

ПОВРЕЖДЕНИЕ ЭМАЛИ И ДЕНТИНА ЗУБА ИМПУЛЬСАМИ НЕОДИМОВОГО ЛАЗЕРА РАЗЛИЧНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

Демьянова Т. С., Храмов В. Н., Бурлуцкая Е. Н., Данилов П. А.

¹ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный университет», Волгоград, Россия (400062, Волгоград, пр.-т. Университетский, 100), e-mail: DemyanovaTS@mail.ru

Область применения неодимового лазера в стоматологии хорошо известна, чаще всего работают в режиме микросекундных импульсов. Нано- и субнаносекундный режим работы лазера очень редко используется в стоматологической практике. В работе приведены экспериментальные результаты по исследованию характера микроповреждений на поверхностях твердых тканей зуба (эмаль, дентин) при воздействии лазерными импульсами неодимового лазера различной длительности (от микросекунд до наносекунд), а также предварительная оценка эффекта экранировки лазерной плазмой воздействующего излучения. Эксперименты на свежееудаленных человеческих зубах показали преимущество лазерно-плазменного метода, заключающегося в отсутствии оплавления внутренних поверхностей образующегося кратера, карбонизации тканей и нежелательных микроповреждений. Метод представляет интерес для использования в лазерной стоматологии в качестве аналога механического бора.

Ключевые слова: взаимодействие лазерного излучения с веществом, эмаль, дентин, лазерно-плазменное воздействие, лазеры в стоматологии.

THE DAMAGE ENAMEL AND DENTIN OF TEETH OF THE NEODYMIUM LASER PULSES OF VARIOUS DURATIONS

Dem'yanova T. S., Khramov V. N., Burlutskaya E. N., Danilov P. A.

Volgograd State University, Volgograd, Russia (400062, Volgograd, prospect Universitetsky, 100) e-mail: DemyanovaTS@mail.ru

The sphere of the use of neodymium laser in dentistry is well established, and conventionally the microsecond pulse regime is most employed. The nano- and subnanosecond pulsed laser is a regime very little explored within the applications of dentistry. The experimental results on analysis of the microdamages character on surfaces of hard tooth tissues (enamel, dentine) at the action by pulses of neodymium laser with various durations (from nanoseconds up to microseconds) and also a preliminary estimate of shielding effect of acting radiation by laser plasma are given in this paper. Experiments on the freshly-extracted human teeth have shown the advantage of the laser-plasma method consisting in absence of fusion of interior surfaces of the generated crater, carbonization of tissues and undesirable microdamages. The introduced method represents of interest for the laser stomatology field as an analog of dental borer.

Key words: laser-matter interaction, lasers in stomatology, laser plasma action, enamel, dentine.

Постановка задачи

В последние годы развитие лазерных технологий в стоматологии идет стремительными темпами. Совершенствуются сами лазеры, появляются новые методики. Свое место в стоматологической практике занимают лазерные системы на основе твердых кристаллов и газов, а также полупроводниковые лазеры.

Наиболее широко применяются твердотельные Er:YAG и Nd:YAG-лазеры, излучающие свет инфракрасного спектра с длинами волн 2940 нм и 1064 нм соответственно. Выбор этих активных сред основан на том, что длина волны 2940 нм селективно поглощается молекулами воды ткани-мишени, а 1064 нм селективно поглощаются гемоглобином и менее интенсивно водой и меланином.

Но несмотря на существенный прогресс, современные лазеры по скорости удаления эмали практически вдвое уступают механическим турбинным бормашинам, а по стоимости значительно превосходят эти устройства [1]. Поэтому, сказать, что лазерные установки получили широкое распространение в кабинетах российских стоматологов, было бы большим преувеличением.

Из-за плохого поглощения твердыми тканями излучение неодимового лазера почти не используется для препарирования твердых тканей, и предпочтение отдается более дорогим Er:YAG лазерам или установкам, совмещающим в себе эрбиевые (для хирургии твердых тканей) и неодимовые (хирургия мягких тканей) лазеры. Но при переходе к более коротким импульсам (100 нс – 0,1 нс) реализуется лазерно-плазменная технология обработки, для которой исходное поглощение не является определяющим фактором. По производительности процесса данный метод не уступает эрбиевым лазерам [5], а возможность передачи излучения по оптико-волоконным стеклянным световодам практически без потерь делает лазерно-плазменный метод наиболее перспективным из существующих.

Ранее нами уже было получено, что при лазерно-плазменном воздействии не происходит существенного нагрева пульпы зуба и дополнительных повреждений тканей. До настоящего времени наши исследования ограничивались рассмотрением макроскопических параметров воздействия (размеры образующихся кратеров, масса удаленной ткани, скорость обработки, температура внутри зуба и т.п.) [4–6].

Анализ физических процессов, происходящих при воздействии лазерного излучения на биологические ткани, невозможен без исследования характера и параметров повреждений тканей при воздействии импульсов лазерного излучения. Эта статья посвящена исследованию характера повреждений твердых тканей зуба (эмаль, дентин) при воздействии импульсов неодимового лазера в режимах генерации коротких и ультракоротких лазерных импульсов, а также предварительной оценке эффектов экранирования плазмой падающего излучения.

Материалы и методы

Для проведения эксперимента *in vitro* использовались свежеекстрагированные, преимущественно однокоренные человеческие зубы, удаленные по ортодонтическим показателям.

Для получения микрократеров на поверхности образца использовался модернизированный для генерации коротких и ультракоротких импульсов импульсно-

периодический лазер «Квант-15». Лазерное излучение фокусировалось с помощью собирающей линзы с фокусом 3 см на поверхность образца.

Для измерения временных характеристик использовались два коаксиальных фотозлемента ФК-32 и высокоскоростной осциллограф 6ЛОР-04М с асинхронными выходами. Для контроля энергии импульса использовался измеритель мощности оптический ИМО-2Н (рис.1).

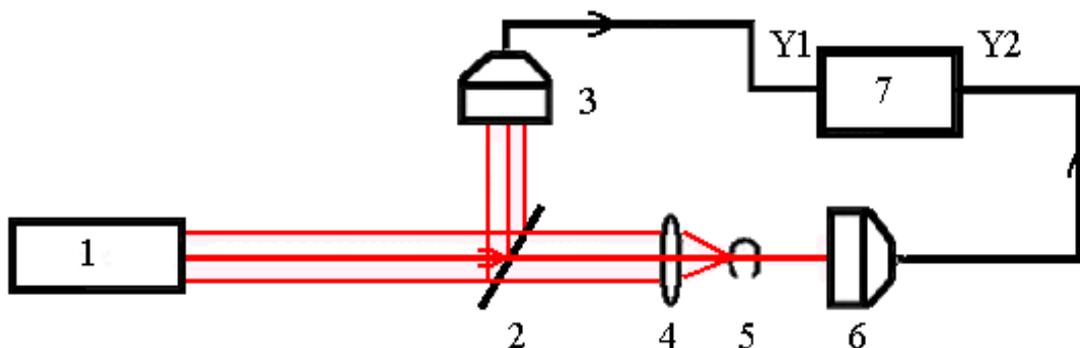


Рис.1. Блок-схема экспериментальной установки

1 – модернизированный импульсно-периодический лазер «Квант-15»;
 2 – делительная пластинка; 3, 6 – коаксиальный фотозлемента ФК-32; 4 – собирающая линза ($f = 3$ см); 5 – образец (зуб человека); 7 – высокоскоростной шестиканальный осциллограф 6ЛОР-04М

Изменение временных и энергетических параметров ламповой накачки позволило получить три типа импульсов (таблица 1): длинные импульсы – порядка 1 мкс, короткие импульсы (КИ) – 40 нс, и ультракороткие импульсы (УКИ) – порядка 1 нс.

Таблица 1. Параметры генерации лазера

Длительность, нс	Энергия, мДж
~ 1000	500
40	500
≤ 1	400

В качестве измерительной установки в работе использовался микроскоп «Биомед-2».

Результаты и обсуждение

При воздействии на твердые ткани зуба наносекундных и субнаносекундных лазерных импульсов высокой интенсивности (10^9 - 10^{12} Вт/см²) наблюдаются нелинейные эффекты, в частности, лавинная ионизация в поле лазерного импульса – оптический пробой. При пробое возникает плазма (103-104 К) и ударная волна (до 107-108 Па).

Тепловое разрушение происходит в процессе лазерного облучения, приводящего к образованию паровой фазы и плазмы, возникают акустические и ударные волны. Это может привести к механическим повреждениям (микротрещины) ткани в окрестности облучаемой области из-за высоких локальных давлений на фронте ударной волны. Вместе с тем инициируемые лазерным излучением ударные волны используют для разрушения камней [3].

При воздействии на поверхность эмали КИ диаметр образовавшегося микрократера равен $\sim 0,3$ мм. Вокруг кратера наблюдается контур из оплавленной ткани шириной порядка 10 мкм (рис. 2а).

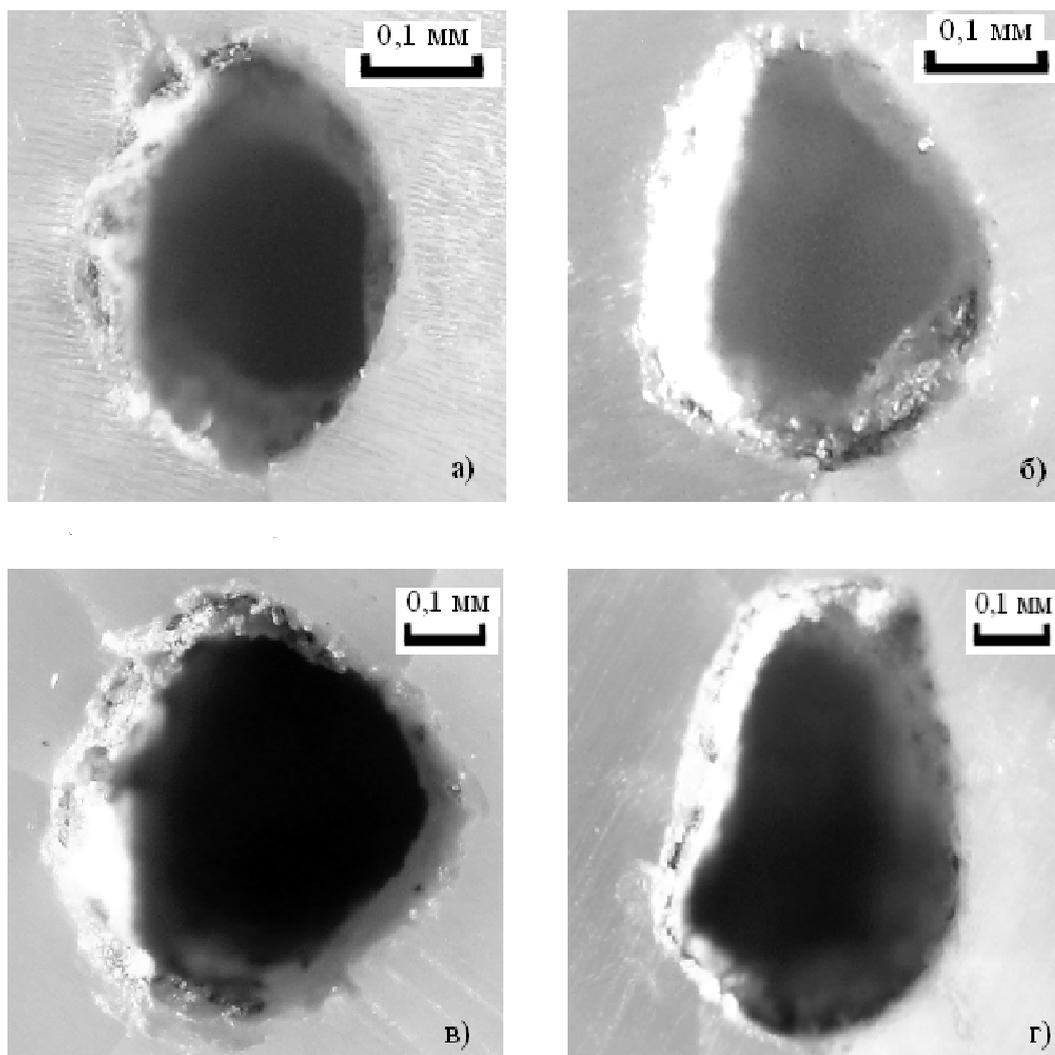


Рис.2. Вид микрократеров, образующихся на эмали, при воздействии КИ (а, в) и на дентине (б, г), при воздействии КИ и УКИ

При воздействии в том же режиме на поверхность дентина диаметр кратера составляет $\sim 0,25$ мм (рис. 2б). По краям кратера видны небольшие области оплавления, что, предположительно, говорит о карбонизации ткани. Вместе с тем микроскопический анализ

показал, что подобные пигментированные полосы наблюдаются и в исходной необработанной ткани зуба.

Далее эксперимент проводился при воздействии на поверхность эмали УКИ, диаметр образовавшегося микрократера равен $\sim 0,5$ мм (рис. 2 в). При воздействии в том же режиме на поверхность дентина диаметр кратера составляет $\sim 0,45$ мм (рис. 2 г).

Завершает эксперимент исследование воздействия на твердые ткани зуба микросекундными импульсами. На рис.3 представлен снимок, полученный при воздействии на поверхность дентина в режиме длинных (микросекундных) импульсов свободной генерации. Диаметр кратера составляет $\sim 0,5$ мм.

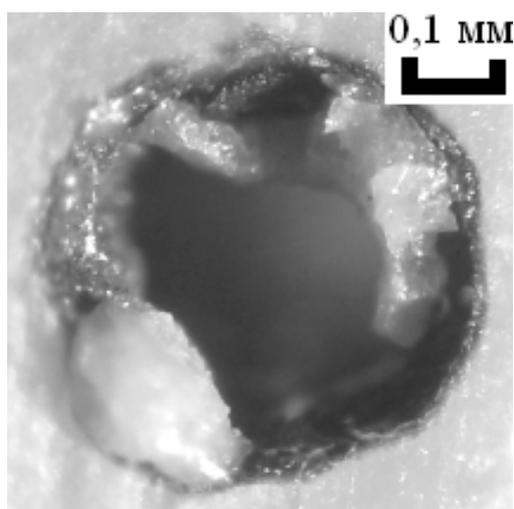


Рис.3. Вид микрократера, образующегося на дентине, при воздействии микросекундными импульсами

Из микрофотографий видно, что при воздействии на дентин микросекундными лазерными импульсами, размер областей оплавления и обугливания сравним с размером самого микрократера.

Таким образом, получено, что диаметр кратеров колеблется от 0,25 мм до 0,5 мм и зависит от длительности воздействующих импульсов, а также от типа обрабатываемой ткани. Видно, что при воздействии КИ диаметр кратеров почти в два раза меньше, чем при воздействии УКИ. Это указывает на большую эффективность лазерно-плазменной обработки, зависящую от интенсивности излучения. Кратеры, образовавшиеся на дентине, меньше, чем на эмали, при одинаковых параметрах импульса. Относительно большой диаметр кратера при воздействии длинными импульсами связан с обычными медленными тепловыми эффектами и длительностью воздействия.

Воздействие короткими и ультракороткими импульсами неизбежно связано с образованием вблизи мишени достаточно высокотемпературной лазерной плазмы. При этом часть лазерного импульса экранируется этой плазмой. Для высокоинтенсивных коротких лазерных импульсов данный эффект может быть существенным. Для

исследования эффекта экранировки был проведен ряд измерений в режимах с различной длительностью импульса (КИ, УКИ).

При воздействии на образец лазерного излучения в режиме коротких импульсов без образования плазмы (без линзы), оба коаксиальных фотоэлемента регистрируют одинаковый импульс (рис. 4). Это говорит о том, что для лазерного излучения образец почти прозрачен, что соответствует результатам других авторов [2].

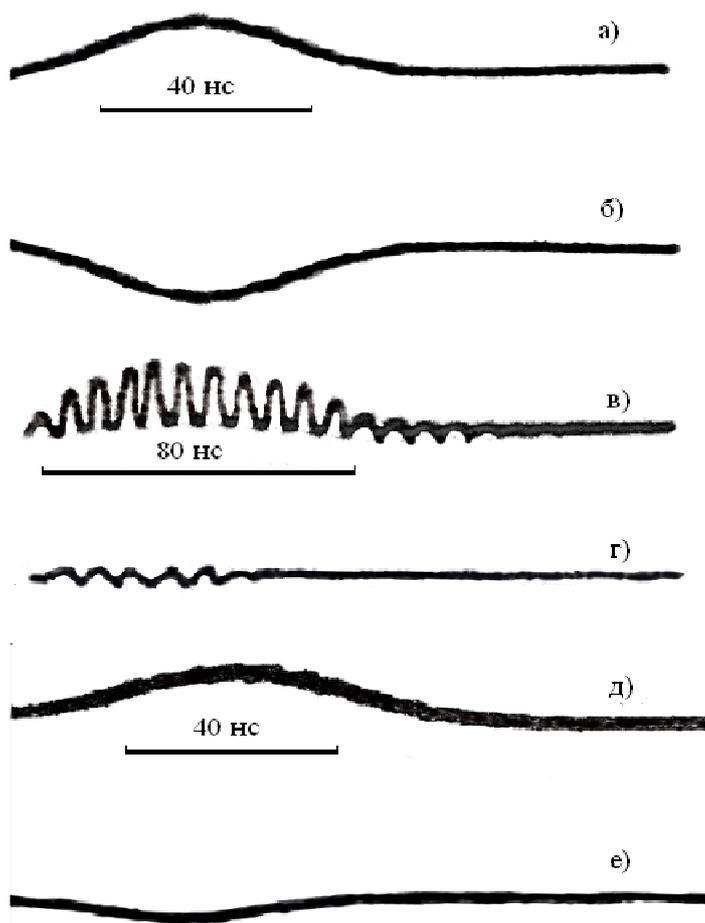


Рис.4. Осциллограммы воздействующих КИ (а) и УКИ (в) и синхронные осциллограммы после прохождения импульса через образец (б, г) без образования плазмы и с образованием плазмы на поверхности (д, е)

Последующие эксперименты проводились с образованием плазмы на поверхности зуба при воздействии КИ и УКИ. Из сравнения осциллограмм падающего и прошедшего импульса в обоих режимах (рис. 4 д, е) видно, что существенная часть импульса экранируется лазерной плазмой.

Это связано с тем, что часть фронта лазерного импульса или первые УКИ в цуге используются для образования приповерхностного плазменного факела и достижения состояния «оптически плотной» плазмы, когда излучение полностью экранируется.

Таким образом, при воздействии КИ и УКИ, образующейся на поверхности зуба плазмой, экранируется практически половина излучения по длительности.

Заключение

Исследования показали, что при воздействии микросекундных импульсов наблюдается сильная карбонизация и оплавление тканей эмали и дентина. Большие зоны оплавления и карбонизация отсутствуют при лазерно-плазменном воздействии. Это говорит о том, что распространение тепла и повышение температуры во время абляции были локализованы в тонком поверхностном слое без ущерба для основной ткани.

Оценка размеров микроповреждений на эмали и дентине зуба под действием мощного импульсного лазерного воздействия показала, что при воздействии на дентин длинными импульсами (~ 1 мкс), размеры областей оплавления и обугливания сравнимы с размерами микрократера. При воздействии короткими импульсами (~ 40 нс) диаметр кратеров почти в два раза меньше, чем при воздействии ультракороткими импульсами (~ 1 нс). Кратера, образовавшиеся на дентине, меньше, чем на эмали, при тех же параметрах воздействия.

Предварительная оценка эффектов экранирования воздействующего излучения наносекундной длительности при образовании лазерной плазмы на поверхности зуба показала, что при воздействии короткими и ультракороткими импульсами, образующейся на поверхности зуба плазмой, экранируется практически половина излучения по длительности. Эти результаты показывают, что при использовании лазерно-плазменной технологии для повышения эффективности обработки необходима оптимизация энергетических и временных параметров лазерного импульса.

Работа выполнена в рамках гранта 5-2011-МУ/ВолГУ Волгоградского государственного университета.

Список литературы

1. Беликов А. В. Исследование эффективности разрушения эмали зуба человека одномодовым излучением YAG: Ег лазера // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2009. Т. 60. № 2. С. 51–58.
2. Беликов А. В., Скрипник А. В. Лазерные биомедицинские технологии: учеб. пособие. СПб. : СПбГУ ИТМО, 2009. 100 с. (Высшая школа).
3. Майоров В. С., Хорошев М. В. Взаимодействие лазерного излучения с веществом: учеб. пособие. М. : МИИГАиК ; Москва, 2003. 49 с. (Высшая школа).
4. Храмов В. Н., Линченко И. В., Чебакова Т. С. Поверхностное повреждение твердых тканей зуба при лазерном и лазерно-плазменном воздействиях // Вестник СПбО АИН. 2008. № 4. С. 346–358.

5. Храмов В. Н., Чебакова Т. С., Линченко И. В. и др. Исследование оптимальных параметров импульсно-периодического воздействия излучения неодимового лазера на твердые ткани зуба // Медицинская физика. 2011. Т. 49. № 1. С. 87–96.
6. Храмов В. Н., Чебакова Т. С., Скачкова Е. Н. и др. Исследование производительности импульсно-периодического лазерно-плазменного воздействия на дентин и эмаль // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии и геоэкологии – 2009: тезисы XVII Междунар. конф. (п.Абрау-Дюрсо, 8-12 сент. 2009 г.). Новороссийск, 2009. С. 26–27.

Рецензенты:

Шилин А. Н., д.т.н., профессор, действительный член Метрологической Академии РФ, заведующий кафедрой «Электротехника», ГОУ ВПО Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград.

Фролов Д. В., д.м.н., доцент кафедры общей хирургии, ГОУ ВПО Волгоградский государственный медицинский университет, г. Волгоград.