

Д.В. Еникеев, Е.А. Лаухтина, М.Р. Аршиев,  
М.С. Тараткин, Ю.Г. Аляев, Л.М. Рапопорт,  
П.В. Глыбочко



Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет),  
Москва, Российская Федерация

## Лазеры в урологии

С момента внедрения лазерных технологий в медицину многие из них заменили хирургам привычный скальпель. Лазеры также нашли свое применение почти во всех направлениях урологии. Особенности физического воздействия лазерного излучения (коагуляция, достаточные гемостаз и режущие свойства) позволяют характеризовать лазерные операции как безопасные для пациента и удобные для врача, поэтому постоянно проводится не только усовершенствование старых лазерных аппаратов, но и разработка и испытание новых. На сегодняшний день наиболее известные аппараты в урологии — это неодимовый лазер (Nd:YAG), зеленый лазер (Greenlight), диодные лазеры, гольмиевый лазер (Ho:YAG), тулиевый лазер (Tm:YAG) и новый отечественный тулиевый волоконный лазер (TFL). Лазерные технологии прочно занимают свое место среди рекомендуемых методов диагностики и лечения различных урологических заболеваний, таких как доброкачественная гиперплазия предстательной железы, мочекаменная болезнь, опухоли мочевого пузыря. Наряду с этим проводятся лабораторные исследования по применению лазеров в области лапароскопической хирургии и фокальной абляции опухоли простаты. Цель нашей работы — рассказать об устройствах, уже занявших свое место в арсенале уролога, и о наиболее интересных разработках в области лазерной хирургии.

**Ключевые слова:** лазер, доброкачественная гиперплазия предстательной железы, лазерная энуклеация, литотрипсия, опухоль мочевого пузыря.

**(Для цитирования):** Еникеев Д.В., Лаухтина Е.А., Аршиев М.Р., Тараткин М.С., Аляев Ю.Г., Рапопорт Л.М., Глыбочко П.В. Лазеры в урологии. Вестник РАМН. Вестник РАМН. 2020;75(2):162–168. doi: 10.15690/vramn1196

162

### Исторические аспекты

Первое изложение принципа работы лазерного излучения осуществлено в 1917 г. Альбертом Эйнштейном в одном из исследований, посвященных квантовой теории относительности. Знаменитый физик рассматривал его как «феномен сверхфокусированных световых лучей» и установил, что при столкновении фотона света с атомом той же длины волны (в возбужденном состоянии) последний испускает еще один фотон той же длины волны и в том же направлении, откуда пришел фотон света. Эта концепция описана как «вынужденное испускание атомами вещества квантов электромагнитного излучения». Именно этот принцип положен в основу создания лазеров [1].

Изначально был создан MASER (от англ. microwaves amplification by the stimulated emission — усиление микроволн путем стимулирования излучения) — устройство, работающее по описанному выше принципу, но с использованием другого вида излучения. Технология MASER строилась на слегка измененном принципе, описанном

Эйнштейном, при котором частицы вещества стимулировались микроволнами, а не светом. Эта технология создавалась параллельно двумя группами ученых: группой американских физиков под руководством Ч. Townes и А. Schawlow (1954) и независимо от них группой советских физиков во главе с А. Прохоровым и Н. Басовым [1]. Обе группы ученых в 1964 г. получили Нобелевскую премию по физике [2].

Только по прошествии трех лет после появления MASER американский физик G. Gould разработал оптический квантовый генератор, преобразующий энергию накачки в энергию узконаправленного потока излучения, и первым предложил назвать это устройство LASER (от англ. light amplification by stimulated emission of radiation — усиление света, стимулированное эмиссионным излучением) [1]. Первый работающий лазер создан в 1960 г. группой ученых во главе с Т. Мэйман; в качестве активной среды использовался кристалл искусственного рубина.

Все особенности лазера связаны со средой, на базе которой формируется луч, так называемым активным центром лазера. Некоторые активные центры можно сти-

D.V. Enikeev, E.A. Laukhtina, M.R. Arshiev, M.S. Taratkin, Yu.G. Alyaev,  
L.M. Rapoport, P.V. Glybochko

I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

## The Lasers in Urology

A very rapid development of laser technology lead to the fact that many of them have already replaced surgeons with their usual scalpel. Laser technology has taken a place among the methods of treatment of various urological diseases. The features of the physical effect of laser exposure make it possible to characterize laser surgery as safe for the patient and convenient for the doctor. Therefore, along with the improvement of old laser devices, also the development and testing of new ones is constantly carried out. Nowadays the most commonly used lasers in urology are Nd:YAG, Greenlight, diode, Ho:YAG, Tm:YAG lasers and novel thulium fiber laser (TFL). Laser technology is taking place among the recommended methods for the diagnosis and treatment of various urological diseases, such as benign prostatic hyperplasia, urolithiasis, and bladder tumors. The aim of our review was to talk about laser devices that have already taken a place in the arsenal of urologist and about the most interesting developments in the field of laser surgery.

**Keywords:** lithotripsy, laser, BPH, kidney, bladder.

**(For citation):** Enikeev DV, Laukhtina EA, Arshiev MR, Taratkin MS, Alyaev YuG, Rapoport LM, Glybochko PV. The Lasers in Urology. Annals of the Russian Academy of Medical Sciences. 2020;75(2):162–168. doi: 10.15690/vramn1196

мулировать, воздействуя на них излучением множества частот. Но у каждого вещества есть своя специфическая длина волны, которой обладает луч, сформированный на его основе. Так, в качестве активных центров первого поколения лазеров использовались различные газы — азот, углекислый газ, гелий. В конце 1961 г. исследователи А. Javan, W. Bennett и D. Harriot продемонстрировали первый в мире газовый лазер, в котором активной средой являлись гелий и неон [1].

Один из первых лазеров, созданных на основе твердых кристаллов, — неодимовый лазер — создан на основе кристаллов иттрий-алюминиевого граната. Первые данные о его успешном применении опубликованы в 1964 г. [3].

Потенциал лазеров в медицине раскрылся практически моментально, когда стало понятно, с какой легкостью они прорезают ткани. Сегодня лазер используется как для диагностики, так и во многих сферах практической медицины — хирургии, дерматологии, стоматологии. Нашли лазеры свое применение почти во всех направлениях урологии.

Впервые Parsons провел серию экспериментов по изучению действия лазерного излучения на ткани мочевого пузыря собаки (1966). Спустя два года Mulvanу, используя тот же рубиновый лазер в импульсном режиме, попытался впервые фрагментировать конкремент мочевых путей [1].

Первый лазер, работающий через канал эндоскопа (1968) [4], продемонстрировал возможность совмещения работы лазера с технологиями эндоскопии, необходимыми в решении большинства урологических проблем. Именно этот факт явился ключевым моментом к широкому применению лазеров в урологии.

## Лазеры в эндоурологии

### Хирургия гиперплазии предстательной железы

В хирургии гиперплазии предстательной железы небольшого объема (до 80 см<sup>3</sup>) трансуретральная резекция простаты, которая дает развитие таких осложнений, как большой объем кровопотери, синдром трансуретральной резекции, является основной методикой. Именно поэтому в течение последних 20 лет ведется активное изучение и внедрение лазерных технологий, при помощи которых возможно устранение негативных последствий такого вмешательства.

Из первого поколения лазерных систем, широко используемых в настоящий момент в хирургии аденомы простаты, неодимовый лазер (Nd:YAG) вызывал глу-

бокий некроз ткани, поэтому в общемировой практике (с 1980-х годов) от его использования отказались [1]. Несмотря на это, российские ученые показали результаты успешного применения неодимового лазера с длиной волны 1,064 мкм [5].

На смену неодимовому лазеру пришли 5 основных групп лазерных систем: лазеры с генерацией излучения на основе титанил-фосфата калия (potassium titanyl phosphate, KTP) и лития бората (borate lithium, LBO), более известного как зеленый лазер (Greenlight); диодные лазеры; гольмиевый лазер Ho:YAG (с иттрий-алюминиевым гранатом); тулиевый лазер Tm:YAG (с иттрий-алюминиевым гранатом) и совсем недавно — новый отечественный тулиевый волоконный лазер (thule fiber laser, TFL) (табл.) [6].

На сегодняшний день возможно выполнение целого ряда методик с использованием лазерного излучения: вапоризация (испарение ткани под действием сверхвысоких температур), резекция, энуклеация и их комбинации — вапоэнуклеация и вапорезекция [7].

Вапоризация — одна из первых лазерных методик, разработанных для удаления гиперплазии простаты. Техника вапоризации (или абляции) применялась с середины 80-х годов XX века, однако только с появлением зеленого лазера (KTP:YAG или LBO:YAG) она стала по-настоящему безопасной и эффективной, что дало право рассматривать ее как альтернативу трансуретральной резекции [8]. Американская ассоциация урологов рекомендует проведение вапоризации гиперплазии простаты размером не более 80 см<sup>3</sup>. Следует отметить, что одним из недостатков методики является высокий процент (до 20%) развития рецидива [9]. По данным систематического обзора, проведенного V. Misrai и соавт. [10], методика фотоселективной вапоризации простаты (photoselective vaporization of the prostate, PVP) характеризуется значительным гемостатическим эффектом, что может быть крайне важно для пациентов с высоким риском возникновения кровотечений, например пациентов, принимающих антикоагулянты.

Первую гольмиевую энуклеацию гиперплазии простаты (HoLEP) с последующей морцелляцией (удаление по частям) аденоматозных узлов провели P. Gillling и соавт. в 1998 г. [11]. Широкое распространение техника энуклеации получила именно с появлением этапа морцелляции.

Длина волны гольмиевого лазера, равная 2,1 μm, приводит к значительному поглощению лазерного излучения молекулами воды (глубина проникновения лазерного излучения в ткани 0,4 мм). Однако установлено, что во время экспериментов на мягких тканях гольмиевый лазер

Таблица. Характеристики различных видов лазеров, используемых в урологии

Вид лазера	Длина волны, μm	Целевой хромофор	Режимы	Глубина проникновения излучения, мм
KTP/LBO (зеленый лазер)	0,53	Гемоглобин	Полупрерывный	0,8
Diode	0,94; 0,98; 1,3; 1,4	Вода и гемоглобин	Импульсный и непрерывный	0,5–5
Nd:YAG	1,0	Вода и гемоглобин	Импульсный и непрерывный	4–18
Holmium:YAG	2,1	Вода	Импульсный	0,4–0,7
Thulium:YAG	2,0	Вода	Непрерывный	0,4
Tm-fiber	1,9	Вода	Непрерывный	0,15–0,2

(Ho:YAG) преимущественно «разрывает» ткань формирующимися на конце волокна пузырьками воды, создавая тем самым нежелательные глубокие «резы» без достаточной зоны коагуляции [11]. Результаты метаанализов показали, что HoLEP ассоциирована с высокими функциональными результатами и меньшим количеством осложнений [9]. Результаты сравнения HoLEP со стандартной трансуретральной резекцией простаты подтвердили высокую эффективность и безопасность методики в купе с низким риском развития рецидива (менее 3% в сравнении с 10–15% при резекции) [12].

Наряду с HoLEP развивалась и тулиевая энуклеация (Tm:YAG). Физические свойства тулия (длина волны 2,0 μm, что еще ближе к пиковому поглощению воды), а также главная особенность — возможность работы в непрерывном режиме (continuous mode) — позволили хирургам точнее работать с тканью простаты, снизить частоту и выраженность кровотечений [13].

G. Pirola и соавт. [13] сравнили интра- и послеоперационные результаты HoLEP и тулиевой лазерной энуклеации гиперплазии простаты (ThuLEP). В результате сравнения интраоперационных показателей, таких, например, как время проведения непосредственно энуклеации (75,5 мин при использовании HoLEP и 70,5 мин с ThuLEP) и морцеляции (11,5 мин с использованием HoLEP и 10 мин с ThuLEP), можно говорить об их сопоставимости. Контроль эффективности методик проводился по прошествии 3; 6 и 12 мес наблюдения. Обе техники проявили себя как эффективные и сравнимые между собой в отношении их функциональных результатов (IPSS и Qmax).

Выполнение энуклеации возможно и с использованием диодного лазера (1,4 μm). Сравнительный анализ техники диодной энуклеации и плазмокинетической трансуретральной резекции проведен J. Zhang и соавт. [14]; такие показатели, как длительность операции, продолжительность катетеризации и госпитализации у пациентов, прошедших диодную энуклеацию, выше, при этом показатели IPSS, Qmax, QoL в долгосрочной перспективе (после 12 мес наблюдения) сопоставимы.

Новый отечественный тулиевый волоконный хирургический лазер (TFL) имеет длину волны 1,9 μm, что приводит к четырехкратному увеличению поглощения водой и к меньшей глубине проникновения (до 0,15 мм) по сравнению с гольмиевым лазером (Ho:YAG). Во время лабораторных экспериментов на мягких тканях установлено, что Ho:YAG-лазер «разрывает» ткань формирующимися на конце волокна пузырьками воды, создавая тем самым нежелательные глубокие «резы» (до 1,1 мм) без достаточной зоны коагуляции (максимум до 0,1 мм) [15], в то время как лазер TFL позволяет выполнять максимально точные надрезы мягких тканей без «разрывов» и без повреждения подлежащих структур с одновременной эффективной коагуляцией (до 0,5 мм), что в свою очередь позволяет точно выделить аденоматозный узел в пределах хирургической капсулы [16].

Другая принципиальная особенность нового российского лазера — отказ от использования лампы накачки и стандартных кристаллов (yttrium-aluminium-garnet — *иттрий-алюминиевый гранат*, YAG), применяемых в твердотельных лазерах Ho:YAG, Tm:YAG и GreenLight (KTP:YAG). В новом тулиевом волоконном лазере функцию кристаллов выполняет специальное волокно, легированное тулием, эффективнее передающее энергию, а значит, не требующее водяного охлаждения, что позволяет значительно уменьшить размер лазерного аппарата.

При сравнении функциональных показателей оба источника энергии продемонстрировали схожие результаты. Так, при ретроспективной оценке 551 пациента, 202 из которых выполнена тулиевая волоконная лазерная энуклеация гиперплазии простаты (ThuFLEP), 254 — HoLEP, 95 — монополярная энуклеация гиперплазии простаты (monopolar enucleation of the prostate, MEP), выявлены сравнимые послеоперационные функциональные результаты; минимальные отличия — в продолжительности операций в пользу ThuFLEP, которая составила 72; 76 и 86 мин соответственно ( $p < 0,01$ ) [17]. Также ThuFLEP демонстрирует высокую эффективность в лечении рецидива гиперплазии простаты [18].

### Лазерная литотрипсия

Впервые лазерная литотрипсия (Nd:YAG) была представлена в конце 80-х годов прошлого столетия [19]. Гольмиевый лазер (Ho:YAG) после успешного использования в хирургии простаты нашел применение и в лечении уролитиаза [20]. Механизм интенсивной вапоризации воды внутри камня, приводящий к дефрагментации [21], — основное достоинство гольмиевого лазера. Метаанализ исследований гибкой уретероскопии с использованием Ho:YAG-лазера и наружной ударно-волновой литотрипсии проведен Y. Mi и соавт. [22]. Так, при проведении гольмиевой литотрипсии наблюдалась значительно большая эффективность в stone-free rate (состояние, свободное от камней), нежели при выполнении ударно-волновой литотрипсии при удалении камней размером 1–2 см; при этом частота осложнений в обеих группах сравнима.

Кроме того, преимуществом Ho:YAG-лазера является возможность удаления камней всех типов и локализаций [23]. Но результаты отечественных научных работ по применению трансуретральной уретеролитотрипсии при камнях верхней трети мочеточника показывают, что данная процедура сопряжена с определенными техническими трудностями ввиду ограничений процедуры уретероскопии и возможного смещения фрагментов камня в чашечно-лоханочную систему почки, что нередко требует выполнения пиелокаликотрипсии и/или литоэкстракции [23]. В других работах показано еще одно преимущество этого лазера — высокая способность к гемостазу вследствие полной коагуляции сосудов небольшого диаметра, что предотвращает возможность вторичного кровотечения [24].

Спектр возможностей Ho:YAG-лазера при литотрипсии не так давно пополнила так называемая Moses technology — излучение двух лазерных импульсов за короткий период времени для максимальной доставки энергии и, как следствие, более эффективная литотрипсия [25]. Первые проведенные эксперименты показывают возможное ускорение литотрипсии в 2–3 раза и снижение при этом ретропульсии (отбрасывание камня под воздействием лазерных импульсов, мешающего операции) [25].

В настоящее время тулиевый волоконный лазер является потенциальной альтернативой гольмиевому лазеру Ho:YAG, широко применяемому при дроблении конкрементов. Как упоминалось ранее, длина волны тулиевого волоконного лазера (1,9 μm) позволяет добиться абсорбции, в 4 раза превышающей абсорбцию, наблюдаемую при работе Ho:YAG-лазера, что приводит к повышению эффективности абляции камня в 4 раза [26].

R. Blackton и соавт. [27] в своем исследовании оценили результаты гольмиевой и тулиевой волоконной литотрипсии. В сравнении с литотрипсией, выполненной

Но:YAG-лазером при одинаковой энергии импульса, литотрипсия, выполненная тулиевым волоконным лазером, характеризуется примерно двух-четырёхкратным уменьшением ретропульсии [28, 29]. Кроме того, тулиевый волоконный лазер (TFL) позволяет работать в широком спектре лазерных параметров: например, частота лазерного излучения может варьироваться от 1 до 2000 Гц, что является оптимальным условием работы в режиме распыления (dusting). Дальнейшая оптимизация параметров лазерного излучения в рамках лабораторных исследований позволит врачам в большей степени использовать потенциал TFL.

Одно из первых клинических исследований лазера TFL проведено О. Тгахер и соавт. [30] на 268 больных: аппарат показал высокую эффективность при литотрипсии конкрементов плотностью до 1960 НУ. Несмотря на отсутствие таких осложнений, как стриктуры или повреждение мочеточника, безопасность TFL нуждается в дальнейшем изучении.

### Хирургия опухоли мочевого пузыря

Почти 75% случаев диагностируемого рака мочевого пузыря имеют мышечно-неинвазивную стадию (Ta, T1 или карциному *in situ*) [31]. Для выбора правильной тактики лечения необходима точная верификация диагноза; для этого патоморфолог должен получить качественный образец резецируемой ткани. Однако, зачастую стандартная трансуретральная резекция стенки мочевого пузыря с опухолью не позволяет получить гистологический материал с мышечным слоем, что может приводить к ошибочному диагнозу. Согласно рекомендациям Европейской ассоциации урологов, наличие мышечного слоя в макропрепарате является также показателем эффективной резекции опухоли [32]. В связи с этим у пациента, перенесшего трансуретральную резекцию, существует большой риск развития рецидива опухоли [33].

Появление техники en-bloc-резекции (единым блоком) позволило во многом избежать вышеописанных проблем. Лазерную гольмиевую en-bloc-резекцию стенки мочевого пузыря с опухолью при мышечно-неинвазивном раке мочевого пузыря стали применять с начала 2000-х годов [34], и она уже показала высокую эффективность.

En-bloc-резекция с Тm:YAG-лазером впервые описана в работе М. Wolters и соавт. [35] (в исследовании участвовало 6 пациентов). Во всех морфологических образцах, полученных в работе, был представлен мышечный слой.

К. Li и соавт. [36] в своем исследовании провели ретроспективный анализ 256 пациентов (136 пациентов после тулиевой en-bloc, 120 — после биполярной трансуретральной резекции). Группы сравнимы по возрасту и характеристикам опухолевого узла. Анализ результатов показал, что продолжительность операции, госпитализации и катетеризации в группе en-bloc-резекции значительно ниже, чем в группе биполярной трансуретральной резекции. Кроме того, образцы, полученные при тулиевой en-bloc-резекции, имели более выраженный мышечный слой, что позволило с большей точностью определить степень инвазии злокачественного образования.

При сравнении эффективности и безопасности en-bloc-резекции, выполненной различными источниками энергии в мультицентровом исследовании М. Kramer и соавт. [37], оценены результаты 221 пациента. В качестве источников энергии выбраны моно- и биполярные электроинструменты (156 пациентов), а также гольмиевый и тулиевый лазеры (65 пациентов). Средний размер

опухоли — 2,1 см. В группе моно- и биполярной en-bloc-резекции частота конверсии составила 26,3% случаев, в то время как в лазерной группе — всего 1,5%. Мышечный слой представлен в 97,3% без статистической разницы между группами. Послеоперационные показатели (периоды катетеризации и госпитализации) практически не отличались. Авторы делают вывод, что en-bloc-резекция стенки мочевого пузыря с опухолью может проводиться как лазерным, так и электрохирургическим источником энергии.

## Новые возможности лазерных технологий

### Лазеры в лапароскопии

Одна из первых экспериментальных работ по применению лазерного излучения в лапароскопии представлена В. Barzilay и соавт. [38]: 4 пациентам выполнена лазерная резекция опухоли почки CO<sub>2</sub>-лазером, при этом отмечены эффективный гемостаз и отличные режущие свойства лазера.

Спустя четыре года Т. Malloy и соавт. [39] представили опыт резекции опухоли почки неодимовым лазером (Nd:YAG) 6 пациентам. Через 28 мес после операции у 3 пациентов, доступных на момент обследования, не было выявлено остаточной опухоли или рецидива заболевания, что может быть объяснено данными отечественных работ, показавших не только отсутствие стимуляции диссеминации опухолевого процесса под воздействием лазера, но и подавление размножения опухолевых клеток [40].

Исследование Y. Lotan и соавт. [41] показало, в свою очередь, эффективность и отличные гемостатические свойства Но:YAG-лазера при резекции опухоли почки у 3 пациентов. Все операции проводились в условиях «нулевой» ишемии.

В одной из последних работ N. Knezevic и соавт. [42] представили использование в лапароскопической хирургии диодного лазера: 17 пациентам была выполнена резекция опухоли почки. Изучение гистологического материала продемонстрировало отсутствие положительного хирургического края, а хирургами отмечены хорошие гемостатические свойства лазера.

В настоящий момент ведутся экспериментальные работы по изучению тулиевого лазера. А. Thomas и соавт. [43] выполнили тулиевую лазерную резекцию опухоли почки в условиях «нулевой» ишемии 15 пациентам. Время операции составило в среднем 168 мин, а средняя кровопотеря — 340 мл. Гистологическое исследование проиллюстрировало наличие отрицательного хирургического края во всех образцах.

Однако все лазерные лапароскопические вмешательства в воздушной среде характеризуются интенсивным дымообразованием и чрезмерной карбонизацией ткани, что значительно ухудшает видимость и качество реза. Решить эти проблемы, возможно, поможет комбинация современных лазерных аппаратов с определенной системой удаления дыма из операционного поля.

### Лазерная абляция

Лазерная абляция в последнее время набирает все большую популярность как одна из методик фокальной терапии рака простаты и опухоли почки.

U. Lindner и соавт. [44] оценили эффективность лазерной абляции при лечении рака простаты низкого риска у 12 пациентов, диагноз которых подтвержден биопсией. Для контроля зоны абляции использовались термодатчики, проведенные с помощью решетки для трансперинеальной

биопсии. Оценка онкологической эффективности проводилась при помощи мультипараметрической магнитно-резонансной томографии и биопсии. Авторы отметили высокую безопасность процедуры: осложнений не выявлено ни у одного пациента; 75% пациентов выписаны из стационара спустя несколько часов после процедуры, а оставшиеся 25% — на следующий день; эректильная функция и удержание мочи остались неизменными у всех пациентов.

В работе А. Ото и соавт. [45] контрольная биопсия выполнялась 9 пациентам через 6 мес после проведения лазерной абляции рака простаты (не более 7 баллов по шкале Глисона): у 7 пациентов следов опухоли не обнаружено, у 2 обнаружена остаточная опухоль (6 баллов по шкале Глисона).

Стоит отметить, что фокальная терапия стремительно набирает популярность в лечении рака простаты низкого риска [46]. Лазерная абляция является перспективным методом, обладающим низкой частотой осложнений (недержание мочи, эректильная дисфункция, острая задержка мочи), а более детальное изучение этого метода позволяет подобрать оптимальные параметры для успешного лечения не только предстательной железы, но и опухолей почек [47].

М. de Jode и соавт. [48] сообщили об опыте проведения лазерной абляции опухоли почки под контролем магнитно-резонансной томографии в режиме реального времени. При магнитно-резонансном исследовании в послеоперационном периоде у всех пациентов в месте абляции выявлена зона некроза, что было расценено как успешное лечение. Однако Европейская ассоциация урологов рекомендует проведение лазерной абляции опухоли почки только в рамках клинических исследований ввиду небольшого опыта проведения подобных операций [49].

## Заключение

С момента внедрения лазерных технологий в урологию многие из них заменили хирурга привычный для них скальпель. Особенности физического воздействия лазерного излучения (коагуляция, достаточные гемостаз и режущие свойства) позволяют характеризовать лазерные операции как безопасные для пациента и удобные для врача, поэтому постоянно проводится не только усовершенствование старых лазерных аппаратов, но и разработка и испытание новых. Лазерные технологии прочно занимают свое место среди рекомендуемых методик диагностики и лечения различных урологических заболеваний.

## Дополнительная информация

**Источник финансирования.** Нет

**Конфликт интересов.** Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

**Участие авторов.** Д.В. Еникеев — написание статьи, анализ данных, редактирование статьи; Е.А. Лаухтина — написание статьи, анализ данных, подготовка финальной версии; М.Р. Аршиев, М.С. Тараткин — написание статьи, сбор данных, подготовка финальной версии; Ю.Г. Аляев, Л.М. Рапопорт, П.В. Глыбочко — анализ данных, редактирование статьи. Все авторы внесли существенный вклад в проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию до публикации.

## ЛИТЕРАТУРА

- Gross AJ, Herrmann TR. History of lasers. *World J Urol.* 2007;25(3):217–220. doi: 10.1007/s00345-007-0173-8.
- Schawlow AL. Facts. Nobel Media AB 2014 [cited 2017 4 Jan 2017]. Available from: [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1981/schawlow-facts.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1981/schawlow-facts.html).
- Geusic JE, Marcos HM, van Uitert LG. Laser oscillations in Nd-doped yttrium aluminium, yttrium gallium and gadolinium garnets. *Appl Phys Lett.* 1964;4(10):182–184. doi: 10.1063/1.1753928.
- Mulvaney WP, Beck CW. The laser beam in urology. *J Urol.* 1968;99(1):112–115. doi: 10.1016/s0022-5347(17)62652-1.
- Ашраф Ахмед Али. *Трансуретральная лазерная хирургия при доброкачественной гиперплазии предстательной железы*: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. — СПб., 2003. — 15 с. [Ashraf Akhmed Ali. *Transurethral'naya lazernaya khirurgiya pri dobrokachestvennoy giperplazii predstatel'noy zhelezy*. [dissertation abstract] Saint Petersburg; 2003. 15 p. (In Russ).] Доступно по: <https://search.rsl.ru/ru/record/01002658995>. Ссылка активна на 14.01.2020.
- Teichmann HO, Herrmann TR, Bach T. Technical aspects of lasers in urology. *World J Urol.* 2007;25(3):221–225. doi: 10.1007/s00345-007-0184-5.
- Bach T, Herrmann TR, Ganzer R, et al. RevoLix vaporessection of the prostate: initial results of 54 patients with a 1-year follow-up. *World J Urol.* 2007;25(3):257–262. doi: 10.1007/s00345-007-0171-x.
- Камалов А.А., Осмоловский Б.Е. Трансуретральная фотоселективная лазерная vaporизация в лечении аденомы предстательной железы // Урология. — 2008. — №5. — С. 28–31. [Kamalov AA, Osmolovskiy BE. Transurethral photoselective laser vaporization in the treatment of prostatic adenoma. *Urologiya.* 2008;(5):28–31. (In Russ).]
- Cornu JN, Ahyai S, Bachmann A, et al. A systematic review and meta-analysis of functional outcomes and complications following transurethral procedures for lower urinary tract symptoms resulting from benign prostatic obstruction: an update. *Eur Urol.* 2015;67(6):1066–1096. doi: 10.1016/j.eururo.2014.06.017.
- Misrai V, Roupert M, Guillotreau J, et al. [Greenlight (R) photoselective vaporisation for benign prostatic hyperplasia: a systematic review. (In French)]. *Prog Urol.* 2013;23(2):77–87. doi: 10.1016/j.purol.2012.10.013.
- Gilling PJ, Cass CB, Malcolm AR, et al. Combination holmium and Nd:YAG laser ablation of the prostate: initial clinical experience. *J Endourol.* 1995;9(2):151–153. doi: 10.1089/end.1995.9.151.
- Gilling PJ, Wilson LC, King CJ, et al. Long-term results of a randomized trial comparing holmium laser enucleation of the prostate and transurethral resection of the prostate: results at 7 years. *BJU Int.* 2012;109(3):408–411. doi: 10.1111/j.1464-410X.2011.10359.x.
- Pirola GM, Saredi G, Coudas Duarte R, et al. Holmium laser versus thulium laser enucleation of the prostate: a matched-pair analysis from two centers. *Ther Adv Urol.* 2018;10(8):223–233. doi: 10.1177/1756287218779784.
- Zhang J, Wang X, Zhang Y, et al. 1470 nm Diode laser enucleation vs plasmakinetic resection of the prostate for benign prostatic hyperplasia: a randomized study. *J Endourol.* 2018;33(3):211–217. doi: 10.1089/end.2018.0499.
- Teichmann HO, Herrmann TR, Bach T. Technical aspects of lasers in urology. *World J Urol.* 2007;25(3):221–225. doi: 10.1007/s00345-007-0184-5.
- Fried NM, Murray KE. High-power thulium fiber laser ablation of urinary tissues at 1.94 microm. *J Endourol.* 2005;19(1):25–31. doi: 10.1089/end.2005.19.25.
- Enikeev D, Glybochko P, Okhunov Z, et al. Retrospective analysis of short-term outcomes after monopolar versus laser endoscopic

- enucleation of the prostate: a single center experience. *J Endourol.* 2018;32(5):417–423. doi: 10.1089/end.2017.0898.
18. Becker B, Netsch C, Glybochko P, et al. A feasibility study utilizing the thulium and holmium laser in patients for the treatment of recurrent benign prostatic hyperplasia after previous prostatic surgery. *Urol Int.* 2018;101(2):212–218. doi: 10.1159/000489858.
  19. Dretler SP, Watson G, Parrish JA, et al. Pulsed dye laser fragmentation of ureteral calculi: initial clinical experience. *J Urol.* 1987;137(3):386–389. doi: 10.1016/s0022-5347(17)44043-2.
  20. Lee J, Gianduzzo TR. Advances in laser technology in urology. *Urol Clin North Am.* 2009;36(2):189–198. doi: 10.1016/j.ucl.2009.02.004.
  21. Teichman JM, Rao RD, Rogenes VJ, et al. Ureteroscopic management of ureteral calculi: electrohydraulic versus holmium:YAG lithotripsy. *J Urol.* 1997;158(4):1357–1361. doi: 10.1016/s0022-5347(01)64214-9.
  22. Mi Y, Ren K, Pan H, et al. Flexible ureterorenoscopy (F-URS) with holmium laser versus extracorporeal shock wave lithotripsy (ESWL) for treatment of renal stone < 2 cm: a meta-analysis. *Urolithiasis.* 2016;44(4):353–365. doi: 10.1007/s00240-015-0832-y.
  23. Гордиенко А.Ю., Мартов А.Г., Андронов А.С., и др. Перкутанная и трансуретральная эндоскопическая хирургия крупных камней верхней трети мочеточника // *Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии Минздрава России.* — 2011. — №11-4. — С. 115–127. [Gordienko A, Martov A, Andronov A, et al. Percutaneous and transurethral endoscopic surgery for large proximal ureteral stones. *Vestnik Rossiiskogo nauchnogo centra rentgenoradiologii Minzdrava Rossii.* 2011;(11-4):115–127. (In Russ).]
  24. Попков В.М., Фомкин Р.Н., Понукалин А.Н., Блюмберг Б.И. Современные аспекты лечения уретеролитиаза. Краткая история возникновения и развития контактной литотрипсии // *Саратовский научно-медицинский журнал.* — 2011. — Т.7. — №S2. — С. 66–70. [Popkov VM, Fomkin RN, Ponukalin AN, Blumberg BI. Modern aspects of the treatment of ureterolithiasis. A brief history of the occurrence and development of contact lithotripsy. *Saratov journal of medical scientific research.* 2011;7(S2):66–70. (In Russ).]
  25. Ventimiglia E, Traxer OR. What is moose effect: a historical perspective. *J Endourol.* 2019;33(5):353–357. doi: 10.1089/end.2019.0012.
  26. Traxer OR, Keller EX. Thulium fiber laser: the new player for kidney stone treatment? A comparison with Holmium:YAG laser. *World J Urol.* 2019. doi: 10.1007/s00345-019-02654-5.
  27. Blackmon RL, Fried NM, Irby PB. Comparison of holmium:YAG and thulium fiber laser lithotripsy: ablation thresholds, ablation rates, and retropulsion effects. *J Biomed Opt.* 2011;16(7):1–6. doi: 10.1117/1.3564884.
  28. Hardy LA, Vinnichenko V, Fried NM. High power holmium:YAG versus thulium fiber laser treatment of kidney stones in dusting mode: ablation rate and fragment size studies. *Lasers Surg Med.* 2019;51(6):522–530. doi: 10.1002/lsm.23057.
  29. Andreeva V, Vinarov A, Yaroslavsky I, et al. Preclinical comparison of superpulse thulium fiber laser and a holmium:YAG laser for lithotripsy. *World J Urol.* 2019;38(2):497–503. doi: 10.1007/s00345-019-02785-9.
  30. Traxer OR, Tsarichenko D, Dymov A, et al. V03-02 FIRST clinical study on superpulse thulium fiber laser for lithotripsy. *J Urol.* 2018;199(4S):e321–e322. doi: 10.1016/j.juro.2018.02.827.
  31. Burger M, Catto JW, Dalbagni G, et al. Epidemiology and risk factors of urothelial bladder cancer. *Eur Urol.* 2013;63(2):234–241. doi: 10.1016/j.eururo.2012.07.033.
  32. Babjuk M, Burger M, Compérat E, et al. *European Association of Urology (EAU) guidelines on non-muscle-invasive bladder cancer (Ta, T1, and CIS).* EAU; 2018. Available from: <https://uroweb.org/guideline/non-muscle-invasive-bladder-cancer/>.
  33. Mariappan P, Zachou A, Grigor KM. Detrusor muscle in the first, apparently complete transurethral resection of bladder tumour specimen is a surrogate marker of resection quality, predicts risk of early recurrence, and is dependent on operator experience. *Eur Urol.* 2010;57(5):843–849. doi: 10.1016/j.eururo.2009.05.047.
  34. Saito S. Transurethral en-bloc resection of bladder tumors. *J Urol.* 2001;166(6):2148–2150.
  35. Wolters M, Kramer MW, Becker JU, et al. Tm:YAG laser en bloc mucosectomy for accurate staging of primary bladder cancer: early experience. *World J Urol.* 2011;29(4):429–432. doi: 10.1007/s00345-011-0686-z.
  36. Li K, Xu Y, Tan M, et al. A retrospective comparison of thulium laser en bloc resection of bladder tumor and plasmakinetic transurethral resection of bladder tumor in primary non-muscle invasive bladder cancer. *Lasers Med Sci.* 2019;34(1):85–92. doi: 10.1007/s10103-018-2604-8.
  37. Kramer MW, Wolters M, Herrmann TR. En bloc resection of bladder tumors: ready for prime time? *Eur Urol.* 2016;69(5):967–968. doi: 10.1016/j.eururo.2016.01.004.
  38. Barzilay B, Lijovetzky G, Shapiro A, et al. The clinical use of CO<sub>2</sub> laser beam in the surgery of kidney parenchyma. *Lasers Surg Med.* 1982;2(1):81–87. doi: 10.1002/lsm.1900020110.
  39. Malloy TR, Schultz RE, Wein AJ, et al. Renal preservation utilizing neodymium:YAG laser. *Urology.* 1986;27(2):99–103. doi: 10.1016/0090-4295(86)90363-8.
  40. Патент РФ на изобретение RU № 2584080C1. Корепанов В.И. *Применение Nd:YAG-лазера в хирургической клинике.* [Patent RUS № 2584080C1. Korepanov VI. *Primeneniye Nd:YAG-lazera v khirurgicheskoy klinike.* (In Russ).] Доступно по: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2584080C1\\_20160520](https://yandex.ru/patents/doc/RU2584080C1_20160520). Ссылка активна на 14.01.2020.
  41. Lotan Y, Gettman MT, Ogan K, et al. Clinical use of the holmium: YAG laser in laparoscopic partial nephrectomy. *J Endourol.* 2002;16(5):289–292. doi: 10.1089/089277902760102767.
  42. Knezevic N, Kulis T, Maric M, et al. Laparoscopic partial nephrectomy with diode laser: a promising technique. *Photomed Laser Surg.* 2014;32(2):101–105. doi: 10.1089/pho.2013.3646.
  43. Thomas AZ, Smyth L, Hennessey D, et al. Zero ischemia laparoscopic partial thulium laser nephrectomy. *J Endourol.* 2013;27(11):1366–1370. doi: 10.1089/end.2012.0527.
  44. Lindner U, Weersink RA, Haider MA, et al. Image guided photothermal focal therapy for localized prostate cancer: phase I trial. *J Urol.* 2009;182(4):1371–1377. doi: 10.1016/j.juro.2009.06.035.
  45. Oto A, Sethi I, Karczmar G, et al. MR imaging-guided focal laser ablation for prostate cancer: phase I trial. *Radiology.* 2013;267(3):932–940. doi: 10.1148/radiol.13121652.
  46. Van der Poel HG, van den Bergh RC, Briers E, et al. Focal therapy in primary localised prostate cancer: the European association of urology position in 2018. *Eur Urol.* 2018;74(1):84–91. doi: 10.1016/j.eururo.2018.01.001.
  47. Lovisolo JA, Legramandi CP, Fonte A. Thermal ablation of small renal tumors – present status. *Scientific World J.* 2007;7:756–767. doi: 10.1100/tsw.2007.144.
  48. De Jode MG, Vale JA, Gedroyc WM. MR-guided laser thermoablation of inoperable renal tumors in an open-configuration interventional MR scanner: preliminary clinical experience in three cases. *J Magn Reson Imaging.* 1999;10(4):545–549. doi: 10.1002/(sici)1522-2586(199910)10:4<545::aid-jmri7>3.0.co;2-r.
  49. Thomas RW, Herrmann EN, Nagel U, et al. EAU guidelines on laser technologies. *Eur Urol.* 2012;61(4):783–795. doi: 10.1016/j.eururo.2012.01.010.

## КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

*Еникеев Дмитрий Викторович*, д.м.н. [*Dmitry V. Enikeev*, MD, PhD]; тел.: +7 (495) 609-14-00,  
e-mail: dvenikeev@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7169-2209>, SPIN-код: 6353-5460

*Лаухтина Екатерина Александровна* [*Ekaterina A. Laughtin*]; тел.: +7 (495) 609-14-00, e-mail: [katyalaukhtina@mail.ru](mailto:katyalaukhtina@mail.ru),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8953-0272>, SPIN-код: 6152-0962

*Аршиев Магомед Русланович* [*Magomed R. Arshiev*]; e-mail: [arshmag10@gmail.com](mailto:arshmag10@gmail.com),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6625-5901>, SPIN-код: 2537-8189

*Тараткин Марк Сергеевич* [*Mark S. Trackin*]; адрес: 119991, Россия, Москва, ул. Большая Пироговская, д. 2, стр. 1  
[address: 2 p. 1 Bolshaya Pirogovskaya str., 119991 Moscow, Russia]; тел.: +7 (495) 609-14-00,  
e-mail: [marktaratkin@gmail.com](mailto:marktaratkin@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4369-173X>, SPIN-код: 1575-3223

*Аляев Юрий Геннадьевич*, д.м.н., профессор, член-корр. РАН [*Yuri G. Alyaev*, MD, PhD, Professor];  
e-mail: [ugalyaev@mail.ru](mailto:ugalyaev@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2937-0983>, SPIN-код: 9138-1889

*Рапопорт Леонид Михайлович*, д.м.н., профессор [*Leonid M. Rapoport*, MD, PhD, Professor];  
e-mail: [leonidrapoport@yandex.ru](mailto:leonidrapoport@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7787-1240>, SPIN-код: 1470-1850

*Глыбочко Пётр Витальевич*, д.м.н., профессор, академик РАН [*Petr V. Glybochko*, MD, PhD, Professor];  
e-mail: [rektorat@mma.ru](mailto:rektorat@mma.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5541-2251>