



УДК 621.373.826  
ББК 32.865

## СТОМАТОЛОГИЧЕСКИЙ ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НЕОДИМОВЫЙ ЛАЗЕР <sup>1</sup>

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

Представлены результаты применения импульсно-периодического неодимового лазера, работающего в широком диапазоне длительностей (0,5 нс – 1 мс), для обработки эмали и дентина человеческих зубов. Проведенное сравнение эффективности и особенностей удаления твердых тканей зуба лазерно-плазменным методом с традиционными методами механической и лазерной обработки поверхностей зубов показало перспективность разработанной лазерно-плазменной технологии с использованием ультракоротких импульсов (УКИ).

**Ключевые слова:** ультракороткие лазерные импульсы, лазерная плазма, твердые ткани зуба, эмаль, дентин.

### Введение

Внедрение новых методов, технологий, приборов и устройств в настоящее время является одним из основных направлений развития науки и техники. В немалой степени это касается использования лазеров и лазерной техники в медицине, в частности – в стоматологических операциях. Одна из наиболее важных задач лазерной стоматологии – удаление кариозного повреждения с последующим восстановлением формы зуба и функции зуба при помощи пломбировочного материала. Необходимые требования к такому лечению – это:

- полное удаление кариозноизмененных тканей зуба;

- экономия здоровых окружающих тканей;
- отсутствие воздействия на пульпу;
- предупреждение возникновения вторичного кариеса;
- комфорт пациента.

В традиционных методах обработки кариозных плоскостей можно четко выделить ряд недостатков:

- неприятные болезненные ощущения пациента, психологический дискомфорт;
- отсутствие выборочного удаления кариозной ткани;
- раздражение и повреждение пульпы;
- необходимость использования большого количества инструментов, боров, химической протравки.

Использование лазерных технологий позволяет избавиться от всех вышеперечисленных недостатков. Обработка твердых тканей лазерным излучением остается одним из объектов исследований ученых, как физиков,

так и медиков, правда, в основном в ведущих странах Европы и Америки.

Удаление твердых тканей реализуется при помощи различных механизмов – фототермического, фотоакустического, фотоабляционного, которые определяются несколькими параметрами лазерного излучения – длина волны, длительность и энергия импульса. При фототермическом механизме энергия лазерного излучения поглощается тканью и преобразуется в тепло. Если поглотилось достаточное количество энергии, то удаление ткани происходит за счет ее испарения. Фотоакустический механизм удаления ткани основан на образовании плазмы, которая вызывает абляцию тканей. При фотоабляционном механизме происходит разрушение межмолекулярных соединений, что вызывает быстрое изменение объема молекул и, как следствие, абляцию тканей. Исследования показали, что лазерная абляция тканей, как правило, сопровождается повышением температуры окружающих тканей, что вызывает плавление, карбонизацию и т. д. [1; 4–6; 9]. Наиболее изученным лазером для удаления твердых тканей в настоящее время является Er:YAG-лазер (длина волны 2,94 нм). Главные недостатки такого типа лазера – это трудность и большая стоимость транспортировки излучения в оперативную зону и значительное (хотя и несколько меньше, чем при механической обработке) повышение температуры в прилегающих тканях [2].

Ранее нами [3; 7; 10] было предложено использовать для хирургии не само излучение неодимового лазера, а образующуюся на поверхности любого твердого тела при переходе в диапазон ультракоротких импульсов (УКИ) лазерную плазму. Благодаря уменьшению длительности импульса сокращается время взаимодействия между УКИ и тканью; при этом ограничивается распространение тепла и минимизируется повреждение окружающих тканей. При обработке поверхности высокотемпературной лазерной плазмой, возбуждаемой на поверхности зуба мощными импульсами, происходит микродисперсное распыление материала зуба без передачи тепла в пульпу.

Целями данной работы являются представление экспериментальных результатов применения импульсно-периодического неодимового лазера, работающего в широком диапазоне длительностей (0,5 нс – 1 мс), для обработки эмали и дентина в стоматологических операциях и проведение сравнения эффективности и особенностей удаления твердых тканей зуба лазерно-плазменным методом и традиционными методами механической и лазерной обработки поверхностей зубов.

### Результаты экспериментов

К настоящему времени на кафедре лазерной физики ВолГУ разработана и реализована экспериментальная лабораторная установка для исследований взаимодействия лазерных импульсов с твердыми тканями зуба (рис. 1).

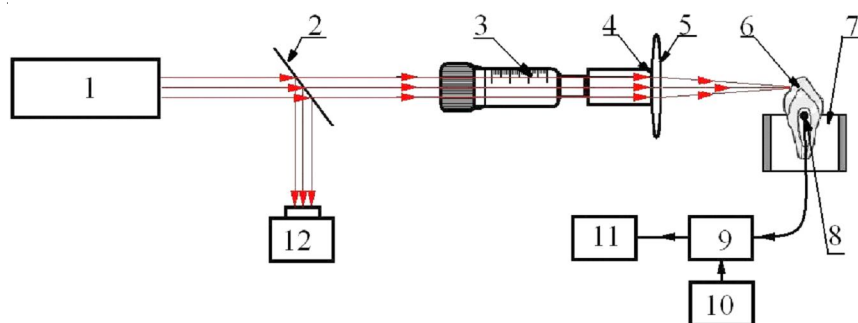


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки для исследования повреждений твердых тканей зуба при лазерном и лазерно-плазменном воздействии:

- 1 – импульсно-периодический лазер; 2 – делительная пластинка; 3 – устройство прецизионной фокусировки;
- 4 – оптическая скамья; 5 – фокусирующий объектив ( $f = 5$  см); 6 – исследуемый образец (зуб человека);
- 7 – фиксирующая кювета с воском; 8 – термопара; 9 – усилитель сигнала термопары;
- 10 – блок питания усилителя; 11 – блок индикации; 12 – измеритель энергии лазерных импульсов «ИМО-2Н»

Был проведен ряд экспериментов *in vitro*, которые позволили сделать выводы о возможности использования лазерно-плазменной технологии в практической стоматологии. В экспериментах использовались свежеекстрагированные зубы человека без признаков кариеса, извлеченные по ортодонтическим показателям. Обработка производилась излучением неодимового лазера в импульсно-периодических режимах генерации микросекундных импульсов и УКИ (< 1 нс). Результатом воздействия лазерного излучения на твердые ткани зуба является локальное удаление ткани и образование на ее поверхности лунок.

На рисунке 2 представлены фотографии характерных повреждений твердых тканей зуба под действием мощного лазерного излучения в импульсно-периодическом режиме при различных длительностях импульса.

Из полученных фотографий видно, что воздействие более длительными импульсами вызывает термические повреждения вокруг лунки и большее механическое повреждение, в то время как при воздействии более короткими импульсами с большей плотностью мощности вокруг лунки не наблюдается термических повреждений и механические повреждения менее существенны. Эти результаты показывают, что при воздействии на ткань импульсами малой длительности распространение тепла было ограничено и любое повышение температуры при абляции сосредоточено в тонком приповерхностном слое.

Проведенные нами ранее экспериментальные исследования и численные расчеты [7; 8] показали, что при воздействии на дентин и эмаль в режиме УКИ температура не меняется или меняется незначительно (~0,1–1 °С), в то время как при облучении тканей микросекундными импульсами перегрев составил 2–4 °С.

Принимая во внимание вышесказанное, было целесообразно провести сравнение скорости препарирования твердых тканей зуба при использовании разработанного нами лазерно-плазменного метода и других лазерных и обычных механических способов (см. табл.).

Результаты эксперимента, проведенного на разработанной нами лазерно-плазменной установке, показали, что скорости препарирования твердых тканей в нашем случае не меньше, а в ряде случаев и превосходят по значению препарирования твердых тканей эрбиевым лазером.

Для достижения аналогичных результатов, получаемых обычным бором, необходима частота следования импульсов 1 Гц для удаления эмали и 10 Гц для удаления дентина, что легко достигалось в наших экспериментах. Таких же значений по скорости препарирования, как у высокооборотистых воздушных боров, достигнуть при помощи нашего лазера пока не удалось, но можно предположить, что частота следования импульсов, необходимая для удаления эмали, составляет порядка 85–90 Гц, а для удаления дентина – порядка 120 Гц.

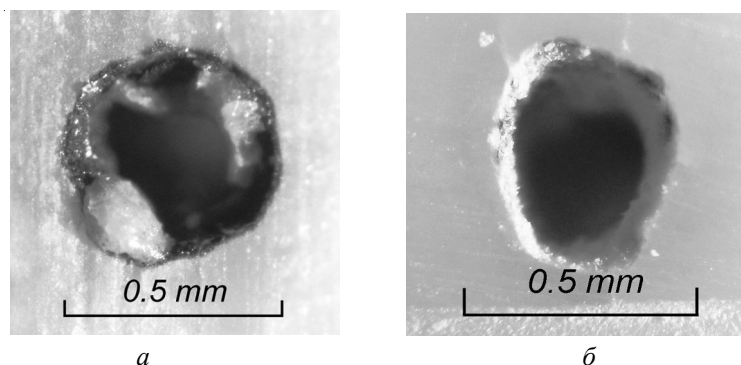


Рис. 2. Типичные фотографии лунок, полученных на поверхности твердых тканей под действием микросекундных импульсов (а) и под действием УКИ (б)

**Характеристики препарирования твердых тканей зуба  
при помощи различных методов**

Показатели	Лазерно-плазменный метод	Эрбиевый лазер [4]	Обычный бор	Высокооборотистый воздушный бор
Энергия генерации, мДж	550	550	–	–
Длина волны излучения, мкм	1,06	2,94	–	–
Скорость вращения бора об/мин	–	–	5 000–15 000	50 000–200 000
Скорость препарирования эмали, мкм/с	9,3 (при 1 Гц)	3 (при 1 Гц)	10	800
Скорость препарирования дентина, мкм/с	9,9 (при 1 Гц)	7 (при 1 Гц)	100	1 200

**Заключение**

В результате экспериментального исследования обнаружено, что при облучении твердых тканей УКИ (лазерно-плазменный режим) не наблюдается явных следов термических повреждений поверхностей эмали и дентина, а также практически отсутствует повышение температуры глуболежащих тканей зуба, в отличие от воздействия в режиме микросекундных импульсов, при котором перегрев твердых тканей зуба составляет 2–4 °С, что близко к критическому значению. Проведено сравнение эффективности удаления твердых тканей зуба лазерно-плазменным методом с эффективностью удаления при помощи эрбиевого лазера, обычного и высокооборотистого стоматологического бора. Как показали эксперименты, подобная технология не уступает по производительности не только обычной механической обработке зуба, но и современной лазерной обработке эрбиевыми лазерами.

Следует отметить, что предложенный метод лазерно-плазменной обработки твердых тканей зуба носит перспективный характер с точки зрения дальнейшего внедрения. Следующим этапом в данной работе является решение проблемы гибкой оптоволоконной транспортировки лазерного излучения в оперативную зону.

**ПРИМЕЧАНИЯ**

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках гранта 5-2011-МУ/ВолГУ Волгоградского государственного университета.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Аббас, Н. Принципы использования лазерных систем в стоматологии / Н. Аббас // *Dental market*. – 2005. – № 8. – С. 7–8.
2. Авдеев, А. В. Использование Er:YAG-лазера для терапии твердых тканей зуба / А. В. Авдеев // *Клиническая стоматология*. – 2002. – № 3. – С. 54–56.
3. Аникеев, Б. В. О возможности лазерно-плазменной технологии в стоматологических операциях / Б. В. Аникеев, В. Н. Храмов, В. Л. Подольский // *Известия Академии наук. Серия физическая*. – 1999. – Т. 63, № 6. – С. 1155–1158.
4. Беликов, А. В. Сравнительное исследование эффективности удаления твердых тканей зуба человека импульсами Er-лазера различной временной структуры / А. В. Беликов, Е. П. Жолобова, А. В. Скрипник // *Проблемы оптической физики : материалы 11-й Междунар. молодеж. науч. шк. по оптике, лазерной физике и биофизике*. – Саратов : Новый ветер, 2008. – С. 16–24.
5. Беликов, А. В. Лазерные биомедицинские технологии : учеб. пособие. (Часть 2) / А. В. Беликов, А. В. Скрипник. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2009. – 100 с.
6. Исследование взаимодействия оптического излучения с элементами лазерных систем и биологическими объектами. Лазерная модификация поверхности зуба человека / А. В. Беликов, В. Б. Карасев, А. Е. Пушкарева [и др.] // *Научно-технический вестник СПбГУ информационных технологий, механики и оптики*. – 2006. – № 30. – С. 56–64.
7. Храмов, В. Н. Поверхностное повреждение твердых тканей зуба при лазерном и лазерно-плазменном воздействиях / В. Н. Храмов, Т. С. Чебакова, И. В. Линченко // *Вестник СПбО АИН*. – 2008. – № 4. – С. 346–358.
8. Burluckaya, E. N. Influence of the high-energy ultrashort pulses of the Nd-laser on hard tooth tissues / E. N. Burluckaya, T. S. Chebakova, V. N. Khramov // *Proceedings of SPIE*. – 2011. – Vol. 7994. – P. 799419–1799419-6.

9. Coluzzi, Donald J. Lasers in dentistry – wonderful instruments or expensive toys? / Donald J. Coluzzi // International Congress Series. – 2003. – Vol. 1248. – P. 83–90.

10. Khramov, V. N. The laser-plasma action on hard tooth tissues / V. N. Khramov // Lasers for Measurements and Information Transfer 2005 // Proceedings of SPIE. – 2006. – Vol. 6251. – P. 1B1–1B8.

### **THE DENTAL PULSE-PERIODIC NEODYMIUM LASER**

*V.N. Khramov, T.S. Chebakova, E.N. Burlutskaya, P.A. Danilov*

Results of application of the pulse-periodic neodymium laser operating in a wide range of durations (from 0.5 ns up to 1 ms) for processing of an enamel and a dentine of the human teeth are submitted. The carried out comparison of efficiency and features of removal of hard tooth tissues by the laser-plasma methods with conventional methods of mechanical and laser treatment of surfaces of teeth has shown the perspectivity of the designed laser-plasma technology using the ultrashort pulses (USP).

**Key words:** *ultrashort laser pulses, laser plasma, hard tooth tissues, enamel, dentine.*