

УДК 621.373

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФАНТОМНЫЙ КАМЕНЬ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЛИТОТРИПСИИ

Рыжаков Валерий Максимович⁽¹⁾, Родимкин Никита Игоревич⁽²⁾, Александров Андрей Романович⁽³⁾

Студент 5 курса⁽¹⁾ Студент 5 курса⁽²⁾

кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Аспирант 1 курса⁽³⁾

кафедра «Медико-технические информационные технологии»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.Е.Шупенев,

кандидат технических наук «Лазерные технологии в машиностроении»

Мочекаменная болезнь (МКБ) является наиболее распространенным заболеванием в урологии, которая характеризуется образованием твердых кристаллообразных отложений (песка или камней (конкрементов)) в мочевыводящей системе организма. Анализ данных «Национального обследования здоровья и питания» продемонстрировал линейное увеличение числа людей с образованием камней в почках среди взрослого населения США за последние несколько десятилетий [1]. Существуют различные виды лечения МКБ [1]: консервативное лечение мочекаменной болезни, дистанционная литотрипсия, контактная уретеролитотрипсия (лазерная литотрипсия), чрескожная (перкутанная) нефролитотрипсия, лапароскопическая хирургия, открытая хирургия. Лазерная литотрипсия – это современная и эффективная технология в клинической практике для контактного дробления камней в мочевом пузыре, мочеточнике и почке, использующая различные типы лазеров: лазеры на красителях, аппараты на основе неодимового (Nd:YAG) лазера с генерацией второй гармоники, рубиновый лазер, лазер на александрите, гольмиевый лазер, тулиевый (Tm) лазер. При сравнении эффективности применения разных типов лазеров для задач литотрипсии используются такие показатели, как частота полного освобождения от камней, частота фрагментации, частота использования дополнительных процедур, частота дополнительного лечения, средняя потеря массы камня, длительность операции, время фрагментации конкретного камня, общая продолжительность лечения, стоимость/эффективность [1].

Лазерные системы, основанные на красителях, первоначально оценивались как перспективные инструменты, однако их дальнейшее распространение ограничилось в силу высокой стоимости и сложности инженерной реализации. В настоящее время широкое распространение получили твердотельные лазеры, отличающиеся стабильностью, компактностью и высокой эффективностью. Эти лазеры оперируют на длине волны 1,06 мкм, используя Nd:YAG в качестве активной среды. При помощи нелинейных кристаллов достигается генерация лазерного излучения на длине волны 532 нм, расположенной в зеленой области спектра. Этот эффект позволяет одновременно воздействовать на объект двумя различными длинами волн для эффективного индуцирования кавитации. Эффект

кавитации, применяемый в процессе разрушения конкремента, демонстрирует значительное снижение потенциального повреждения мягких тканей. [2] Также в лазерной литотрипсии используются лазеры на кристаллах александрита ($\text{BeAl}_2\text{O}_4:\text{Cr}^{3+}$), работающие на длине волны 0,75 мкм. Нынешним лидером является тулиевый (Tm) лазер с длиной волны излучения 1,94 мкм. Этот тип лазера работает в импульсно-периодическом режиме с короткими импульсами излучения, продолжительностью около 100 нс. Преимущество этого лазера заключается в том, что излучение с длиной волны 1,94 мкм хорошо поглощается в воде, что делает его эффективным для применения в лазерной литотрипсии. Кроме того, данный тип лазера считается безопасным для человека благодаря своей способности глубоко проникать в ткани с минимальным риском нанесения повреждений окружающим тканям.

В настоящее время большое внимание уделяется исследованию применения фемтосекундных лазеров в медицинской практике. Разрабатываются новые методы лечения и диагностики, основанные на высокой точности и контроле временных характеристик лазерного излучения. Данная работа демонстрирует возможность использования фемтосекундного лазерного излучения для задач дробления почечных конкрементов. В рамках экспериментов было проведено исследование влияния фемтосекундного лазерного излучения на модель почечного камня, выполненного из гипса марки VegoStone Plus [Vego, Германия]. Механические свойства данного гипса близки к «твердым» мочевым камням типа кальция оксалата моногидрата или дигидрата. В качестве лазерного литотриптера была продемонстрирована возможность использования фемтосекундной лазерной твердотельной системы на иттербиевом кристалле с длительностью импульса от 260 фс до 10 пс и энергией в импульсе от 50 мкДж на 200 кГц до 400 мкДж на 25 кГц. Такие параметры лазерного излучения могут позволить фрагментировать конкременты до частиц размером менее 0,01 мм, за счёт чего обеспечивается полное и безболезненное удаление камней. Серия экспериментов проводилась на исследовательской установке ТЕТА-10 [Avesta, Россия], в которой варьировалась частота следования импульсов (30 – 90 кГц), мощность (2 – 10 Вт) и число проходов (3 – 10). Показателем эффективности выступало изменение массы фантома конкремента. Анализ полученных данных показал, что максимальная потеря массы ($\approx 0,0713$ г.) достигается при режиме 30 кГц, 10 Вт на 10 проходах.

Таким образом, результаты исследования подтверждают потенциальную эффективность и перспективы использования фемтосекундной лазерной твердотельной системы на иттербиевом кристалле в области лазерной литотрипсии. Экспериментальные данные свидетельствуют о возможности этой системы обеспечить высокую точность и эффективность при разрушении конкрементов, что подтверждает ее значимость для развития современных методов лечения мочекаменной болезни. Дальнейшие исследования и клинические испытания могут дополнительно подтвердить применимость данной технологии в клинической практике и способствовать улучшению результатов лечения у пациентов.

Литература

1. Д.В. Платонова, В.А. Замятина, А.М. Дымов, А.А. Коваленко, А.З. Винаров, В.П. Минаев Лазерная литотрипсия, Урология. 2015. № 6. С. 116-121.
2. Blackmon,R.L.; Case,J.R.; Trammell,S.R.; Irby,P.B.; Fried,N.M. Fiber-opticmanipulationofurinarystonephantomsusingholmium:YAGandthuliumfiberlasers. J.Biomed.Opt. 2013.18.