доплеровской флоуметрии // *Вестник офтальмологии*. 2017. Т. 133, № 3. С. 16–21. [Safonova TN, Kintukhina NP, Sidorov VV, et al. Microcirculatory blood and lymph flow examination in eyelid skin by laser Doppler flowmetry. *Russian Annals of ophthalmology*. 2017;133(3):16–21] doi: 10.17116/oftalma2017133316-21 EDN: ZATDRF
21. Зюлькина Л.А., Сабаяева М.Н., Иванов П.В., и др. Микроциркуляция тканей пародонта: причины нарушений и механизмы коррекции // *Современные проблемы науки и образования*. 2017. № 2. С. 1–9. [Zyulkin LA, Sabaeva MN, Ivanov PV, et al. Microcirculation of periodontal tissues: Causes of disorders and mechanisms of correction. *Modern problems of science and education*. 2017;(2):1–9. (In Russ.)]
22. Yamamoto R, Amano K, Takahashi SW, et al. Changes in the microcirculation in periodontal tissue due to experimental peri-implantitis. *J Oral Biosci*. 2021;63(2):153–160. doi: 10.1016/j.job.2021.03.002
23. Kerdvongbundit V, Sirirat M, Sirikulsathean A, et al. Blood flow and human periodontal status. *Odontology*. 2002;90:52–56. doi: 10.1007/s102660200008
24. Романенко Н.В., Тарасенко С.В., Суворов А.Ю., и др. Экспериментальное обоснование безопасности применения лазерного излучения длиной волны 445±40 нм в стоматологической практике // *Стоматология для всех*. 2022. № 4. С. 28–33. [Romanenko NV, Tarasenko SV, Suvorov AY, et al. Experimental substantiation for the safety of the use of laser radiation with a wavelength of 445±40 nm in dental practice. *Stomatology for all*. 2022;(4):28–33]. doi: 10.35556/idr-2022-4(101)28-33 EDN: YGHGUI
25. Kerdvongbundit V, Vongsavan N, Soo-Ampon S, et al. Microcirculation of the healthy human gingiva. *Odontology*. 2002;90:48–51. doi: 10.1007/s102660200007
26. Kerémi B, Csempesz F, Vág J, et al. [Blood flow in marginal gingiva as measured with laser Doppler flowmetry. (In Hungarian)]. *Fogorv Sz*. 2000;93(6):163–168.
27. Kouadio AA, Jordana F, Koffi NJ, et al. The use of laser Doppler flowmetry to evaluate oral soft tissue blood flow in humans: A review. *Arch Oral Biol*. 2018;86:58–71. doi: 10.1016/j.archoralbio.2017.11.009
28. Laredo-Naranjo MA, Patiño-Marín N, Martínez-Castañón GA, et al. Identification of gingival microcirculation using laser doppler flowmetry in patients with orthodontic treatment: A longitudinal pilot study. *Medicina*. 2021;57:1081. doi: 10.3390/medicina57101081
29. Firkova E, Bouka M. Laser Doppler flowmetry in the evaluation of periodontal health and disease. *J IMAB*. 2019;25(3):2599–2602. doi: 10.5272/jimab.2019253.2599

ОБ АВТОРАХ

Автор, ответственный за переписку:

Романенко Наталья Валерьевна, канд. мед. наук, доцент;
адрес: Россия, 121059, Москва, Можайский Вал, д. 11;
ORCID: 0000-0002-5846-5578;
eLibrary SPIN: 4025-2805;
e-mail: clematis@inbox.ru

Соавторы:

Тульских Екатерина Вячеславовна;
ORCID: 0000-0001-7807-637X;
e-mail: shchetinakatya@yandex.ru

Кирсанова Наталья Михайловна;
ORCID: 0009-0006-6348-1835;
e-mail: nata.kirs14@yandex.ru

Тарасенко Светлана Викторовна, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0001-8595-8864;
eLibrary SPIN: 3320-0052;
e-mail: prof_tarasenko@rambler.ru

AUTHORS' INFO

The author responsible for the correspondence:

Natalia V. Romanenko, MD, PhD, Assistant Professor;
address: 11 Mozhaysky Val, Moscow, Russia, 121059;
ORCID: 0000-0002-5846-5578;
eLibrary SPIN: 4025-2805;
e-mail: clematis@inbox.ru

Co-authors:

Ekaterina V. Tulsikh;
ORCID: 0000-0001-7807-637X;
e-mail: shchetinakatya@yandex.ru

Natalia M. Kirsanova;
ORCID: 0009-0006-6348-1835;
e-mail: nata.kirs14@yandex.ru

Svetlana V. Tarasenko, MD, PhD, Professor;
ORCID: 0000-0001-8595-8864;
eLibrary SPIN: 3320-0052;
e-mail: prof_tarasenko@rambler.ru