

DOI: <https://doi.org/10.17816/uds635366>

Инновационное использование лазера в стоматологии

М.Г. Тумасян, С.Г. Тумасян, Е.А. Сатыго

Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

За последние десятилетия лазерные технологии получили распространение в медицинской практике, особенно в стоматологии, что привело к существенным изменениям в различных аспектах клинического применения. Рост использования лазеров в стоматологии обусловлен их характеристиками: высокой точностью, минимальной инвазивностью, широкими возможностями применения. Поиск литературы осуществлялся в базах данных PubMed, Scopus, Web of Science. В выборку были включены статьи, опубликованные в рецензируемых журналах и посвященные использованию лазерных технологий в стоматологии. Обзор охватывает последние достижения и тенденции в этой области. Рассматривается роль лазера в диагностике, лечении и регенерации тканей зуба и пародонта, различные типы лазеров, широко используемые в стоматологии, обсуждается их применение в стоматологических процедурах. Обзор выявил широкий спектр применения лазерных технологий в стоматологии, включая диагностику кариеса, препарирование тканей зуба, эндодонтическое лечение, пародонтологию, эстетическую стоматологию. Лазеры обеспечивают высокую точность, минимальное термическое повреждение и улучшенные клинические результаты по сравнению с традиционными методами лечения. Лазерные достижения открыли новые возможности во всех аспектах стоматологии и послеоперационного ухода. Лазеры способны улучшить эффективность и уровень комфорта различных стоматологических процедур. Исследования и разработки в этой области расширяют возможности применения лазерных технологий в стоматологии в будущем.

Ключевые слова: лазер; лазерная стоматология; лазерная диагностика; лечение заболеваний полости рта; инновационные методы.

Как цитировать

Тумасян М.Г., Тумасян С.Г., Сатыго Е.А. Инновационное использование лазера в стоматологии // Университетская стоматология и челюстно-лицевая хирургия. 2024. Т. 2, № 3. С. 113–122. DOI: <https://doi.org/10.17816/uds635366>

DOI: <https://doi.org/10.17816/uds635366>

Innovative Laser Technology in Dentistry

Micheil G. Toumassian, Serge G. Toumassian, Elena A. Satygo

North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

In recent decades, laser technology has been widely used in medicine, particularly in dentistry, resulting in significant advancements in various aspects of clinical practice. Laser technology is becoming increasingly popular due to such characteristics as high accuracy, minimal invasiveness, and wide range of applications. The literature search was performed in the databases PubMed, Scopus, and Web of Science. The analysis included studies published in peer-reviewed journals, which assessed the use of laser technology in dentistry. The latest advancements and trends in the field were reviewed. The role of laser technology in the diagnosis, treatment, and regeneration of dental and periodontal tissues is discussed, as well as various types of lasers used in dentistry and their applications for dental procedures. The review revealed a wide range of laser technology applications in dentistry, including the diagnosis of dental caries, dental tissue preparation, endodontic treatment, periodontology, and esthetic dentistry. Laser technology ensures high accuracy, minimal thermal injury, and improved clinical outcomes compared to conventional treatment options. Laser technology opens up new opportunities in all aspects of dentistry and postoperative care. It improves the efficacy and comfort during various dental procedures. Advancements in this area provide new possibilities for the use of laser technology in dentistry in the future.

Keywords: laser; dental laser; laser diagnosis; treatment of oral pathologies; innovative approaches.

To cite this article

Toumassian MG, Toumassian SG, Satygo EA. Innovative Laser Technology in Dentistry. *Acta Universitatis Dentistriae et Chirurgiae Maxillofacialis*. 2024;2(3):113–122. DOI: <https://doi.org/10.17816/uds635366>

Received: 23.08.2024

Accepted: 05.09.2024

Published online: 10.10.2024

ВВЕДЕНИЕ

С момента появления лазеров в стоматологии в 1960-х годах начался активный рост их клинического применения. Laser — это аббревиатура, которая расшифровывается как Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation — «усиление света путем вынужденного излучения». Исходя из этого, лазер можно определить как устройство, вырабатывающее световую энергию в процессе оптического усиления за счет вынужденного испускания электромагнитного излучения [1]. Фотоны, образующие лазерный луч, когерентны, усилены в фазе (стоячая волна) излучениями определенной длины волны (монохроматическими). Стойкая волна излучения делает лазер особенно эффективным инструментом в стоматологии более двух десятилетий [2]. Благодаря своей простоте, эффективности, удобству и ряду преимуществ по сравнению с традиционными методами (включая бесконтактное воздействие, минимальную инвазивность, низкую системную токсичность, избирательное воздействие на патологические ткани, гемостаз, более быстрое заживление и снижение склонности к инфекции в послеоперационном периоде), лазеры стали неотъемлемой частью стоматологической практики для проведения широкого спектра процедур [3, 4], от диагностики до разрезания твердых тканей и применения при хирургических вмешательствах, а также для обработки стоматологических материалов [5]. Лазер используется в консервативной стоматологии, эндодонтии, пародонтологии, имплантологии, хирургии полости рта и т. д. [6].

Цель работы — обзор современного состояния лазерных технологий в стоматологии: рассмотрение роли лазера в диагностике, лечении и регенерации тканей зуба и пародонта, различных типов лазера, используемых в стоматологии, их применения в стоматологических процедурах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения обзора была осуществлена выборка релевантной русскоязычной и зарубежной литературы в ведущих научных базах данных PubMed, Scopus и Web of Science. В обзор были включены следующие типы публикаций: оригинальные исследования, обзорные статьи, клинические случаи. Для отбора релевантных публикаций были использованы следующие ключевые слова и сочетания: laser dentistry, dental laser, laser application in dentistry, laser therapy in dentistry, innovative laser technology in dentistry, laser classification и др. Включены статьи, опубликованные в рецензируемых журналах. Обзор позволил выявить ключевые направления использования лазерных технологий в стоматологии, оценить их эффективность и безопасность, проанализировать тенденции развития лазерной стоматологии в ближайшем будущем.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Классификация лазеров

Лазеры в стоматологии можно классифицировать по среде действия, которая включает твердотельные, диодные, газовые и полупроводниковые лазеры. Также они могут быть классифицированы по длине волны: эрбиевые, легированные неодимом иттрий-алюминиевые гранаты (Nd:YAG), лазеры на углекислом газе (CO₂) и аргоновые лазеры. Дополнительно лазеры можно классифицировать в зависимости от их применения, например, лазеры для мягких тканей для таких процедур, как контурирование десен, и лазеры для твердых тканей для препарирования полостей и абляции зубов. Также лазеры могут быть классифицированы по степени опасности для кожи или глаз после длительного воздействия. В сложных стоматологических случаях использование комбинаций волн различной длины обеспечивает высокий уровень лечения [7].

В стоматологии для генерации лазерного излучения применяются различные вещества, включая эрбий, углекислый газ и неодим. Используются комбинации таких веществ, как, например, YAG-иттрий, алюминий и гранат; YSGG-иттрий, скандий, галлий и гранат, а также эксимерные, аргоновые и диодные лазеры. Каждый излучает свет определенной длины волны [8]. Классификация лазеров в зависимости от длины волны и воздействия на целевые ткани представлена в таблице 1.

Лазер как диагностический инструмент

Традиционный метод диагностики кариеса — зондирование эмали — может повредить эмаль и спровоцировать развитие кариеса. Один из альтернативных методов диагностики — диодный лазер, например KaVo-Diagnodent (KaVo, Германия) с длиной волны 655 нм, обнаруживающий начальные стадии кариеса с помощью лазерной флуоресценции. Кариозные поражения выделяются более яркой флуоресценцией, что помогает точно определить их местоположение. Методика также позволяет осуществлять мониторинг деминерализации и реминерализации твердых тканей зуба, обнаружить интерпроксимальные и окклюзионные поражения под пломбами и фиссурными герметиками в межзубном пространстве [9, 10].

Лазерная доплеровская флоуметрия, основанная на эффекте Доплера, является современным методом дополнительной диагностики нарушений микроциркуляции в тканях пародонта. Флоуметр способен зондировать исследуемую область, отражая лазерное излучение от форменных элементов крови, в частности эритроцитов [11]. С помощью данного метода оценивают уровень проницаемости крови в тканях пародонта, чтобы выявить раннюю ишемию тканей, которая может возникнуть из-за аномального (излишне суженного) расположения зубов или в результате ортодонтического лечения. Ишемия тканей происходит из-за нарушения микроциркуляции,

Таблица 1. Длина волны используемого лазерного излучения и ткань, на которую оно направлено**Table 1.** Wavelength of applied laser radiation and the target tissue

Тип лазера	Длина волны, нм. Импульсный режим	Используемые хромофоры	Целевая ткань
Диодный	850–1064	Пигмент Гемоглобин Меланин	
Неодимовый иттрий-алюминиевый гранат (Nd:YAG)	1064	Пигмент Гемоглобин Меланин	Десна, слизистые оболочки
Эрбиевый лазер (Er:YAG)	2940	Вода Гидроксиапатит	Эмаль, дентин, кость
Лазеры на кристаллах (Er, Cr:YSGG)	2860	Вода Гидроксиапатит	Десна, слизистые оболочки Эмаль, дентин, кость
Углекислый газ (CO ₂)	10 640	Вода	Десна, слизистые оболочки Эмаль, дентин, кость

что приводит к нарушению снабжением кислородом и, в конечном итоге, к повреждениям тканей пародонта [12]. Также метод помогает определить реваскуляризацию травмированных зубов. Используются диодные лазеры He-Ne и GaAlAs при низкой мощности 1 или 2 мВт [13].

Развитие технологий лазерной флуоресценции привело к появлению такого метода диагностики, как раман-флуоресцентная спектроскопия [14]. Он позволяет идентифицировать органические молекулы по спектрам неупругого рассеяния света и является одним из наиболее точных способов анализа органических и неорганических соединений [15]. Рамановское излучение может быть использовано для оценки состояния зубов как при нормальном состоянии, так и при наличии патологий, позволяя определить степень минерализации или деминерализации твердых тканей [16, 17].

Преимущества использования лазера в стоматологии

В отличие от традиционных методов хирургического вмешательства, лазерное лечение кровеносных и лимфатических опухолей в полости рта и на вермилиевых участках губ обеспечивает оптимальное заживление без анатомических искажений [18]. За счет тиссулярного биопотенциала определенных длин лазерных волн возможно успешное удаление болезненных участков слизистой оболочки при лихеноидных заболеваниях [19]. Использование лазерных лучей обладает большим потенциалом для эффективной дезинфекции инфицированных областей полости рта и успешного лечения вирусных опухолей [20]. Использование лазера в ортопедической хирургии также имеет преимущества. При использовании лазера нет необходимости в послеоперационных швах,

что предотвращает деформацию операционных участков и сохраняет длину вестибулярного аппарата. При лечении пациентов со съемными протезами после удаления опухолей или гиперплазии десны лазером также не требуется ушивание раны, что позволяет сохранить или в некоторых случаях увеличить длину вестибулярного аппарата, что является важным для стабильности и фиксации протезов [21].

В хирургической стоматологии диодные лазеры рассматриваются как наиболее оптимальный выбор благодаря своему широкому спектру применения, высокой надежности и понятному управлению. При использовании диодного лазера с длиной волны 810 нм можно значительно улучшить результаты хирургического лечения пациентов с различными заболеваниями полости рта и челюстно-лицевой области, включая предонкологические состояния, опухоли и воспаления [22, 23].

Изучение клинических и иммунологических методов демонстрирует, что применение лазерной терапии способствует активации локальных механизмов защиты организма за счет стимуляции секреторных, гуморальных и клеточных факторов. Помимо этого, анализ популяции лейкоцитов в периферической крови свидетельствует об отсутствии воспалительных процессов, интоксикации и иммунодефицита после воздействий лазером [24].

Данные исследований демонстрируют, что применение диодного лазера в комплексном лечении воспалительных заболеваний пародонта способствует улучшению качества жизни пациентов путем снижения уровня болевых ощущений, отсутствия функциональных ограничений, непродолжительной реабилитации и восстановления, при этом сроки проводимого лечения значительно сокращаются [25, 26].

Лазерная обработка твердых тканей зуба (эмали и дентина)

Лазер может удалять инфицированный и размягченный кариозный дентин так же эффективно, как и бор. Однако при использовании Er:YAG-лазеров отмечается более низкая степень вибрации. Они безопасно и эффективно удаляют кариес и подготавливают полости, сохраняя структуру зуба без эффекта повышения температуры вокруг нерва, а также помогают удалять дефектные композитные реставрации и цементы, обеспечивая безопасное воздействие на зубы [27].

Благодаря сильному флуоресцентному сигналу, выделяемому бактериальными порфиринами в камне зуба, можно эффективно использовать Er:YAG-лазер для скалирования. Эти лазеры проявляют высокую способность к уничтожению бактерий, в частности таких патогенов пародонта, как *Porphyromonas gingivalis* и *Actinobacillus actinomycetemcomitans* [28].

Лазер YSGG был одобрен в 1999 году для обработки полостей I–V классов, а также удаления кариеса, вскоре после этого было получено аналогичное разрешение для использования в лечении детей. Кроме того, поскольку лазер воздействует на клеточном уровне и помогает подавить болевую реакцию, большинство процедур с твердыми тканями можно проводить без инъекционной анестезии.

Лазер YSGG обеспечивает высокоточную обработку ямок и фиссур на окклюзионных поверхностях моляров, что способствовало развитию направлений микро- и минимально инвазивной стоматологии [29].

В последние годы лазер активно применяется в профилактике кариеса на субабляционных уровнях, где энергия достаточна для изменения структуры эмали, но не достаточна для абляции тканей. В начале 1980-х годов было доказано, что лазерное излучение способно изменять структуру поверхностных тканей зубной эмали. Когда лазер взаимодействует с эмалью на субабляционном уровне, происходит быстрое и поверхностное повышение температуры от 100 до 1600 °С, что приводит к модификации структуры тканей [30].

Излучение лазера взаимодействует с водой и гидроксиапатитом, хромофорами эмали. Внутри облученной эмали уменьшается концентрация воды, особенно вокруг кристаллов гидроксиапатита, что приводит к снижению проницаемости тканей, включая проникновение кислот, вырабатываемых бактериями кариеса. Облучение также изменяет химический состав гидроксиапатита, повышая содержание кальция и фосфата и снижая уровень карбоната. Эти изменения улучшают химическую стабильность гидроксиапатита, увеличивая степень его кристалличности и улучшая структурные свойства эмали [31].

Использование лазера продемонстрировало дополнительные преимущества в условиях *in vitro*: увеличение поглощения фтора эмалью и улучшение фиксации герметика при использовании в сочетании с кислотным гелем для протравливания эмалевых ямок и фиссур [32].

Применение лазера повышает эффективность эндодонтического лечения. Это происходит благодаря излучению, способному эффективно дезинфицировать эндодонтическую систему и удалять детрит и смазанный слой из корневого канала. Благодаря выделению тепла лазер обладает высокой бактерицидной активностью, что приводит к испарению воды, присутствующей в значительном объеме в бактериальной клетке. Этот процесс приводит к разрушению клеточной стенки бактерии и, в конечном итоге, к нарушению осмотического равновесия, провоцируя гибель клетки. Из-за малого диаметра дентинных канальцев проникновение антисептических жидкостей ограничено глубиной не более 100 нм, в то время как микроорганизмы могут проникать в дентин на глубину до 700 нм. Решение этой проблемы в использовании лазера, поскольку его проникающая способность превышает эти ограничения [8, 33].

Использование интраоральных камер VistaCam

В последние годы большое внимание уделяется использованию ближнего инфракрасного отражения (near-infrared reflection — NIRr) для диагностики апроксимального кариеса в боковых зубах. Для этой цели были разработаны камеры VistaCam iX и VistaCam iX HD (компания Dür Dental, Германия) на основании технологии флуоресценции. Камера многофункциональна, так как имеет насадки для создания внутриротовых снимков (Cam), получения изображения в 120-кратном увеличении (Macro), диагностики кариеса проксимальных поверхностей зубов (Proxi), диагностики кариеса и зубного налета (Proof) [34]. Устройство использует 2 инфракрасных светодиода с длиной волны 850 нм, выходной мощностью 6 мВт и световым пятном размером 7 × 9 мм для освещения близлежащих областей 2 соседних зубов. Между светодиодами установлен полупроводниковый датчик для записи отраженного света. Затем делается цифровой снимок и выводится на монитор в черно-белом виде с помощью программ визуализации DBSWIN или VistaSoft (Dür Dental, Германия) [35].

В исследовании F. Ahrari и соавт. головка Proxi системы VistaCam iX показала высокую чувствительность для выявления раннего апроксимального кариеса в боковых постоянных зубах, но при этом она была связана с высокой долей ложноположительных результатов и, соответственно, очень низкой специфичностью [36]. Таким образом, NIRr не подходит для выявления апроксимальных поверхностей, не имеющих кариеса. В целом, NIRr показал низкую точность при выявлении апроксимального кариеса. Лазерная флуоресценция продемонстрировала относительно более высокий по сравнению с NIRr уровень диагностической точности для выявления апроксимального кариеса в постоянных боковых зубах. Однако в рамках данного исследования VistaCam iX Proxi нельзя рассматривать как подходящее устройство для диагностики апроксимального кариеса.

Использование метода количественной светоиндуцированной флуоресценции

Метод количественной светоиндуцированной флуоресценции (Quantitative light-induced fluorescence — QLF) широко используется в стоматологии для оценки состояния эмали во время различных процедур. Он позволяет быстро и объективно определить уровень гигиены в ротовой полости пациента, а также динамически отслеживать процессы де- и реминерализации эмали, не нанося эмали урона. Применение QLF открывает новые возможности для стоматологов и гигиенистов, помогая выявлять патологии на ранней стадии, проводить диагностику зубной эмали, обнаруживать зубной налет без окрашивания, определять скрытые очаги кариеса, трещины, зубной камень и оценивать уровень гигиены в полости рта [37]. По данным А.А. Лыткиной и А.Ю. Зейберт [38], метод QLF представляет собой более информативный способ диагностики раннего кариеса по сравнению с традиционными методами (визуальный осмотр и зондирование). Применение метода позволило выявить на 17 % больше случаев кариозного поражения твердых тканей зубов.

Использование лазера для лечения слизистой оболочки полости рта и дисфункции височно-нижнечелюстного сустава

В работе Н.В. Тиуновой и Г.Б. Любомирского [39] представлены данные о лечении лазером слизистой оболочки рта. Показано, что использование диодного лазера с длиной волны 810 нм для лазерной термоабляции, совместно с применением коллагенового препарата в послеоперационном периоде, в рамках комплексного лечения вертукозной формы лейкоплакии привело к хорошему клиническому результату: у пациентов исчезли жалобы, при осмотре наблюдалась эпителизация.

В исследовании М.Н. Пузина и соавт. [40] было проведено лечение 175 пациентов с синдромом дисфункции височно-нижнечелюстного сустава. Боль является одним из основных симптомов этого нарушения, иногда сопровождаемого звуковыми явлениями или ограничениями движения челюсти. Лечение проводилось с использованием ортопедических, медикаментозных и физиотерапевтических методов, включая лазерную диагностику и терапию гелий-неоновым лазером. Данный комплекс оказался эффективен в снижении боли и восстановлении жевательных мышц. Использование гелий-неонового лазера также позволило диагностировать триггерные точки и эффективно лечить миофасциальные боли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, использование лазера в стоматологии представляет собой современный и эффективный метод лечения заболеваний полости рта. Лазерная терапия

обладает рядом преимуществ, включая отсутствие кровотечений, минимальные болевые ощущения и дискомфорт для пациента, быстрое заживление тканей, а также отсутствие риска заражения. Благодаря лазеру появляется возможность обеспечить высокоточное и мягкое воздействие на пораженные участки, сохраняя здоровые ткани.

В области клинической стоматологии лазерные технологии достигли высокого уровня развития и имеют потенциал. Фотохимические реакции, основанные на воздействии лазером, обладают значительными возможностями, в частности, для воздействия на определенные патогены и клетки. Прогнозирование лечения в стоматологии в ближайшее время будет существенно изменено благодаря широкому применению лазеров. Эта технология изменила подход к стоматологии, делая ее более комфортной, эффективной, способствуя более быстрому достижению и большей степени прогнозируемости результатов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Личный вклад каждого автора: М.Г. Тумасян — хроматографическое исследование, анализ полученных данных, написание текста; С.Г. Тумасян — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материалов, написание текста; Е.А. Сатыго — обработка материалов.

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

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

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study. The contribution of each author: M.G. Toumassian — gas chromatography–mass spectrometry, data analysis, writing the main part of the text; S.G. Toumassian — experimental design, collecting and preparation of samples, writing the main part of the text; E.A. Satygo — preparation of samples.

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cotler H.B., Chow R.T., Hamblin M.R. The use of low level laser therapy (LLLT) for musculoskeletal pain // *MOJ Orthop Rheumatol*. 2015. Vol. 2, N 5. P. 188–194. doi: 10.15406/mojor.2015.02.00068
2. Verma S.K., Maheshwari S., Singh R.K., Chaudhari P.K. Laser in dentistry: An innovative tool in modern dental practice // *Nat J Maxillofac Surg*. 2012. Vol. 3, N 2. P. 124–132. doi: 10.4103/0975-5950.111342
3. Базилян Э.А., Чунихин А.А., Сырникова Н.В., и др. Клиническое применение нового лазерного устройства в стоматологической практике // *Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание*. 2020. № 4. С. 6–10. EDN: VRPORN doi: 10.24411/2075-4094-2020-16652
4. Saltzman B., Sigal M., Clokie C., et al. Assessment of a novel alternative to conventional formocresol-zinc oxide eugenol pulpotomy for the treatment of pulpally involved human primary teeth: diode laser-mineral trioxide aggregate pulpotomy // *Int J Paediatr Dent*. 2005. Vol. 15, N 6. P. 437–447. doi: 10.1111/j.1365-263x.2005.00670.x
5. Tzanakakis E.-G.C., Skoulas E., Pepelassi E., et al. The use of lasers in dental materials: A review // *Materials*. 2021. Vol. 14, N 12. ID 3370. doi: 10.3390/ma14123370
6. Pagano S., Lombardo G., Orso M., et al. Lasers to prevent dental caries: a systematic review // *BMJ Open*. 2020. Vol. 10, N 10. ID e038638. doi: 10.1136/bmjopen-2020-038638
7. Imre M.M., Celebidache A., Totan A., Tancu A.M.C. The use of dental lasers in new therapeutic approaches // *Rom J Stomatol*. 2019. Vol. 65, N 3. P. 254–257. doi: 10.37897/rjs.2019.3.3
8. Тришин М.В. Применение лазера в эндодонтии // *Державинский форум*. 2020. Т. 4, № 15. С. 208–214. EDN: UJYWTC
9. Tam L.E., McComb D. Diagnosis of occlusal caries: Part II. Recent diagnostic technologies // *J Can Dent Assoc*. 2001. Vol. 67, N 8. P. 459–464.
10. Hedge M.N., Garg P., Hedge N.D. Lasers in dentistry: an unceasing evolution // *J Otolaryngol Ent Res*. 2018. Vol. 10, N 6. P. 422–448. doi: 10.15406/joentr.2018.10.00395
11. Калюжный Н.Б. Меры профилактики поражений пародонта при ортодонтическом лечении подростков со скученным положением передних зубов и нарушениями строения мягких тканей преддверия полости рта: дис. ... канд. мед. наук. Москва: ФГУ «Центральный научно-исследовательский институт стоматологии», 2006. 145 с.
12. Адамович Е.И., Марымова Е.Б., Македонова Ю.А. Применение лазерной доплеровской флоуметрии в стоматологии. В кн.: Сборник статей Международной научно-практической конференции: «Наука в современном обществе: закономерности и тенденции развития»; 10 ноября 2017; Оренбург. Оренбург: НИЦ АЭТАРНА, 2017. С. 173–177.
13. Samraj R.V., Srinivasan M., Kumar. Recent advances in pulp vitality testing // *Endodontology*. 2003. Vol. 15, N 1. P. 14–19.
14. Александров М.Т., Кукушкин В.И., Полякова М.А., и др. Раман-флуоресцентные характеристики твердых тканей зубов и их клиническое значение // *Российский стоматологический журнал*. 2018. Т. 22, № 6. С. 276–280. EDN: UXJBYW doi: 10.18821/1728-2802-2018-22-6-276-280
15. Kneipp K. Surface-enhanced Raman scattering // *Physics Today*. 2007. Vol. 60, N 11. P. 40–46. doi: 10.1063/1.2812122
16. Легких А.В., Мандра Ю.В., Киселева Д.В. Метод рамановской спектроскопии как средство оценки морфологии микро-рельефа поверхности зуба, а также степени минерализации твердых тканей зубов // *Вестник УГМУ*. 2015. № 2–3. С. 214–217. EDN: DABUMT
17. Дмитриева Е.Ф., Александров М.Т., Нуриева Н.С., и др. Экспериментальное исследование влияния ионизирующего излучения на минерализацию эмали различных функциональных групп зубов, как возможный этиологический фактор возникновения лучевого кариеса // *Клиническая стоматология*. 2019. № 4. С. 20–23. EDN: EEINTN doi: 10.37988/1811-153X_2019_4_20
18. Genovese W.J., Rodrigues dos Santos M.T.B., Faloppa F., de Souza Merli L.A. The use of surgical diode laser in oral hemangioma: a case report // *Photomed Laser Surg*. 2010. Vol. 28, N 1. P. 147–151. doi: 10.1089/pho.2008.2419
19. Loh H.S. A clinical investigation of the management of oral lichen planus with CO2 laser surgery // *J Clin Laser Med Surg*. 1992. Vol. 10, N 6. P. 445–449. doi: 10.1089/clm.1992.10.445
20. Bello-Silva M.S., de Freitas P.M., Corrêa Aranha A.C., et al. Low- and high-intensity lasers in the treatment of herpes simplex virus 1 infection // *Photomed Laser Surg*. 2010. Vol. 28, N 1. P. 135–139. doi: 10.1089/pho.2008.2458
21. Kesler G. Clinical applications of lasers during removable prosthetic reconstruction // *Dent Clin*. 2004. Vol. 48, N 4. P. 963–969. doi: 10.1016/j.cden.2004.05.013
22. Журавлев А.Н., Тарасенко С.В., Морозова Е.А. Преимущества диодного лазера при хирургическом лечении пациентов со стоматологическими заболеваниями // *Клиническая стоматология*. 2018. № 4. С. 44–45. EDN: YPHPDN doi: 10.37988/1811-153X_2018_4_44
23. Морозова Е.А., Тарасенко С.В., Журавлев А.Н., и др. Клиническое применение излучения диодного лазера для хирургического лечения пациентов со стоматологическими заболеваниями // *Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова*. 2018. Т. 26, № 2. С. 268–279. EDN: XSNXJB doi: 10.23888/PAVLOVJ2018262268-279
24. Choukroun E., Parnot M., Surmenian J., et al. Bone formation and maintenance in oral surgery: the decisive role of the immune system — a narrative review of mechanisms and solutions // *Bioengineering*. 2024. Vol. 11, N 2. P. 191. doi: 10.3390/bioengineering11020191
25. Cobb C.M. Commentary: is there clinical benefit from using a diode or neodymium: yttrium-aluminum-garnet laser in the treatment of periodontitis? // *J Periodontol*. 2016. Vol. 87, N 10. P. 1117–1131. doi: 10.1902/jop.2016.160134
26. Крикун Е.В., Блашкова С.Л. Диодный лазер в стоматологической практике // *Казанский медицинский журнал*. 2017. Т. 98, № 6. С. 1023–1028. EDN: ZTXDPT doi: 10.17750/KMJ2017-1023
27. Louw N.P., Pameijer C.H., Ackermann W.D., et al. Pulp histology after Er: YAG laser cavity preparation in subhuman primates — a pilot study // *SADJ: J S Afr Dent Assoc*. 2002. Vol. 57, N 8. P. 313–317.
28. Chaya D.M., Pankaj G. Lasers in dentistry: a review // *Int J Adv Health Sci*. 2015. Vol. 2, N 8. P. 7–13.
29. Prevention, detection and management of oral cancer / S. Sundaresan, editor. BoD-Books on Demand, 2019. 114 p. doi: 10.5772/intechopen.79314

30. Fowler B.O., Kuroda S. Changes in heated and in laser-irradiated human tooth enamel and their probable effects on solubility // *Calcif Tissue Int.* 1986. Vol. 38. P. 197–208. doi: 10.1007/bf02556711
31. Habibah T.U., Amlani D.V., Brizuela M. Hydroxyapatite dental material. 2018. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL), 2023.
32. Lombardo G., Pagano S., Cianetti S., et al. Sub-ablative laser irradiation to prevent acid demineralisation of dental enamel. A systematic review of literature reporting *in vitro* studies // *Eur J Paediatr Dent.* 2019. Vol. 20, N 4. P. 295–301.
33. Бургонский В.Г. Теоретические и практические аспекты применения лазеров в стоматологии // *Современная стоматология.* 2007. № 1. С. 10–15.
34. Тютюникова В.П., Мкртычан А.В. Оптимизация диагностики фиссурного кариеса у детей. В кн.: Материалы научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры детской стоматологии и ортодонтии имени профессора Е.Ю. Симоновской: «Оказание стоматологической помощи детям»; 23–24 апреля 2020; Пермь, 2020. С. 104–108.
35. Lederer A., Kunzelmann K.H., Heck K., et al. In vitro validation of near infrared reflection for proximal caries detection // *Eur J Oral Sci.* 2019. Vol. 127, N 6. P. 515–522. doi: 10.1111/eos.12663
36. Ahrari F., Akbari M., Mohammadi M., et al. The validity of laser fluorescence (LF) and near-infrared reflection (NIRR) in de-

- tecting early proximal cavities // *Clin Oral Investig.* 2021. Vol. 25. P. 4817–4824. doi: 10.1007/s00784-021-03786-y
37. Акулович А.В., Никифорова Г.Г., Коростелев А.А., Мателло С.К. Использование метода количественной светоиндуцированной флуоресценции (QLF) для диагностики состояния эмали при различных стоматологических вмешательствах // *Пародонтология.* 2023. Т. 28, № 1. С. 55–65. EDN: HUDYCX doi: 10.33925/1683-3759-2023-28-1-55-65
38. Лыткина А.А., Зейберт А.Ю. Ранняя диагностика фиссурного кариеса у детей методом QLF // *Scientist (Russia).* 2022. № 2. С. 37–40. EDN: DFCWJJ
39. Тиунова Н.В., Любомирский Г.Б. Клинический случай комплексного лечения веррукозной формы лейкоплакии слизистой оболочки рта с применением лазерной абляции и препаратов на основе коллагена // *Медицинский алфавит.* 2020. № 23. С. 6–8. EDN: YGFFJK doi: 10.33667/2078-5631-2020-23-6-8
40. Пузин М.Н., Дымочка М.А., Штелле А.А., и др. Магнитолазерная терапия в комплексном лечении больных с синдромом дисфункции височно-нижнечелюстного сустава // *Вестник Всероссийского общества специалистов по медико-социальной экспертизе, реабилитации и реабилитационной индустрии.* 2018. № 1. С. 39–43. EDN: YVDSGD

REFERENCES

1. Cotler HB, Chow RT, Hamblin MR. The use of low level laser therapy (LLL) for musculoskeletal pain. *MOJ Orthop Rheumatol.* 2015;2(5):188–194. doi: 10.15406/ajor.2015.02.00068
2. Verma SK, Maheshwari S, Singh RK, Chaudhari PK. Laser in dentistry: An innovative tool in modern dental practice. *Nat J Maxillofac Surg.* 2012;3(2):124–132. doi: 10.4103/0975-5950.111342
3. Bazikyan EA, Chunikhin AA, Syrnikova NV, et al. Clinical application of a new laser device in dental practice. *Journal of new medical technologies, E-edition.* 2020;(4):6–10. EDN: VRPORH doi: 10.24411/2075-4094-2020-16652
4. Saltzman B, Sigal M, Clokie C, et al. Assessment of a novel alternative to conventional formocresol-zinc oxide eugenol pulpotomy for the treatment of pulpally involved human primary teeth: diode laser-mineral trioxide aggregate pulpotomy. *Int J Paediatr Dent.* 2005;15(6):437–447. doi: 10.1111/j.1365-263x.2005.00670.x
5. Tzanakakis E-GC, Skoulas E, Pepelassi E, et al. The use of lasers in dental materials: A review. *Materials.* 2021;14(12):3370. doi: 10.3390/ma14123370
6. Pagano S, Lombardo G, Orso M, et al. Lasers to prevent dental caries: a systematic review. *BMJ Open.* 2020;10(10):e038638. doi: 10.1136/bmjopen-2020-038638
7. Imre MM, Celebidache A, Totan A, Tancu AMC. The use of dental lasers in new therapeutic approaches. *Rom J Stomatol.* 2019;65(3):254–257. doi: 10.37897/rjs.2019.3.3
8. Trishin MV. Laser application in endodontics. *Derzhavin forum.* 2020;4(15):208–214. EDN: UJYWTC
9. Tam LE, McComb D. Diagnosis of occlusal caries: Part II. Recent diagnostic technologies. *J Can Dent Assoc.* 2001;67(8):459–464.
10. Hedge MN, Garg P, Hedge ND. Lasers in dentistry: an unceasing evolution. *J Otolaryngol Ent Res.* 2018;10(6):422–448. doi: 10.15406/joentr.2018.10.00395
11. Kalyuzhny NB. *Measures of prevention of periodontal lesions in orthodontic treatment of adolescents with crowded position of anterior teeth and disorders of soft tissues structure of the pre dental cavity* [dissertation]. Moscow: FGU "Central Research Institute of Stomatology"; 2006. 145 p. (In Russ.)
12. Adamovich EI, Marymova EB, Makedonova SA. Application of laser Doppler flowmetry in dentistry. In: *Proceedings of the International science and practice conferences: "Science in modern society: patterns and trends of development"*; 10 Nov 2017; Orenburg. Orenburg: SIC AETARNA; 2017. P. 173–177. (In Russ.)
13. Samraj RV, Srinivasan M, Kumar. Recent advances in pulp vitality testing. *Endontology.* 2003;15(1):14–19.
14. Aleksandrov MT, Kukushkin VI, Polyakova MA, et al. Raman fluorescence characteristics of hard dental tissues and their clinical significance. *Russian Journal of Dentistry.* 2018;22(6):276–280. EDN: UXJBYW doi: 10.18821/1728-2802-2018-22-6-276-280
15. Kneipp K. Surface-enhanced Raman scattering. *Physics Today.* 2007;60(11):40–46. doi: 10.1063/1.2812122
16. Lungs AV, Mandra YV, Kiseleva DV. The method of Raman spectroscopy as a means of assessing the morphology of tooth surface microrelief and the degree of mineralization of dental hard tissues. *Bulletin of USMU.* 2015;(2–3):214–217. EDN: DABUMT (In Russ.)
17. Dmitrieva EF, Aleksandrov MT, Nurieva NS, et al. Experimental investigation of the effect of an ionizing radiation on the mineralization of the enamel of various functional teams of the teeth as a possible etiological factor of the emergency of radiative cares. *Clinical dentistry (Russia).* 2019;(4):20–23. EDN: EEINTN doi: 10.37988/1811-153X_2019_4_20
18. Genovese WJ, Rodrigues dos Santos MTB, Faloppa F, de Souza Merli LA. The use of surgical diode laser in oral hemangioma: a case report. *Photomed Laser Surg.* 2010;28(1):147–151. doi: 10.1089/pho.2008.2419

19. Loh HS. A clinical investigation of the management of oral lichen planus with CO₂ laser surgery. *J Clin Laser Med Surg.* 1992;10(6):445–449. doi: 10.1089/clm.1992.10.445
20. Bello-Silva MS, de Freitas PM, Corrêa Aranha AC, et al. Low-and high-intensity lasers in the treatment of herpes simplex virus 1 infection. *Photomed Laser Surg.* 2010;28(1):135–139. doi: 10.1089/pho.2008.2458
21. Kesler G. Clinical applications of lasers during removable prosthetic reconstruction. *Dent Clin.* 2004;48(4):963–969. doi: 10.1016/j.cden.2004.05.013
22. Zhuravlev AN, Tarasenko SV, Morozova EA. Advantages of the diode laser in surgical treatment of patients with stomatological diseases. *Clinical dentistry (Russia).* 2018;(4):44–45. EDN: YPHPDN doi: 10.37988/1811-153X_2018_4_44
23. Morozova EA, Tarasenko SV, Zhuravlev AN, et al. Clinical application of diode laser radiation for surgical treatment of patients with dental diseases. *I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald.* 2018;26(2):268–279. EDN: XSNXJB doi: 10.23888/PAVLOVJ2018262268-279
24. Choukroun E, Parnot M, Surmenian J, et al. Bone formation and maintenance in oral surgery: the decisive role of the immune system — a narrative review of mechanisms and solutions. *Bioengineering.* 2024;11(2):191. doi: 10.3390/bioengineering11020191
25. Cobb CM. Commentary: is there clinical benefit from using a diode or neodymium: yttrium-aluminum-garnet laser in the treatment of periodontitis? *J Periodontol.* 2016;87(10):1117–1131. doi: 10.1902/jop.2016.160134
26. Krikun EV, Blashkova SL. Diode laser in dental practice. *Kazan medical journal.* 2017;98(6):1023–1028. EDN: ZTXDPT doi: 10.17750/KMJ2017-1023
27. Louw NP, Pameijer CH, Ackermann WD, et al. Pulp histology after Er: YAG laser cavity preparation in subhuman primates — a pilot study. *SADJ: J S Afr Dent Assoc.* 2002;57(8):313–317.
28. Chaya DM, Pankaj G. Lasers in dentistry: a review. *Int J Adv Health Sci.* 2015;2(8):7–13.
29. Sundaresan S, editor. *Prevention, detection and management of oral cancer.* BoD-Books on Demand, 2019. 114 p. doi: 10.5772/intechopen.79314
30. Fowler BO, Kuroda S. Changes in heated and in laser-irradiated human tooth enamel and their probable effects on solubility. *Calcif Tissue Int.* 1986;38:197–208. doi: 10.1007/bf02556711
31. Habibah TU, Amlani DV, Brizuela M. *Hydroxyapatite dental material.* 2018. In: StatPearls. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL); 2023.
32. Lombardo G, Pagano S, Cianetti S, et al. Sub-ablative laser irradiation to prevent acid demineralisation of dental enamel. A systematic review of literature reporting in vitro studies. *Eur J Paediatr Dent.* 2019;20(4):295–301.
33. Burgonsky VG. Theoretical and practical aspects of lasers application in dentistry. *Modern dentistry.* 2007;(1):10–15. (In Russ.)
34. Tyutyunikova VR, Mkrtychan AV. Optimization of diagnostics of fissure caries in children. In: *Proceedings of the science and practice conferences dedicated to the 50th anniversary of the Department of Pediatric Dentistry and Orthodontics named after prof. E.Yu. Simonovskaya: "Provision of dental care to children";* 23–24 Apr 2020; Perm. 2020. P. 104–108. (In Russ.)
35. Lederer A, Kunzelmann KH, Heck K, et al. In vitro validation of near infrared reflection for proximal caries detection. *Eur J Oral Sci.* 2019;127(6):515–522. doi: 10.1111/eos.12663
36. Ahrari F, Akbari M, Mohammadi M, et al. The validity of laser fluorescence (LF) and near-infrared reflection (NIRR) in detecting early proximal cavities. *Clin Oral Investig.* 2021;25:4817–4824. doi: 10.1007/s00784-021-03786-y
37. Kulovich AV, Nikiforova GG, Korostelev AA, Matelo SK. Quantitative light-induced fluorescence (QLF) for diagnosis of enamel condition during various dental procedures. *Parodontologiya.* 2023;28(1):55–65. EDN: HUDYCX doi: 10.33925/1683-3759-2023-28-1-55-65
38. Lytkina AA, Zeybert AYu. Early diagnosis of fissure caries in children using the QLF method. *Scientist (Russia).* 2022;(2):37–40. EDN: DFCWUJ
39. Tiunova NV, Lubomirsky GB. Experience in the use of laser ablation and collagen-based drug in the complex treatment of verrucous form of oral leukoplakia. *Medical alphabet.* 2020;(23):6–8. EDN: YGFFJK doi: 10.33667/2078-5631-2020-23-6-8
40. Puzin MN, Dymochka MA, Stehle AA, et al. Magnetolaser therapy for complex treatment of patients with syndrome of dysfunction in the temporomandibular articulation. *Bulletin of the All-Russian Society of Specialists in Medical and Social Expertise, Rehabilitation and Rehabilitation Industry.* 2018;(1):39–43. EDN: YVDSGD

ОБ АВТОРАХ

***Михаил Грачьевич Тумасян**, студент Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова; адрес: ул. Кирочная, 41, Санкт-Петербург, 191015, Россия; ORCID: 0000-0001-8067-9735; eLibrary SPIN: 7220-9284; AuthorID: 1157234; e-mail: ToumassianMichel@gmail.com

AUTHORS' INFO

***Micheil G. Toumassian**, student, North-Western State Medical University named after II Mechnikov; address: 41 Kirochnaya st., Saint Petersburg, 191015, Russia; ORCID: 0000-0001-8067-9735; eLibrary SPIN: 7220-9284, e-mail: ToumassianMichel@gmail.com; AuthorID: 1157234

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

ОБ АВТОРАХ

Серж Грачьевич Тумасян, студент;
ORCID: 0000-0002-8439-585X; eLibrary SPIN: 8218-1615;
AuthorID: 1157146; e-mail: 79119800070@yandex.ru

Елена Александровна Сатыго, д-р мед. наук, профес-
сор; ORCID: 0000-0001-9801-503X, eLibrary SPIN: 8776-0513;
AuthorID: 633735; e-mail: stom9@yandex.ru

AUTHORS' INFO

Serge G. Toumassian, student; ORCID: 0000-0002-8439-585X;
eLibrary SPIN: 8218-1615; AuthorID: 1157146;
e-mail: 79119800070@yandex.ru

Elena A. Satygo, MD, DR. Sci. (Med.), professor;
ORCID: 0000-0001-9801-503X; eLibrary SPIN: 8776-0513;
AuthorID: 633735; e-mail: stom9@yandex.ru