doi: 10.17116/otorino20168162-66

Лазеры в оториноларингологии

Засл. деятель науки РФ, д.м.н., проф. А.И. КРЮКОВ, д.м.н., Г.Ю. ЦАРАПКИН, м.н.с. С.Г. АРЗАМАЗОВ, клин. орд. С.А. ПАНАСОВ

Научно-исследовательский клинический институт оториноларингологии им. Л.И. Свержевского (дир. — проф. А.И. Крюков) Департамента здравоохранения Москвы, Москва, Россия, 117152

Цель обзора — систематизировать данные о современных лазерных системах, их свойствах и возможностях, применении в различных сферах медицины, в том числе в оториноларингологии. Применение лазерных технологий в медицинской практике становится все более популярным. Лазеры, давно освоенные в терапии и в диагностике, стали активно применяться в хирургической практике различных специальностей. В оториноларингологии наиболее широко применяются неодимовый, углекислотный и гольмиевый лазеры. Последний — наиболее универсальный по своим характеристикам, имеет небольшую длину волны (λ=2,01 мкм) и глубину проникновения в биоткани до 0,4 мм; таким образом, гольмиевый лазер совмещает в себе преимущества неодимового и CO_2-лазера и лишен их недостатков. Гольмиевый лазер является самым перспективным из всех видов лазерного излучения, применяемого в ЛОР-хирургии, и его возможности наиболее полно охватывают спектр хирургических манипуляций при патологии уха, горла и носа, что открывает новые возможности в развитии практической оториноларингологии.

Ключевые слова: лазер, ЛОР-заболевания.

The application of lasers in otorhinolaryngology

A.I. KRYUKOV, G.YU. TSARAPKIN, S.G. ARZAMASOV, S.A. PANASOV

L.I. Sverzhevsky Research Clinical Institute of Otorhinolaryngology, Moscow Health Department, Moscow, Russia, 117152

The objective of this review is to summarize and systematize the data concerning the modern laser and laser-based systems, their characteristics, and possible applications in various spheres of medicine including otorhinolaryngology. The application of laser technologies in medical practice gains ever increasing popularity. Lasers have been successfully used during a long period for the diagnostic and therapeutic purposes. At present, they are just as actively applied in different fields of the surgical practice. Otorhinolaryngology makes the most extensive use of neodymium, CO2, and holmium lasers. The latter has the most universal characteristics and is operated in a relatively short wavelength range (λ=2.01 mcm); moreover, its radiation penetrates as deep as 0.4 mm into the biological tissues. In other words, the holmium laser not only combines the advantages of the CO2 and neodymium lasers but is also devoid of their shortcomings. The holmium laser is considered to be the most promising source of laser radiation for the application in otorhinolaryngological surgery with a potential encompassing the most wide spectrum of surgical manipulations needed to treat pathological changes in the ears, nose, and throat. The application of this instrument in medical practice opens up new prospects for the development of otorhinolaryngology.

Keywords: laser, ENT diseases.

Лазерные медицинские технологии отличаются многоплановостью, комплексностью, разнообразием. Лазерная медицина включает воздействие лазерного излучения на различные части тела: кожа, кости, мышцы, жировые ткани, внутренние органы, глаза, зубные ткани и др. При этом каждая из них в свою очередь имеет сложное строение, свои свойства, как оптические (спектральные характеристики, коэффициент отражения, глубина проникновения излучения), так и теплофизические (теплопроводность, температуропроводность, теплоемкость), отличные от свойств других биотканей. Соответственно, в каждом случае необходимо выбирать индивидуальные параметры режима облучения: длину волны, длительность воздействия, мощность, частоту следования импульсов и др. [1].

Сильное различие свойств биотканей делает возможным специфические воздействия, например чрескожное воздействие на патологические ткани (облучение подкожных тканей без существенного повреждения кожи). Существует несколько совершенно различных механизмов удаления биологических тканей: тепловой и низкоэнергетический коагуляционный с последующей резорбцией, взрывные механизмы, «холодная» аблация. Лазерная терапия — облучение крови, особых точек или проекций органов на коже человека оказывает воздействие на внутренние органы, весьма удаленные от области воздействия, и на весь организм в целом [1].

Слово «лазер» представляет собой аббревиатуру «LASER» (от англ. Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation — «усиление света путем стимулиро-

© Коллектив авторов, 2016

*e-mail: tsgrigory@mail.ru

ванной эмиссии излучения») [2]. Лазер (оптический квантовый генератор) — устройство, генерирующее когерентные и монохроматические электромагнитные волны видимого диапазона за счет вынужденного испускания или рассеяния света атомами (ионами, молекулами) активной среды [3, 4].

Лазерный луч оказывает свое воздействие на молекулярном, клеточном, тканевом и органном уровне, восстанавливая функциональную активность, метаболизм, микроциркуляцию и улучшая саморегуляцию организма. Противовоспалительное, десенсибилизирующее, болеутоляющее, спазмолитическое, противоотечное и регенерирующее действие лазера позволяет применять этот метод во всех областях медицины [5].

Лазерная медицина с каждым годом становится все более популярной в связи с высокой эффективностью, уменьшением числа интра- и послеоперационных осложнений, практически безболезненностью воздействия, антисептическим действием излучения, отсутствием возрастных ограничений и побочных явлений со стороны организма пациента, уменьшением времени вмешательства, что наиболее важно в хирургической практике, особенно во время операций под наркозом.

Однако лазерное излучение остается до конца не изученным, в лазерной медицине много «белых пятен», до настоящего времени не изведанных, которые требуют более тщательного подхода и глубокого анализа. Это касается показаний применения лазера при тех или иных патологиях, режимов их воздействия на различные ткани, допустимую длительность воздействия на ткани; также не лимитирована частота лазерных воздействий на биологические ткани за всю жизнь (в частности, это касается лазерной фонохирургии), не разработана тактика ведения пациентов в послеоперационном периоде после лазерных хирургических вмешательств. Недостаточно статистических данных, касающихся осложнений после применения как терапевтических, так и хирургических лазеров.

Как известно, развитие медицины напрямую зависит от развития всех сфер человеческой деятельности в целом, и, конечно, от развития научно-технического прогресса. Существенное влияние на развитие современной медицины оказывают результаты научно-технического прогресса.

В 1964 г. У. Бриджесом и Х. Эркрефтом [4, 6] был разработан аргоновый газовый лазер. Это был лазер непрерывного излучения с сине-зеленой областью спектра и длиной волны в 488 нм. Спустя короткое время стали появляться лазерные системы на основе аргонового лазера, которые помогали в лечении заболеваний сетчатки глаза.

В этом же 1964 г. в лабораториях Б.П Кумар [6] получили генерацию от первого молекулярного углекислотного CO_2-лазера, а Дж. Гейкек и Е. Сковил [6] — от трехвалентного иона неодима, введенного в матрицу решетки кристалла иттрий-алюминиевого граната (Nd:YAG-лазер, работающий как в импульсном режиме, так и в непрерывном). В настоящее время эти лазеры остаются одними из самых востребованных (цит. по [6]). CO_2-лазер — это газовый лазер, у которого излучение имеет непрерывный характер (λ=1060 нм). Вода очень хорошо поглощает его излучение. А так как мягкие ткани у человека в основном состоят из воды, то CO_2-лазер стал хорошей альтернативой обычному скальпелю [3, 4, 6].

1969 г. стал годом разработки первого импульсного лазера на красителях, а уже в 1975 г. появился первый эксимерный лазер. Начиная с этого времени лазеры стали активно использоваться и внедряться в различные сферы деятельности [4].

Следующим шагом в разработке лазерных технологий для медицины стало изобретение импульсного лазера. Такой лазер позволял воздействовать исключительно на проблемную зону, без повреждения окружающих тканей. В 80-х годах появились первые импульсные лазеры на красителях. Это стало началом применения лазеров в косметологии (лазеры с модуляцией добротности — Q-switched laser) [3, 4].

В течение 1993—1994 гг. небольшой коллектив сотрудников российской компании НТО «ИРЭ-полюс» разработал первые волоконные усилители света с диодной накачкой, по мощности превышающие зарубежные аналоги. Дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования привели к созданию множества самых различных лазеров, отличающихся габаритами, активной средой, методами возбуждения, характеристиками излучения, предназначением и другими качествами [6].

Сегодня область применения лазеров в медицине очень широкая. Это — общая хирургия, урология, гинекология, кардиология, оториноларингология, офтальмология, стоматология, косметология и др. Когда-то лазер был лишь неплохой альтернативой скальпелю, а сегодня с его помощью можно прицельно воздействовать на раковые клетки, производить микрохирургические операции на различных органах и тканях, диагностировать серьезные заболевания на самых ранних стадиях. Сейчас лазерные технологии развиваются в направлении совершенствования комбинированных методов лечения [3, 4, 6—8].

В **табл. 1** приведены основные типы лазеров, традиционно применяющихся в лазерной медицине.

В дальнейшем к вышеперечисленным лазерам были добавлены эксимерные лазеры, работающие в УФ-диапазоне, а также импульсные твердотельные лазеры, работающие в среднем ИК-диапазоне **(табл. 2)**. В последние годы в лазерной медицине стали широко применяться полупроводниковые лазеры, технологически целесообразным оказалось применение волноводных лазеров [1].

В диагностике лазерное излучение может использоваться вне организма (*ex vivo*): 1) гемоцитометр (излучение лазера, направленное на кварцевый капилляр, через который прокачивается специально обработанная кровь, вызывает флуоресцентное свечение, специфичное для каждого типа клеток крови; данное свечение фиксируется чувствительными датчиками, и становится возможным подсчитать количество определенных клеток в заданном объеме исследуемой крови, а также получить с высокой точностью количественные показатели по каждому типу клеток); 2) проточный флуометр — метод, подобный тому, что описан выше, однако возможен анализ не только клеток крови, но и любых других клеточных элементов, выделенных из любых тканей организма как для диагностики, так и для прямого обследования органов и тканей пациента *(in vivo)*. Например, луч CdNe-лазера (УФ, λ=327 нм) вызывает флуоресцентное свечение ткани, на которую он направлен, и по интенсивности полученного свечения можно судить о концентрации различных компонентов, определяющих жизнедеятельность данной ткани. Луч эксимерного XeCl-лазера (λ=308 нм) используется

для удаления атеросклеротических бляшек в кровеносных сосудах [1, 2]. Лазерную диагностику часто называют методом оптической биопсии. В последние годы активно исследуются и разрабатываются методы оптической томографии.

С самого начала использования лазерного излучения в медицине известно оздоровительное действие лазеров низкой интенсивности. Первоначально с этой целью использовался HeNe-лазер. Лазерное воздействие производится на область поражения, на акупунктурные точки, на области Захарьина—Геда (проекции внутренних органов на поверхность человеческого тела). При ряде заболеваний и в качестве профилактики используется лазерное облучение крови. Научно доказано оздоровительное и противовоспалительное действие, повышение иммунитета, активация макромолекул РНК и ДНК, а также отсутствие неблагоприятных исходов при применении терапевтических лазеров по показаниям [1, 2, 8].

Злокачественные опухоли (первичный рак головного и спинного мозга, поджелудочной и щитовидной желез, метастазы рака печени и др.) способны концентрировать в себе молекулы некоторых фоточувствительных соединений, введенных в кровоток. При облучении ткани, аккумулировавшей в себе фоточувствительные соединения (фотосенсибилизатор) лазерным излучением, длина волны излучения которого соответствует области сильного поглощения сенсибилизатора, происходит его распад. При этом происходит выделение свободных радикалов, токсичных для живых клеток. На этом принципе основана фотодинамическая терапия [1—3].

Лазерное излучение, используемое в хирургической практике, кардинальным образом отличается от лазеров низкой мощности, при воздействии которых не происходит повреждения тканей и клеток живого организма. В лазерной хирургии разрушение тканей и нарушение жизнедеятельности клеток организма происходит непосредственно в процессе воздействия [1, 2, 4, 8].

Основные показания и направления в лазерной хирургии:

1) микрохирургические операции (офтальмохирургия, фонохирургия, микрохирургия среднего и внутреннего уха);

2) удаление доброкачественных и злокачественных новообразований;

3) операции, требующие избирательного воздействия (пигментные пятна, другие подкожные образования);

4) реканализация сосудов, проходов и соустий;

5) гемостаз и операции на органах с богатым кровообращением;

6) соединение (восстановление целостности, «сварка») тканей [1, 2, 4, 8, 9].

В лазерной хирургии используется лазерное излучение достаточно высокой мощности, что необходимо для удаления, разрушения или термического некроза клеток, тканей или иных структур. Лазерные технологии получили наибольшее развитие именно в хирургической практике.

Методы лазерного воздействия: 1) диссекция (разъединение, разрез) тканей; 2) аблация (непосредственно удаление ткани); 3) коагуляция (кровеносных сосудов или обильно васкуляризированных образований); 4) вапоризация (выпаривание ткани); 5) «сварка» тканей; 6) дробление тканей (с помощью ударной волны лазерного излучения); 7) гидродинамический удар (при лазеродеструкции лабиринта внутреннего уха) [1, 2, 8].

В оториноларингологии выполняется широкий спектр хирургических вмешательств, для проведения которых используют самые передовые технологии и техники, требующие от хирурга высокой концентрации внимания и точности выполнения ввиду сложнейшей топографии органов головы и шеи.

Малоинвазивность и минимальная травматизация, низкий риск возникновения кровотечений во время и после операций, безболезненность, отсутствие грубого рубцевания, стерилизующее действие лазера, высокая точность при контактной работе гибким волоконным световодом и минимальные реактивные послеоперационные явления, а также возможность проведения операций в амбулаторных условиях стали основанием для широкого применения лазерного излучения в хирургии ЛОР-органов [1, 6—8].

В оториноларингологии используются преимущественно CO_2 (углекислотный), Nd:YAG (неодимовый) и Ho:YAG (гольмиевый) лазеры.

CO_2-лазер (λ=10,6 мкм) — это первый хирургический лазер, свойства которого — высокое поглощение в воде и органических соединениях (типичная глубина проникания 0,1 мм) — делают его подходящим для широкого спектра хирургических вмешательств, а поверхностное воздействие излучения позволяет иссекать биоткань без глубокого ожога [6].

Недостаток длины волны в 10 мкм состоит в том, что очень трудно изготовить подходящее оптическое волокно, хорошо пропускающее лазерное излучение. Наилучшим решением является зеркальный шарнирный манипулятор, хотя это достаточно дорогое устройство, сложное в юстировке и чувствительное к ударам и вибрации. Другими недостатками CO_2-лазера является непрерывный режим работы. В хирургии для эффективного рассечения тканей необходимо быстро испарять биоткань без нагрева окружающих тканей, для чего нужна высокая пиковая мощность, т.е. импульсный режим. В настоящее время в CO_2-лазерах для этих целей используют так называемый «суперимпульсный» режим (superpulse), при котором лазерное излучение имеет вид пачки коротких, но в 2—3 раза более мощных импульсов по сравнению со средней мощностью непрерывного лазера. Данный вид лазерного излучения применяется преимущественно в микрохирургии среднего и внутреннего уха, а также при хирургии полости носа и глотки [1, 3, 6, 7, 9].

Nd:YAG-лазер (λ=1,06 мкм) — это самый распространенный тип твердотельного лазера и в промышленности, и в медицине. Его активная среда — алюмоиттриевый гранат, активированный ионами неодима, позволяет получить мощное излучение в ближнем ИК-диапазоне практически в любом режиме работы с высоким КПД и с возможностью волоконного выхода излучения. Глубина проникновения такого излучения в биоткани равна 6—8 мм и довольно сильно зависит от ее типа. Это означает, что для достижения такого же режущего или испаряющего эффекта, как у CO_2-лазера, для неодимового требуется в несколько раз более высокая мощность излучения. Во-вторых, происходит термотравма подлежащих и окружающих лазерную рану тканей, что отрицательно сказывается на послеоперационном ее заживлении, вызывая различные осложнения, типичные для ожоговой реакции —

Таблица 1. **Основные типы лазеров, традиционно используемых в лазерной медицине**

Тип лазера	Длина волны		Примечания
	основная	другие	
Nd: YAG	1,06 мкм	0,53 мкм 0,355 мкм 0,266 мкм	
CO_2	10,6 мкм	9,6 мкм	
He-Ne	633 нм	3,391 мкм — ИК 543 нм — зеленый 594 нм — желтый 604 нм — оранжевый 612 нм — оранжевый	P_{max} 100 мВт
Ar	488 нм — голубой 515 нм — зеленый	Ряд дискретных линий в диапазоне 350 — 530 нм (УФ — зеленый)	P_{max} 30 Вт
Kr	530 нм — зеленый 568 нм — желто-зеленый 676 нм — красный	Ряд дискретных линий в диапазоне 350 — 800 нм (УФ — ИК)	P_{max} 10 Вт
На красителе	400—900 нм, перестраиваемая в диапазоне шириной 500—100 нм для каждого лазера		

Таблица 2. **Эксимерные и импульсные твердотельные лазеры**

Эксимерные лазеры		
газовая смесь	длина волны λ, нм	типичная энергия в импульсе, мДж
F_2	157	5
ArF	193	200
KrCl	223	35
KrF	248	250
XeCl	308	180
XeF	351	80
Импульсные твердотельные лазеры в среднем ИК-диапазоне с добавками туллия, гольмия, эрбия		
Ион	lлина волны λ, мкм	uлубина проникновения в воде, мкм
Tu^{3+}	2,01	200
Ho^{3+}	2,12	4
Er^{3+}	2,78 2,94	5

рубцевание, стеноз, стриктура и др. Предпочтительная сфера хирургического применения неодимового лазера — это объемная и глубокая коагуляция злокачественных новообразований ЛОР-органов. В неодимовом лазере используется специальный нелинейный кристалл KTP (калий-титан-фосфат), позволяющий удваивать частоту излучаемого лазером света. Получаемый таким образом KTP-лазер, излучающий в видимой зеленой области спектра с λ=532 нм, обладает способностью эффективно коагулировать полнокровные ткани [1, 4, 6, 8].

Арсенал хирургических лазерных установок в начале 90-х годов пополнился гольмиевым лазером (Ho:YAG), работающим в импульсном режиме в среднем инфракрасном диапазоне. Ho:YAG (гольмиевый) — лазер (λ=2,1 мкм) — кристалл алюмоиттриевого граната, активированный ионами гольмия, способный генерировать когерентное лазерное излучение, которое хорошо поглощается биотканью. Глубина его проникания в биоткань составляет около 0,4 мм, т.е. сравнима с CO_2-лазером. Поэтому гольмиевый лазер обладает применительно к хирургии всеми преимуществами по сравнению с CO_2-лазером [1, 3, 6, 8].

Двухмикронное излучение гольмиевого лазера хорошо проходит через кварцевое оптическое волокно, что позволяет использовать его для проведения малоинвазивных эндоскопических операций. Излучение гольмиевого лазера хорошо коагулирует сосуды диаметром до 0,5 мм. В отличие от остальных лазерных излучений он безопасен для глаз. Типичные выходные параметры гольмиевого лазера: средняя выходная мощность 5—100 Вт; максимальная энергия излучения до 6 Дж; частота повторения импульсов до 40 Гц; длительность импульса до 500 мкс [1, 6, 7].

Основные достоинства гольмиевого лазера в хирургии: 1) сильное поглощение в биотканях и хорошая передача излучения через кварцевое волокно; 2) высокая пиковая мощность (>4 кВт) за счет импульсного режима приводит к сильному испарению (аблации) биоткани; 3) глубина проникновения одного импульса мала (0,4 мм), отсюда — низкое поражение окружающих тканей по сравнению с неодимовым лазером; 4) отсутствует термотравма биотканей; 5) рассечение тканей при контакте и коагуляция в бесконтактном режиме работы; 6) нет нагрева и пригорания кончика волокна, наблюдается его самоочищение под действием излучения 2,09 мкм; гемостаз возникает за счет

скручивания капилляров, что уменьшает вероятность образования и отрыва крупных тромбов; 7) минимальное рубцевание ткани при заживлении лазерной раны; 8) безопасность для зрения медицинского персонала [1, 3, 4, 6—8]. Гольмиевый лазер совмещает в себе преимущества неодимового и CO_2-лазера, однако он свободен от их недостатков. Сочетание физических параметров излучения гольмиевого лазера оказалось оптимальным для целей хирургических вмешательств, что позволило ему найти широкое применение в самых различных областях медицины. В настоящее время гольмиевый лазер является самым перспективным из всех видов лазерного излучения, применяемого в ЛОР-хирургии, а его использование при различной патологии ЛОР-органов свидетельствует о потенциальных возможностях лазерной хирургии в повышении эффективности лечения при данной патологии.

Проведение того или иного лазерного вмешательства на ЛОР-органах требует определенных показаний, условий хирургического вмешательства, соответствующей подготовки, опыта и квалификации хирурга. Необходимо проводить адекватное консервативное лечение в послеоперационном периоде в зависимости от конкретной патологии, клинической картины и особенностей пациента, учитывать термический компонент лазерного излучения.

Применение лазерного излучения в медицине в последнее время становится все более популярным. Однако, в лазерной медицине много «белых пятен» и «подводных камней», не изученных до настоящего времени, которые требуют более тщательного подхода и глубокого анализа.

Конфликт интересов отсутствует.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шахно Е.А. *Физические основы применения лазеров в медицине*. СПб.: НИУ ИТМО; 2012.
2. Неворотин А.И. *Введение в лазерную хирургию*. СПб.: СпецЛит, 2000.
3. Oswal V, Remacle M., co-editors S. Jovanovic, J. Krespi. *Principles and practice of lasers in otorhinolaryngology and head and neck surgery*. Kugler Publications, The Hague, The Netherlands. 2002.
4. http://doktorlaser.ru/
5. Москвин С.В., Буйлин В.А. *Основы лазерной терапии*. М.—Тверь: ООО «Триада»; 2006.
6. Князьков В.Б., Гофман В.Р. *Лазерная тонзиллэктомия*. М.: Техносфера; 2014.
7. Carruth JA. Lasers in medicine and surgery, pubmed.nl. 1984.
8. Rebeiz EE. *Lasers in otorhinolaryngology — head and neck surgery*. Department of otorhinolaryngology, Head and neck surgery, New England Medical Center, Boston, Massachusetts, USA, pubmed.nl, 1994.
9. Пальчун В.Т, Лучихин Л.А., Крюков А.И. *Воспалительные заболевания глотки*. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2012.