

Сравнение режущих и коагуляционных свойств волоконных лазеров с длиной волны 1,56 и 1,94 мкм с полупроводниковым лазером 0,98 мкм

Рябова М.А., Улупов М.Ю., Шумилова Н.А., Портнов Г.В., Тихомирова Е.К., Малкова М.Е.

Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова (ПСПбГМУ)

Россия, 197022, г. Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, 6-8

РЕЗЮМЕ

Цель – провести сравнительную оценку режущих и коагуляционных свойств волоконных лазеров с длинами волн 1,56 и 1,94 мкм с полупроводниковым лазером 0,98 мкм.

Материалы и методы. Проведено сравнительное исследование биологических свойств волоконных лазеров с длиной волны 1,56 и 1,94 мкм с полупроводниковым лазером 0,98 мкм в постоянном непрерывном режиме. Режущие свойства лазеров оценивались на мышечной ткани курицы по ширине и глубине зоны абляции, формируемой в ходе линейного лазерного разреза со скоростью 2 мм/с, коагуляционные – по ширине боковой зоны коагуляции. Измерение зон проводили в условиях микроскопии с помощью калибровочного предметного стекла. Для статистического анализа выбрали значения мощности 3, 5, 7, 9 и 11 Вт для каждой длины волны лазерного излучения.

Результаты. Анализ полученных результатов измерений подтвердил статистически значимое влияние длины волны лазерного излучения на характер линейной зависимости параметров лазерного разреза от мощности воздействия. Установлено, что волоконный водопоглощаемый лазер с длиной волны 1,56 мкм обладает большей коагулирующей способностью, но сопоставимой способностью к резке тканей по сравнению с гемоглобинпоглощаемым лазером с длиной волны 0,98 мкм. Лазер с длиной волны 1,94 мкм на мощности 7 Вт и выше превосходит по своим режущим свойствам полупроводниковый лазер 0,98 мкм на той же мощности воздействия. Для всех лазеров прирост мощности излучения в большей степени увеличивает ширину зоны абляции, в меньшей степени – глубину кратера и ширину боковой зоны коагуляции. Таким образом, прирост мощности излучения для лазеров с длиной волны 1,56 и 1,94 мкм преимущественно влияет на режущие свойства, увеличивая ширину и глубину формируемой зоны абляции, в меньшей степени – на его коагуляционные способности в сравнении с полупроводниковым лазером с длиной волны 0,98 мкм.

Заключение. По результатам экспериментального исследования обнаружено, что лазеры с длиной волны 1,56 и 1,94 мкм обладают лучшими коагулирующими свойствами в сравнении с полупроводниковым лазером 0,98 мкм. Статистически доказано, что все параметры лазерного разреза (ширины боковой зоны коагуляции, глубины и ширины зоны абляции) для лазеров с длиной волны 1,56; 1,94 и 0,98 мкм зависят от мощности лазерного излучения. Лазер с длиной волны 1,94 мкм превосходит лазер 0,98 мкм по своим режущим свойствам.

Ключевые слова: лазер, абляция, коагуляция, длина волны, мощность.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии финансирования при проведении исследования.

✉ Тихомирова Екатерина Константиновна, e-mail: kt-92@mail.ru

Для цитирования: Рябова М.А., Улупов М.Ю., Шумилова Н.А., Портнов Г.В., Тихомирова Е.К., Малкова М.Е. Сравнение режущих и коагуляционных свойств волоконных лазеров с длиной волны 1,56 и 1,94 мкм с полупроводниковым лазером 0,98 мкм. *Бюллетень сибирской медицины*. 2021; 20 (4): 56–62. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2021-4-56-62>.

Comparison of cutting and coagulation properties of 1.56 and 1.94 μm fiber lasers and a 0.98 μm semiconductor laser

Ryabova M.A., Ulupov M.Yu., Shumilova N.A., Portnov G.V., Tikhomirova E.K., Malkova M.E.

*Pavlov First Saint Petersburg State Medical University
6-8, L. Tolstogo Str., St. Petersburg, 197022, Russian Federation*

ABSTRACT

Aim of the study was to compare the cutting and coagulation properties of 1.56 and 1.94 μm fiber lasers with those of a 0.98 μm semiconductor laser.

Materials and methods. A comparative study of the biological effects of 1.56 and 1.94 μm lasers and a 0.98 μm semiconductor laser used in a constant, continuous mode was carried out. The cutting properties of the lasers were evaluated on the chicken muscle tissue samples by the width and depth of the ablation zone formed via a linear laser incision at a speed of 2 mm/s, while the coagulation properties were assessed by the width of the lateral coagulation zone. The zones were measured using a surgical microscope and a calibration slide. For statistical analysis, power values of 3, 5, 7, 9, and 11 W were chosen for each laser wavelength.

Results. Analysis of the findings confirmed that laser wavelength had a statistically significant effect on the linear dependence between incision parameters and laser power. It was found that the 1.56 μm fiber laser (water absorption) had a greater coagulation ability but a comparable cutting ability compared with the 0.98 μm laser (hemoglobin absorption). When used in the power mode of 7W or higher, the 1.94 μm laser provided superior cutting performance compared with the 0.98 μm semiconductor laser at the same exposure power. Elevating the power in any of the lasers primarily increased the width of the ablation zone, and to a lesser extent – the crater depth and the width of the lateral coagulation zone. Therefore, in comparison with the 0.98 μm semiconductor laser, higher radiation power in the 1.56 and 1.94 μm lasers mainly influences their cutting properties, expanding the width and depth of the ablation zone, and has a smaller effect on their coagulation ability.

Conclusion. The findings of the study showed that the 1.56 and 1.94 μm fiber lasers have better coagulation properties in comparison with the 0.98 μm semiconductor laser. It was statistically proven that all incision characteristics (width of the lateral coagulation zone, depth and width of the ablation zone) for the 1.56, 1.94, and 0.98 μm lasers depend on the power of laser radiation. The 1.94 μm laser is superior to the 0.98 μm laser in its cutting properties.

Key words: laser, ablation, coagulation, wavelength, power.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious or potential conflict of interest related to the publication of this article.

Source of financing. The authors state that they received no funding for the study.

For citation: Ryabova M.A., Ulupov M.Yu., Shumilova N.A., Portnov G.V., Tikhomirova E.K., Malkova M.E. Comparison of cutting and coagulation properties of 1.56 and 1.94 μm fiber lasers and a 0.98 μm semiconductor laser. *Bulletin of Siberian Medicine*. 2021; 20 (4): 56–62. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2021-4-56-62>.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы стремительно развиваются лазерные технологии, появляются новые полупроводниковые и волоконные лазеры с длиной волны 0,53; 0,81; 0,97; 1,06; 1,47; 1,56; 1,94 мкм, с высокой выходной мощностью, что расширяет возможности

их применения в различных режимах (постоянном, импульсном, контактном, дистантном). Появление нового медицинского оборудования позволяет расширять спектр выполняемых медицинских вмешательств, однако большинство аппаратов не подвергается экспериментальной оценке биологических эффектов. Поэтому подбор режимов воздей-

ствия часто совершается эмпирическим путем, что снижает прогнозируемость хирургического вмешательства и увеличивает риск развития осложнений. Поскольку длина волны лазерного излучения в значительной степени определяет его свойства, то отсутствие данных об особенностях биологических эффектов той или иной длины волны затрудняет выбор лазерного аппарата и режимов его работы практикующим врачом.

Большинство экспериментальных исследований абляционные способности лазеров оценивают на основании скорости абляции по способности к удалению объема ткани за единицу времени (г/мин), а коагуляционные свойства – по скорости кровопотери (г/мин) и глубине некроза тканей (мм). Воспроизведение подобной методики экспериментальной оценки свойств лазера сопряжено с необходимостью работы с живыми моделями тканей (чаще – кровоснабжаемой свиной почки) *in vivo*, а результаты лишь косвенно отражают степень абляционных и коагуляционных свойств [1]. Имеющиеся в отечественной и зарубежной литературе данные о сравнительном экспериментальном анализе эффектов диодных и волоконных лазеров с длиной волны 0,81; 0,94; 0,97; 1,47; 1,56 мкм выполнены преимущественно на моделях венозных сосудов, что не позволяет оценить режущие свойства лазеров [2–8]. Имеются единичные исследования полупроводниковых лазеров на модели хрящевой ткани (0,97; 1,56 мкм), что также не характеризует режущие и коагуляционные свойства излучения [9].

Основными характеристиками лазера, представляющими непосредственный интерес для практикующего врача, являются режущие свойства, которые можно наглядно оценить по ширине и глубине формируемой зоны абляции, а также коагуляционные свойства, которые характеризуют гемостатические свойства лазера и проявляются в виде зоны побеления ткани вдоль лазерного разреза.

Появление новых волоконных лазеров с длиной волны 1,56 и 1,94 мкм делает актуальным изучение их биологических эффектов перед внедрением в клиническую практику. Накоплен значительный опыт применения лазера с длиной волны 0,98 мкм в различных областях хирургии [1], в том числе в оториноларингологии [10–13], в связи с чем целесообразным является его использование для сравнительного анализа биологических эффектов других лазеров.

Цель исследования – провести сравнение режущих и коагуляционных свойств новых волоконных лазеров с длиной волны 1,56 и 1,94 мкм с полупроводниковым лазером 0,98 мкм.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для оценки биологических эффектов лазерного излучения наносили линейные разрезы с фиксированной скоростью на мышечную ткань курицы. Лазерное волокно неподвижно закрепляли штативами под углом 60° относительно проекции разреза. Биологический объект помещали на подвижную ленту самописца, равномернодвигающуюся со скоростью 2 мм/с [12]. На образец ткани с лазерным разрезом укладывали предметное стекло с ценой деления 10 мкм и с помощью операционного микроскопа с увеличением $\times 15$ измеряли ширину сформированного кратера и боковой зоны коагуляции. Для оценки глубины кратера проводили поперечные срезы ткани относительно линии линейного разреза и измеряли указанный показатель при микроскопии вышеописанным способом. Ширина кратера и глубина разреза оценивали режущие свойства лазера, ширина боковой зоны коагуляции – его гемостатические свойства.

Разрезы ткани выполняли в контактном непрерывном режиме лазерами с длинами волн: 1 940 нм (ЛСП-«ИРЭ-Полус», г. Москва, Россия), 980/1 560 нм (ЛСП-«ИРЭ-Полус», г. Москва, Россия). Контактное воздействие на ткани осуществляли свежесколотым торцом оптоволоконной шириной 400 мкм после его обугливания путем кратковременного прикосновения к деревянному шпателью. При значениях мощности 3–11 Вт с шагом 2 Вт для каждой длины волны выполнили три разреза, измерение которых провели в 10 позициях (всего 30 измерений).

Статистическая обработка материала проводилась при помощи программного пакета IBM SPSS Statistics (version 22). Для оценки полученных данных использованы методы описательной статистики, регрессионный анализ и метод множественной регрессии с переменной-модератором. В роли зависимой переменной выступали параметры лазерного разреза (ширина боковой зоны коагуляции, глубина и ширина зоны абляции). Для каждой зависимой переменной регрессионный анализ проводился отдельно. В качестве независимых переменных выступали мощность и длина волны излучения. Так как в эксперименте было задействовано три лазера с длиной волны 0,98; 1,56 и 1,94 мкм, то качественная переменная-модератор «длина волны» была закодирована при помощи двух фиктивных переменных, обозначающих лазеры с длиной волны 1,56 и 1,94 мкм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Зависимость ширины боковой зоны коагуляции, глубины и ширины зоны абляции от мощности и длины волны излучения представлена на рис. 1–6.

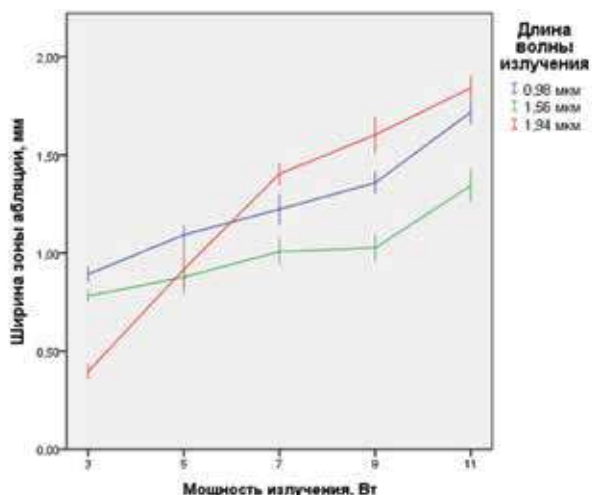


Рис. 1. Зависимость ширины зоны абляции от мощности лазерного излучения: средние значения и 95%-й доверительный интервал (ДИ)

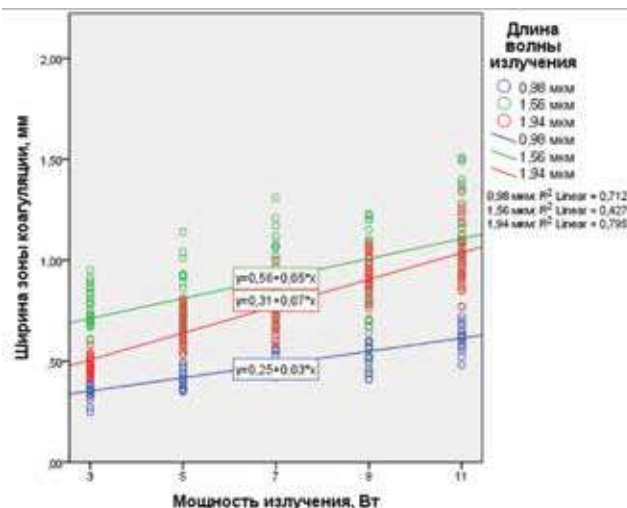


Рис. 4. Зависимость ширины зоны коагуляции от мощности лазерного излучения: линейная регрессия

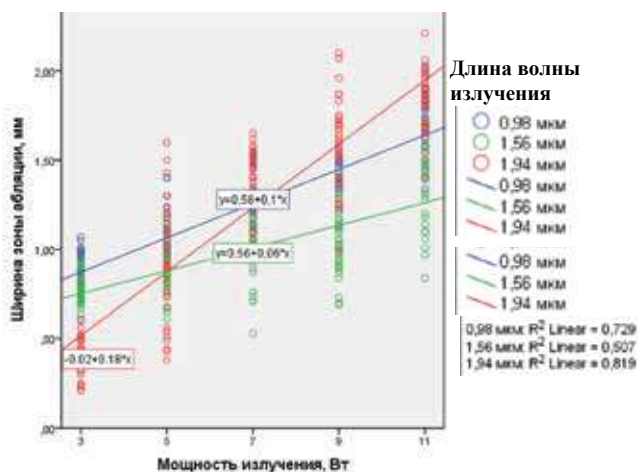


Рис. 2. Зависимость ширины зоны абляции от мощности лазерного излучения: линейная регрессия

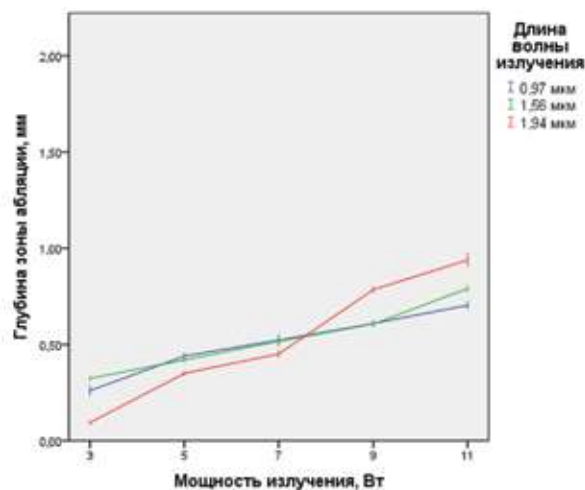


Рис. 5. Зависимость глубины зоны абляции от мощности лазерного излучения: средние значения и 95%-й ДИ

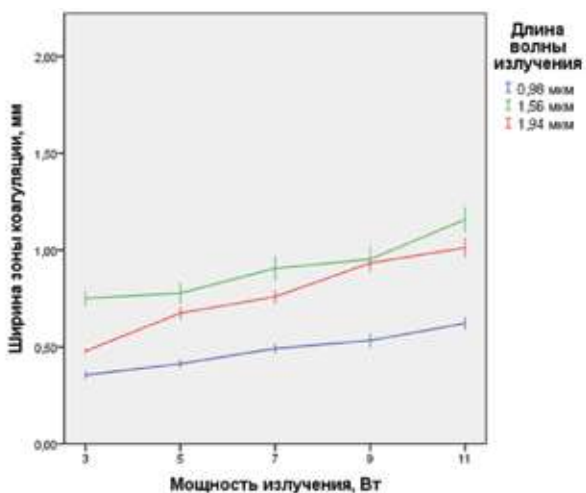


Рис. 3. Зависимость ширины зоны коагуляции от мощности лазерного излучения: средние значения и 95%-й ДИ

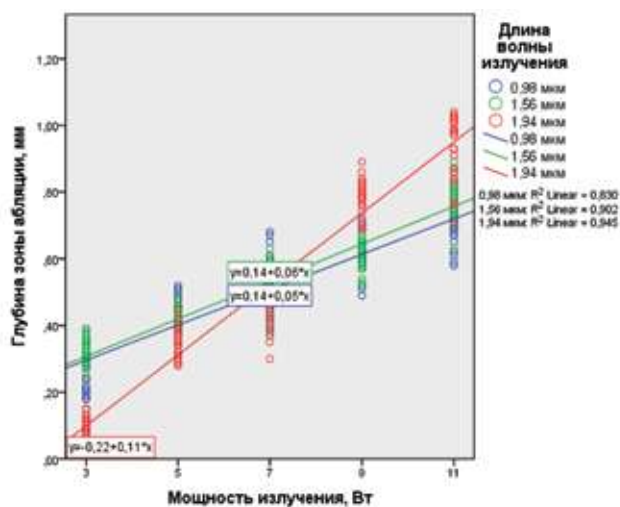


Рис. 6. Зависимость глубины зоны абляции от мощности лазерного излучения: линейная регрессия

Для статистического обоснования выводов оценя множественную регрессию

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot P + \beta_2 \cdot D_{1,56} + \beta_3 \cdot D_{1,94} + \beta_4 \cdot P \cdot D_{1,56} + \beta_5 \cdot P \cdot D_{1,94} + \varepsilon,$$

где Y – зависимая переменная (в первой модели – ширина коагуляции, во второй модели – глубина абляции, в третьей модели – ширина абляции); P – мощность лазера; $D_{1,56}$ – фиктивная переменная, равная 1, если рассматривается лазер с длиной волны 1,56 мкм и равная 0 в противном случае; $D_{1,94}$ – фиктивная переменная, равная 1, если рассматривается лазер с длиной волны 1,94 мкм и равная 0 в противном случае.

Лазер с длиной волны 0,98 мкм выступает как базовый, и регрессионное уравнение выглядит для него как $Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot P + \varepsilon$. Регрессионное уравнение для лазера с длиной волны 1,56 мкм будет выглядеть как $Y = \beta_0 + \beta_2 + (\beta_1 + \beta_4) \cdot P \cdot D_{1,56} + \varepsilon$, а для лазера с длиной волны 1,94 мкм – как $Y = \beta_0 + \beta_3 + (\beta_1 + \beta_5) \cdot P \cdot D_{1,94} + \varepsilon$.

Таким образом, значимость коэффициентов будет свидетельствовать о статистической значимости отличий между лазерами с длиной волны 0,98 и 1,56 мкм, а значимость коэффициентов – о значимости отличий между лазерами с длиной волны 0,98 и 1,94 мкм.

Множественный регрессионный анализ с переменной-модератором показал наличие статистически значимой зависимости всех параметров лазерного разреза (ширина зоны коагуляции, глубина и ширина зоны абляции) от мощности лазерного излучения (табл. 1, 2). Во всех случаях (кроме одного) обнаружено статистически значимое влияние длины волны лазерного излучения (переменной-модератора) на характер линейной зависимости параметров лазерного разреза от мощности излучения. Только при сравнении лазеров 0,98 и 1,56 мкм не обнаружено статистически значимого различия влияния мощности на глубину абляции.

Таблица 1

Сводка для моделей зависимости параметров лазерного разреза от мощности и длины волны излучения							
Модель	R	R ²	CO	F	Ст. св. 1	Ст. св. 2	p
Модель 1 (ширина зоны коагуляции)	0,88	0,78	0,014	444,7	5	444	<0,001
Модель 2 (глубина зоны абляции)	0,96	0,92	0,004	1107,3	5	444	<0,001
Модель 3 (ширина зоны абляции)	0,88	0,78	0,013	378,3	5	444	<0,001

Примечание. Зависимая переменная для модели 1 – ширина коагуляции, для модели 2 – глубина абляции, для модели 3 – ширина абляции; p – уровень значимости; CO – стандартная ошибка; ст. св. – степень свободы.

Таблица 2

Параметры регрессии для моделей зависимости характеристик лазерного разреза от мощности и длины волны излучения						
Модель	Показатель	Коэффициент	CO	p	Нижняя граница ДИ	Верхняя граница ДИ
Модель 1 (ширина зоны коагуляции)	Константа	$\beta_0 = 0,483$	0,006	<0,001	0,472	0,495
	Мощность	$\beta_1 = 0,033$	0,002	<0,001	0,029	0,037
	1,56 мкм	$\beta_2 = 0,426$	0,015	<0,001	0,399	0,458
	1,94 мкм	$\beta_3 = 0,289$	0,01	<0,001	0,269	0,309
	Мощность* 1,56 мкм	$\beta_4 = 0,017$	0,005	<0,001	0,007	0,027
	Мощность* 1,94 мкм	$\beta_5 = 0,034$	0,004	<0,001	0,027	0,041
Модель 2 (глубина зоны абляции)	Константа	$\beta_0 = 0,508$	0,006	<0,001	0,496	0,519
	Мощность	$\beta_1 = 0,053$	0,002	<0,001	0,049	0,057
	1,56 мкм	$\beta_2 = 0,024$	0,007	<0,001	0,01	0,039
	1,94 мкм	$\beta_3 = 0,017$	0,008	0,040	0,001	0,033
	Мощность* 1,56 мкм	$\beta_4 = 0,003$	0,002	0,183	-0,002	0,008
	Мощность* 1,94 мкм	$\beta_5 = 0,054$	0,003	<0,001	0,048	0,059
Модель 3 (ширина зоны абляции)	Константа	$\beta_0 = 1,258$	0,014	<0,001	1,23	1,283
	Мощность	$\beta_1 = 0,096$	0,004	<0,001	0,087	0,105
	1,56 мкм	$\beta_2 = -0,25$	0,02	<0,001	-0,289	-0,211
	1,94 мкм	$\beta_3 = -0,024$	0,024	0,314	-0,073	0,027
	Мощность* 1,56 мкм	$\beta_4 = -0,032$	0,007	<0,001	-0,045	-0,019
	Мощность* 1,94 мкм	$\beta_5 = 0,083$	0,007	<0,001	0,068	0,097

Статистический анализ полученных результатов исследования выявил значимое ($p < 0,05$) влияние параметра мощности на режущие и коагуляционные свойства всех лазеров. Это подтверждает статисти-

ческая значимость коэффициента β_1 во всех трех моделях (ширина зоны коагуляции, ширина и глубина зоны абляции). Водопоглощаемое лазерное излучение с длиной волны 1,56 мкм достоверно не отли-

чается по своим режущим свойствам от гемоглобин-поглощаемого излучения с длиной волны 0,98 мкм (статистические различия показателей глубины зоны абляции незначимы, $p > 0,05$) и характеризуется более выраженными коагуляционными свойствами. Ширина боковой зоны коагуляции при его воздействии больше, чем аналогичный показатель у лазера с длиной волны 0,98 мкм при той же мощности (β_2 значимо отличается от 0).

Режущие свойства лазерного излучения с длиной волны 1,94 мкм иначе зависели от мощности, чем 0,98 и 1,56 мкм (другой наклон регрессионной прямой, что подтверждается статистически значимым отличием от нуля коэффициента β_3 в модели 2). При мощности 35 Вт ширина и глубина зон абляции были меньше, а при 9–11 Вт, наоборот, больше, чем у лазеров с длиной волны 0,98 и 1,56 мкм. Коагуляционные свойства лазера с длиной волны 1,94 мкм оказались больше, чем у гемоглобинпоглощаемого лазера с длиной волны 0,98 мкм.

Установлено, что прирост мощности излучения в большей степени увеличивает ширину зоны абляции (коэффициенты регрессии составили 0,1; 0,06 и 0,18 мм/Вт для длины волны 0,98; 1,56 и 1,94 мкм соответственно), в меньшей степени – глубину кратера (коэффициент регрессии – 0,05; 0,06 и 0,11 мм/Вт соответственно), в наименьшей – ширину боковой зоны коагуляции (коэффициент регрессии – 0,03; 0,05 и 0,07 мм/Вт соответственно). Таким образом, прирост мощности излучения преимущественно влияет на режущие свойства лазера, увеличивая ширину и глубину формируемой зоны абляции, в меньшей степени – на его коагуляционные способности. Поэтому интраоперационное увеличение мощности воздействия приведет к возрастанию режущих способностей лазера в большей степени, чем гемостатических.

Визуальный анализ регрессионных кривых показал, что коагуляционные способности лазера с длиной волны 1,94 мкм оказались меньше, чем у лазера с длиной волны 1,56 мкм, потому что он обладает большей степенью поглощения водой и более быстрым поглощением излучения целевыми хромофорами, меньшей глубиной проникновения излучения в ткани. Однако статистический анализ различий между лазерами 1,94 и 1,56 мкм не проводился, так как это не предполагалось дизайном исследования.

Механизм контактного лазерного воздействия на ткани преимущественно обусловлен поглощением излучения в области нагара и образовавшегося карбонизата и последующей теплопередачей окружающим тканям. Поскольку большая часть излучения лазеров ближнего инфракрасного диапазона поглощается частицами угля, то существенных различий

в режущих свойствах тестируемых длин волн не выявлено. Все лазеры продемонстрировали хорошие режущие свойства. Разница в коагуляционных свойствах лазеров, по-видимому, является результатом проникновения оставшегося излучения (не поглощенного углем) в ткани и объясняется различиями в характеристиках длины волны (разными хромофорами и коэффициентами поглощения тканями).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное нами исследование и анализ результатов полученных измерений подтвердили наличие статистически значимой зависимости всех параметров лазерного разреза (ширины боковой зоны коагуляции, глубины и ширины зоны абляции) от мощности лазерного излучения для лазеров с длиной волны 0,98; 1,56 и 1,94 мкм. Лазеры с длиной волны 1,56 и 1,94 мкм обладают лучшими коагулирующими свойствами в сравнении с полупроводниковым лазером 0,98 мкм. Лазер с длиной волны 1,94 мкм превосходит лазер 0,98 мкм по своим режущим свойствам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mooseburger A.S., Herrmann T.R., Liatsikos E., Nagele U., Traher O. Лазеры и лазерные технологии. Клинические рекомендации Европейской ассоциации урологов; пер. Ю.С. Сиромолот. М.: 2011: 59. URL: https://uroweb.org/wp-content/uploads/21_Lazer.pdf
2. Choy D.S. History of lasers in medicine. *Photomed. Laser Surg.* 2014; 32(3): 119–120. DOI: 10.1089/pho.2014.9864.
3. Goldman L., Blaney D.J., Kindel D.J. Jr., Franke E.K. Effect of the laser beam on the skin. *J. Invest. Dermatol.* 1963; 40: 121–122. DOI: 10.1038/jid.1963.21.
4. Тюрин Д.С., Дибиров М.Д., Шиманко А.И., Тебенихин В.С., Арефьев Н., Волков А.С., Цуранов С.В., Швыдко В.С., Магдиев А.Х. Оценка морфологических изменений венозной стенки после эндовазальной лазерной и радиочастотной облитерации. *Флебология.* 2016; 10 (4): 164–170. DOI: 10.17116/flebo2016104164-170
5. Шайдаков Е.В., Булатов В.Л., Илюхин Е.А., Сонькин И.Н., Григорян А.Г., Гальченко М.И. Оптимальные режимы эндовенозной лазерной облитерации с длиной волны 970, 1 470 и 1560 нм: ретроспективное продольное когортное многоцентровое исследование. *Флебология.* 2013; 7 (1): 22–29.
6. Янушко В.А., Роговой Н.А., Турлюк Д.В., Климчук И.П., Калинин С.С. Эндовенозная лазерная коагуляция подкожных вен нижних конечностей (1 470 нм и 1 560 нм) в комплексном лечении варикозной болезни. *Военная медицина.* 2017; 47: 74–78.
7. Шахрай С.В., Гаин М.Ю., Гаин Ю.М., Рябцева С.Н. Экспериментальное обоснование выбора длины волны высокоинтенсивного лазерного излучения для малоинвазивного хирургического лечения хронического геморроя. *Казанский медицинский журнал.* 2013; 2 (94): 271–277. DOI: 10.17816/KMJ1604.
8. Kang K. et al. The feasibility of 1940-nm diode laser in ton-

- sillectomy. *Med. Laser*. 2016; 5 (2): 77–82. DOI: 10.25289/ml.2016.5.2.77.
9. Баграташвили В.Н., Баграташвили Н.В., Гапонцев В.П., Махмутовас Г.Ш., Минаев В.П., Омельченко А.И., Самарцев И.Э., Свиридов А.П., Соболев Э.Н., Цыпина С. И. Изменение оптических свойств гиалинового хряща при нагреве лазерным излучением ближнего ИК диапазона. *Квантовая электроника*. 2001; 31 (6): 534–538. DOI: 10.1070/QE2001v031n06ABEH001996.
10. Шумилова Н.А. Опыт применения высокоэнергетических лазеров в оториноларингологии. *Folia Otorhinolaryngologiae et Pathologiae Respiratoriae*. 2016; 22 (1): 75–83.
11. Карпищенко С.А., Рябова М.А., Улупов М.Ю. Лазерная хирургия в оториноларингологии. *Consilium Medicum*. 2014; 16 (11): 73–76.
12. Рябова М.А., Улупов М.Ю., Шумилова Н.А. Особенности лазерного воздействия на ткани с длиной волны 1 470 нм. *Folia Otorhinolaryngologiae et Pathologiae Respiratoriae*. 2016; 22(3): 36–42.
13. Шумилова Н.А., Федотова Ю.С., Рябова М.А. Сравнение биологических эффектов контактного действия полупроводниковых лазеров с длиной волны 1 470 и 810 нм в эксперименте. *Современные технологии в медицине*. 2014; 6 (4): 62–67.

Благодарности

Авторы выражают благодарность А.В. Радионову за помощь в написании работы.

Вклад авторов

Рябова М.А. – разработка дизайна исследования. Улупов М.Ю. – получение данных для анализа, анализ полученных данных. Шумилова Н.А. – обзор публикаций по теме статьи. Тихомирова Е.К., Портнов Г.В. – экспериментальная часть исследования. Малкова М.Е. – статистическая обработка результатов.

Сведения об авторах

Рябова Марина Андреевна, д-р мед. наук, профессор, кафедра отоларингологии с клиникой, ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова, г. Санкт-Петербург. ORCID 0000-0002-6714-9454.

Улупов Михаил Юрьевич, канд. мед. наук, доцент, кафедра отоларингологии с клиникой, ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова, г. Санкт-Петербург. ORCID: 0000-0002-8460-9889.

Шумилова Наталья Александровна, канд. мед. наук, ассистент, кафедра отоларингологии с клиникой, ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова, г. Санкт-Петербург. ORCID 0000-0001-5191-9154.

Портнов Глеб Валерьевич, канд. мед. наук, ассистент, кафедра отоларингологии с клиникой, ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова, г. Санкт-Петербург. ORCID: 0000-0002-4117-140X.

Тихомирова Екатерина Константиновна, аспирант, кафедра отоларингологии с клиникой, ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова, г. Санкт-Петербург. ORCID 0000-0001-6952-6543.

Малкова Мария Евгеньевна, аспирант, аспирант, кафедра отоларингологии с клиникой, ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова, г. Санкт-Петербург. ORCID 0000-0001-9579-1017.

(✉) Тихомирова Екатерина Константиновна, e-mail: kt-92@mail.ru

Поступила в редакцию 04.06.2020

Подписана в печать 28.12.2020