

СРАВНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ КОНТАКТНОГО ДЕЙСТВИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 1470 И 810 НМ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

УДК 61.001.6:615.849.19:577
Поступила 15.04.2014 г.



Н.А. Шумилова, аспирант кафедры отоларингологии с клиникой;
Ю.С. Федотова, клинический ординатор кафедры отоларингологии с клиникой;
М.А. Рябова, д.м.н., профессор кафедры отоларингологии с клиникой

Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова,
Санкт-Петербург, 197022, ул. Льва Толстого, 6/8

Цель исследования — определить особенности биологических эффектов контактного воздействия на ткани с различными оптическими и механическими свойствами полупроводниковым лазером с длиной волны 1470 нм в сравнении с воздействием лазерного излучения с длиной волны 810 нм.

Материалы и методы. Исследование выполнено на мышечной ткани курицы, печени крупного рогатого скота, полипе полости носа, удаленном хряще перегородки носа. Производилась оценка ширины зон абляции и коагуляции в ходе линейного разреза тканей лазером со скоростью 2 мм/с, глубины кратера с последующим измерением в условиях микроскопии. Выполнялось взвешивание образцов ткани до и после нанесения точечного воздействия. Стандартизация скорости воздействия осуществлялась с использованием равномерно двигающейся ленты самописца.

Результаты. Прирост мощности излучения лазера с длиной волны 1470 нм в большей степени способствует росту ширины зон абляции и коагуляции, чем воздействие лазера с длиной волны 810 нм. Действие лазера с длиной волны 1470 нм мощностью 1 Вт приводит к налипанию ткани к волокну. При мощности 2 Вт зона коагуляции мягких тканей сопоставима, а в ряде случаев превышает таковую после действия лазера с длиной волны 810 нм. По глубине кратера излучение с длиной волны 1470 нм уступает излучению с длиной волны 810 нм, а по вapoризацIoннoмy способностям — превосходит его.

Заключение. Для рассечения тканей лазером с длиной волны 1470 нм оптимальной является мощность 2 Вт, которая обеспечивает щадящее неглубокое воздействие и по коагуляционным свойствам в ряде случаев превышает действие лазерного излучения с длиной волны 810 нм мощностью 7 Вт. Образование менее глубокого кратера при использовании лазера с длиной волны 1470 нм позволяет рекомендовать его для поверхностной коагуляции сосудистых образований.

Ключевые слова: полупроводниковый лазер 1470 нм; полупроводниковый лазер 810 нм; коагуляция; вapoризацIoн.

English

Biological Effects of Contact Action of 1470 vs. 810 nm Semiconductor Lasers *in vitro*

N.A. Schumilova, Postgraduate, the Department of Otolaryngology and Clinic;
Y.S. Fedotova, Resident Medical Practitioner, the Department of Otolaryngology and Clinic;
M.A. Ruabova, D.Med.Sc., Professor, the Department of Otolaryngology and Clinic

Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, L'va Tolstogo St., 6/8, Saint Petersburg,
Russian Federation, 197022

The aim of the investigation is to identify the character of biological effects of contact action of semiconductor laser with a wavelength of 1470 nm on the tissues with different optical and mechanical properties compared to the exposure to laser radiation with a wavelength of 810 nm.

Materials and Methods. The study was performed on a chicken muscle tissue, liver of the cattle, nasal polyp, removed nasal septum cartilage. While making a linear incision of the tissues by the laser with a speed of 2 mm/s assessment of the width of ablation and coagulation zones, and the crater depth with the following measurement under the microscopy conditions were carried on. Weighing of the tissue specimens

Для контактов: Шумилова Наталья Александровна, e-mail: schumilov211@yandex.ru

before and after the spot action was performed. Standardization of the operating speed was achieved by using uniformly moving recorder chart.

Results. Radiation power increment of 1470 nm wavelength laser contributes to the increase of the ablation and coagulation zone width to a greater degree compared to 810 nm laser. Exposure to 1470 nm laser with a power of 1 W causes the tissue to stick to the fiber. When power is 2 W, coagulation zone of soft tissues is comparable, and in some cases exceeds it after treatment by 810 nm laser. In relation to the crater depth, 1470 nm radiation is inferior to 810 nm radiation, but is superior in relation to vaporization abilities.

Conclusion. For tissue ablation with 1470 nm laser a power of 2 W is optimal, as it provides a sparing superficial effect, and in a number of cases exceeds the action of 810 nm 7 W laser by its coagulation properties. Generation of a crater with a less depth after application of 1470 nm laser allows it to be recommended for superficial coagulation of vascular lesions.

Key words: 1470 nm semiconductor laser; 810 nm semiconductor laser; coagulation; vaporization.

Наибольшее распространение в медицине получили полупроводниковые лазеры с длиной волны в диапазоне от 800 до 1060 нм, характеризующиеся высоким поглощением излучения в гемоглобине крови и низким поглощением в воде, в связи с чем такое излучение получило название «гемоглобинпоглощаемое» [1, 2]. В хирургической практике накоплен большой опыт применения лазерного излучения с длиной волны 810 нм, которое хорошо зарекомендовало себя как для выполнения разрезов, так и для гемостаза. Проведена серия экспериментальных исследований по выбору оптимальных параметров воздействия этим лазером на биологические ткани с использованием фантома живой ткани [3]. Широкое применение лазера с длиной волны 810 нм в различных областях хирургии, знание особенностей биологических эффектов его действия позволяют использовать этот лазер для проведения сравнительных исследований с другими видами воздействия на ткани — электроножом, радиочастотным скальпелем, лазерами с различными длинами волн [4].

В последние годы в хирургической практике активно применяется лазер с длиной волны 1470 нм. Для лазерных аппаратов с длиной волны, близкой к 1,5 мкм, поглощение в воде является преобладающим свойством, что обуславливает особые биологические эффекты в результате воздействия. Такие лазеры получили название «водопоглощаемые» или «водоспецифичные» [5] и используются главным образом в урологии и для эндовенозной облитерации вен [6–10]. Некоторыми фирмами-изготовителями указывается возможность применения лазерного излучения с длиной волны 1470 нм для выполнения оперативных вмешательств в других областях медицины, в частности в оториноларингологии. В доступной литературе встречаются лишь единичные экспериментальные исследования биологических эффектов лазерного излучения с указанной длиной волны. При изучении эффективности действия лазера на ткани предстательной железы в сравнении с КТР-лазером (potassium-titanyl-phosphate) [11] выявлены менее выраженные режущие свойства диодного лазера, но более значимые коагуляционные способности. Проведена оценка количества vaporизованной ткани, образующейся при воздействии лазерным излучением с длиной волны 1470 нм на ткань свиной почки, а также оценка кровопотери за время лазерного воздействия на модели

кровооснабжаемой свиной почки [12]. Зона некроза составила 1,30 мм, что оказалось значительно меньше в сравнении со значениями при использовании лазера длиной волны 980 нм — 4,18 мм. Различные условия и методики проведения опубликованных экспериментальных работ не позволяют проводить сравнительную оценку их результатов и прогнозировать эффекты лазерного воздействия на ткани. В клинической практике режим воздействия лазерного аппарата подбирается исключительно эмпирически. Знание особенностей биологических эффектов лазера уменьшит риск нанесения непрогнозируемого воздействия на ткани, позволит с учетом спектральных характеристик излучения расширить и обосновать область использования лазера в хирургии, разработать рекомендации по выбору оптимальных режимов воздействия для рассечения и коагуляции тканей. Сравнение эффектов лазера с длиной волны 1470 нм и лазерного излучения с длиной волны 810 нм позволит в полной мере оценить особенности его воздействия на ткани и возможности.

Следует сказать, что эффект лазерного воздействия обусловлен не только спектральными характеристиками излучения, мощностью, экспозицией лазера, но и оптическими свойствами тканей. Поэтому выбор параметров воздействия в каждом конкретном случае должен основываться на результатах экспериментальных исследований, проведенных на различных биологических тканях, с учетом их оптических и механических свойств.

Цель исследования — определить особенности биологических эффектов контактного воздействия на ткани с различными оптическими и механическими свойствами полупроводниковым лазером с длиной волны 1470 нм в сравнении с воздействием лазерного излучения с длиной волны 810 нм.

Материалы и методы. Работа выполнена на кафедре отоларингологии с клиникой Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета имени акад. И.П. Павлова. Оценку действия полупроводниковых лазеров осуществляли в контактном непрерывном режиме. Эффекты лазера с длиной волны 1470 нм («Пахта-Милон», ф. «Милон-лазер», Россия) с максимальной выходной мощностью 5 Вт изучали при мощности от 1 до 5 Вт с шагом в 1 Вт. Действие лазерного излучения с длиной волны 810 нм («Аткус-15», ф. «Полупроводниковые прибо-

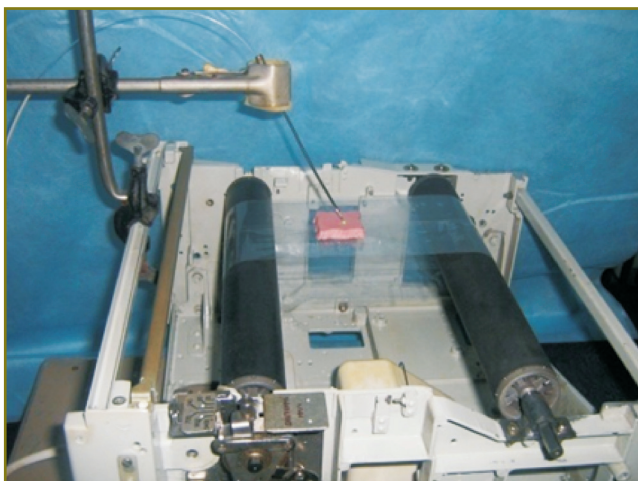


Рис. 1. Выполнение линейного разреза ткани

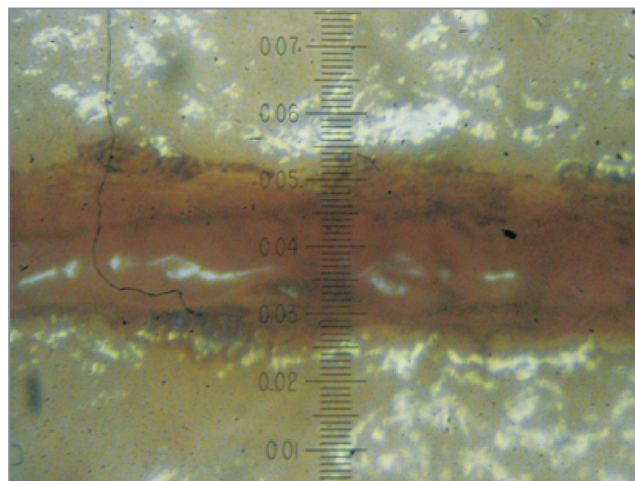


Рис. 2. Измерение ширины зон абляции и коагуляции (в мкм) с использованием окуляр-микрометра, $\times 40$

ры», Россия) оценивали при наиболее часто используемых в клинической практике показателях мощности: 3, 5, 7 и 9 Вт.

В качестве объектов, подвергаемых лазерному воздействию, выбраны биологические ткани с различными оптическими и механическими свойствами: удаленные полипы полости носа, печень крупного рогатого скота, мышечная ткань курицы, удаленный хрящ перегородки носа, в результате чего полученные данные позволят прогнозировать эффекты лазерного воздействия на различные ткани организма — мышечную, хрящевую, полипозную ткань, характеризующуюся высоким содержанием воды, и паренхиматозные органы. С целью улучшения режущих свойств во всех случаях лазерное воздействие осуществлялось обугленным концом оптоволокна.

Для оценки ширины зон абляции и коагуляции на образец биологической ткани наносили линейный разрез. Стандартизацию скорости воздействия осуществляли посредством подвижной равномерно двигающейся ленты самописца (рис. 1). Лазерное волокно фиксировали с помощью штативов под углом 60° относительно поверхности по ходу выполнения разреза. Для нанесения воздействий на ткани применяли скоростной режим 2 мм/с как наиболее часто используемый в клинических условиях.

Измерение ширины зоны абляции и ширины боковой зоны коагуляции осуществляли в условиях микроскопии с помощью окуляр-микрометра при увеличении 40 на аппарате LKB Ultramicrotome, Model 8802A (Швеция) (рис. 2). Полученный результат умножали на табличный коэффициент, соответствующий цене одного деления окуляр-микрометра в микрометрах. Выполнено 3 серии опытов, в каждой производилось по 5 измерений. Глубину образовавшегося кратера оценивали путем выполнения поперечных срезов относительно линии разреза с последующим измерением в условиях микроскопии вышеописанным способом.

Для оценки степени vaporизации производили точечное воздействие излучением на образец биологи-

ческой ткани в течение 5 с. Лазерное волокно фиксировали с помощью штативов под углом 90° к поверхности ткани. До и после выполнения точечного воздействия выполняли взвешивание образцов биологической ткани на весах Techniprot (Польша) с диапазоном измерений 0–1000 мг.

Результаты исследования обрабатывались с использованием t-критерия Стьюдента для определения различий значений относительных и абсолютных величин. Критический уровень достоверности нулевой статистической гипотезы (об отсутствии различий и влияний) принимали равным 0,05.

Результаты и обсуждение. Прирост мощности лазерного излучения с длиной волны 1470 нм от 1 до 5 Вт приводит к значительному увеличению ширины кратера, в меньшей степени — боковой зоны коагуляции на всех биологических объектах (табл. 1). Исключение составила ткань полипа, при воздействии на которую нарастание мощности излучения до 3 Вт и выше вызывает деформацию и сморщивание.

При контактном воздействии лазерного излучения с длиной волны 810 нм прирост его мощности увеличивает ширину кратера и боковой зоны коагуляции в меньшей степени в сравнении с лазером с длиной волны 1470 нм. К примеру, увеличение мощности излучения с 3 до 9 Вт у лазера с длиной волны 810 нм при действии на мышечную ткань курицы приводит к росту ширины кратера на 20% и к росту боковой зоны коагуляции на 63% (рис. 3), а рост мощности излучения с длиной волны 1470 нм с 1 до 5 Вт характеризуется увеличением указанных показателей на 256 и 193% соответственно (см. табл. 1).

Максимальная по ширине зона абляции формируется при действии лазерного излучения с длиной волны 1470 нм на мышечную ткань курицы и печень крупного рогатого скота (различия для большинства измерений статистически не значимы, $p > 0,05$), что обусловлено высоким содержанием воды в данных биологических тканях. В случае использования лазера с длиной волны 810 нм максимальный по ширине

кратер образуется при действии на печень крупного рогатого скота, характеризующуюся высоким содержанием гемоглобина, который является целевым хромофором, способным поглощать излучение и превращать его в тепловую энергию (рис. 4).

Минимальные показатели ширины зон абляции выявлены при действии лазерным излучением с длиной волны 1470 нм на полипозную ткань за счет ее деформации, с длиной волны 810 нм — на хрящ перегородки носа, что обусловлено как низким содержанием целевых хромофоров, так и высокой плотностью хрящевой ткани. Формирование наименьшего кратера при воздействии на полипозную ткань лазерным излучением с длиной волны 1470 нм в результате ее сморщивания и деформации может быть объяснено интенсивным испарением воды, характерным для данного спектра лазерного излучения. Это заключение подтверждается более выраженной потерей массы образцом ткани полипа в сравнении с другими биологическими объектами при точечном лазерном воздействии с длиной волны 1470 нм (табл. 2).

В ходе выполнения линейного разреза лазером с длиной волны 1470 нм мощностью 1 Вт отмечено выраженное налипание к лазерному волокну тканей с большим содержанием воды — печени крупного рогатого скота и мышечной ткани курицы. Это приводило к формированию неравномерного по ширине кратера на указанных биологических объектах и в статистических вычислениях отразилось в высоких значениях ошибок средних арифметических значений. Образование прогнозируемого по ширине разреза на печени крупного рогатого скота и мышечной ткани курицы обеспечивает мощность воздействия лазерного излучения с длиной волны 1470 нм не менее 2 Вт.

Таблица 1

Ширина зон абляции и коагуляции при воздействии на различные ткани лазерным излучением с длиной волны 1470 и 810 нм

Длина волны, мкм	Мощность, Вт	Печень крупного рогатого скота (группа 1)	Мышечная ткань курицы (группа 2)	Полип полости носа (группа 3)	Хрящ перегородки носа (группа 4)
Ширина кратера, мкм					
1,47	1	294±65	588±85	70±11**	343±13 ⁺⁺
	2	756±31	1232±65*	147±13 ^{**}	707±13 ⁺⁺
	3	1302±30	1295±40	126±14 ^{**}	798±30 ⁺⁺
	4	1393±36	1477±23	700±22 ^{**}	854±14 ⁺⁺
	5	1505±46	1610±66	301±26 ^{**}	994±18 ⁺⁺
0,81	3	700±72	893±10*	0	294±14 ⁺⁺
	5	1068±117	1005±17	910±18*	854±21*
	7	1225±56	1057±32*	998±28*	875±14 ⁺⁺
	9	1278±55	1075±23*	1071±76*	980±9 ^{**}
Ширина боковой зоны коагуляции, мкм					
1,47	1	336±36	189±9*	0	0
	2	385±19	308±34	0	0
	3	406±32	371±14	0	0
	4	448±30	364±14	161±28 ^{**}	0
	5	476±38	364±18	301±34*	0
0,81	3	224±10	280±26	0	70±6 ^{**}
	5	315±9	364±29	35±6 ^{**}	70±6 ⁺⁺
	7	294±10	420±23*	70±6 ^{**}	70±3 ^{**}
	9	403±9	455±26	175±6 ^{**}	70±6 ⁺⁺

* — различия значений статистически значимы в сравнении с группой 1; * — в сравнении с группой 2; ^ — в сравнении с группой 3, p<0,05.

В случае использования лазера с длиной волны 810 нм налипание ткани к волокну отмечено только при действии на богатую целевыми хромофорами пе-



Рис. 3. Линейный разрез при действии лазерного излучения с длиной волны 810 нм на мышечную ткань курицы; мощность сверху вниз — 9, 7, 5, 3 Вт (макрофотография)



Рис. 4. Оценка зоны абляции и боковой зоны коагуляции на ткани печени крупного рогатого скота (макрофотография)

Таблица 2

Потеря массы образцами биологических тканей до и после точечного воздействия лазерным излучением, мг

Длина волны, мкм	Мощность, Вт	Печень крупного рогатого скота	Мышечная ткань курицы	Полип полости носа	Хрящ перегородки носа
1,47	1	1	2	1	2
	2	6	2	3	3
	3	8	5	8	7
	4	10	8	10	11
	5	11	10	16	15
0,81	3	6	2	3	1
	5	6	2	3	2
	7	8	5	8	4
	9	13	5	8	4

Таблица 3

Глубина кратера при воздействии на мышечную ткань курицы лазерным излучением с длиной волны 1470 и 810 нм

Длина волны, мкм	Мощность лазерного излучения, Вт	Глубина кратера, мкм
1,47	1	163±12*
	2	175±20*
	3	187±31*
	4	315±20*
	5	338±12*
0,81	3	301±24
	5	427±48
	7	525±20
	9	539±26

* — различия значений статистически значимы в сравнении с действием лазера с длиной волны 810 нм и мощностью 7 Вт, $p < 0,05$.

чень крупного рогатого скота при мощности воздействия 3 и 5 Вт. Избежать налипания ткани к волокну и снизить вероятность кровотечения при отсоединении волокна от ткани в ходе воздействия на печень крупного рогатого скота позволяет использование мощности лазерного воздействия с длиной волны 810 нм не менее 7 Вт.

При оценке глубины разреза в результате линейного воздействия лазерами с длиной волны 810 и 1470 нм статистически значимых различий в зависимости от вида ткани не выявлено. На всех биологических объектах глубина разреза, формирующегося при лазерном воздействии с длиной волны 1470 нм, даже при максимальной мощности (5 Вт) не превышала глубины кратера, образующегося при действии лазера с длиной волны 810 нм. В табл. 3 приведены результаты измерения

глубины кратера на мышечной ткани курицы, характеризующейся высоким содержанием целевых хромофоров, для обоих видов полупроводниковых лазеров. Формирование менее глубокого кратера при действии лазерным излучением с длиной волны 1470 нм имеет преимущества в ходе выполнения щадящих воздействий на ткани.

Ширина боковой зоны коагуляции при действии лазерным излучением с длинами волн 1470 и 810 нм была статистически значимо выше на печени крупного рогатого скота и мышечной ткани курицы. При действии на хрящ перегородки носа лазерное излучение с длиной волны 1470 нм в отличие от лазера с длиной волны 810 нм не позволяет реализовать коагулирующий эффект в связи с низким содержанием воды в данной биологической ткани. При действии на полип полости носа зона коагуляции формируется при мощности не менее 3 Вт для лазера с длиной волны 1470 нм и не менее 5 Вт — в случае лазерного излучения с длиной волны 810 нм.

Таким образом, контактное применение лазерного излучения с длиной волны 1470 нм в сравнении с лазером с длиной волны 810 нм характеризуется формированием статистически значимо менее глубокого кратера на всех биологических объектах, что позволяет рекомендовать его использование в анатомических областях, требующих максимально щадящего воздействия, или при нанесении поверхностных разрезов. При мощности 2 Вт контактное действие лазерного излучения с длиной волны 1470 нм в сравнении с лазером с длиной волны 810 нм мощностью 7 Вт обеспечивает формирование достоверно менее широкого кратера при действии на все биологические объекты за исключением мышечной ткани и более значимой боковой зоны коагуляции ткани печени ($p < 0,05$). В связи с этим применение лазера с длиной волны 1470 нм в контактном режиме оправдано как для рассечения тканей, так и с целью гемостаза с учетом особенностей биологических эффектов, обусловленных длиной волны лазерного излучения.

Заключение. Для выполнения разрезов всех видов биологических тканей лазером с длиной волны 1470 нм оптимальной является мощность 2 Вт, обеспечивающая образование прогнозируемого по ширине кратера. Формирование менее широкого и глубокого разреза при данных параметрах излучения по сравнению с действием лазера с длиной волны 810 нм мощностью 7 Вт имеет преимущества в анатомических областях, требующих щадящего воздействия на ткани. Коагуляционный эффект лазера с длиной волны 1470 нм мощностью 2 Вт сопоставим, а в ряде случаев и превышает действие лазерного излучения с длиной волны 810 нм мощностью 7 Вт, что может использоваться для поверхностной коагуляции сосудистых образований, вапоризации мягких тканей.

Финансирование исследования. Данное исследование проводилось без какой-либо финансовой поддержки.

Конфликт интересов. У авторов нет конфликта интересов.

Литература

1. Рябова М.А. Роль изучения эффектов лазерного излучения на биологическую ткань в разработке методов лазерной хирургии в оториноларингологии. Вестник оториноларингологии 2008; 4: 13–17.
2. Köhler B., Kissel H., Flament M., Wolf P., Brand T., Biesenbach J., et al. High-power diode laser modules from 410 nm to 2200 nm. *Proc SPIE* 2010; 7583, <http://dx.doi.org/10.1117/12.841846>.
3. Неворотин А.И., Плужников М.С., Рябова М.А., Плоткина О.В., Красников А.Г. Сравнительный анализ малоинвазивных хирургических вмешательств при использовании инфракрасного лазера и радиочастотного скальпеля (клинико-экспериментальное исследование). *Folia Otorhinolaryngologiae et Pathologiae Respiratoriae* 2007; 13(1–4): 26–32.
4. Карпищенко С.А., Рябова М.А., Шумилова Н.А. Сравнительная оценка биологических эффектов лазерного излучения, радиоволновой аппаратуры и электроножа. *Folia Otorhinolaryngologiae et Pathologiae Respiratoriae* 2011; 2: 55–64.
5. Соколов А.Л., Лядов К.В., Луценко М.М., Лавренко С.В., Любимова А.А., Вербицкая Г.О. и др. Применение лазерного излучения 1,56 мкм для эндовазальной облитерации вен в лечении варикозной болезни. *Ангиология и сосудистая хирургия* 2009; 1: 69–76.
6. Merseburger A.S., Herrmann T.R., Liatsikos E., Nagele U., Traxer O. Лазеры и лазерные технологии. Клинические рекомендации Европейской ассоциации урологов. 2011.
7. Doganci S., Demirkilic U. Comparison of 980 nm laser and bare-tip fibre with 1470 nm laser and radial fibre in the treatment of great saphenous vein varicosities: a prospective randomised clinical trial. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2010; 40(2): 254–259, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejvs.2010.04.006>.
8. Pannier F., Rabe E., Maurins U. First results with a new 1470-nm diode laser for endovenous ablation of incompetent saphenous veins. *Phlebology* 2009; 24(1): 26–30, <http://dx.doi.org/10.1258/phleb.2008.008038>.
9. Rasmussen L.H., Lawaetz M., Bjoern L., Vennits B., Blemings A., Eklof B. Randomized clinical trial comparing endovenous laser ablation, radiofrequency ablation, foam sclerotherapy and surgical stripping for great saphenous varicose veins. *Br J Surg* 2011; 98(8): 1079–1087, <http://dx.doi.org/10.1002/bjs.7555>.
10. Almeida J., Mackay E., Javier J., Mauriello J., Raines J. Saphenous laser ablation at 1470 nm targets the vein wall, not blood. *Vasc Endovascular Surg* 2009; 43(5):467–472, <http://dx.doi.org/10.1177/1538574409335916>.
11. Seitz M., Bayer T., Ruszat R., Tilki D., Bachmann A., Gratzke C., et al. Preliminary evaluation of a novel side-fire diode laser emitting light at 940 nm, for the potential treatment of benign prostatic hyperplasia: ex-vivo and in-vivo investigations. *BJU Int* 2009; 103(6): 770–775, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1464-410X.2008.08066.x>.
12. Wezel F., Wendt-Nordahl G., Huck N., Bach T., Weiss C., Michel M.S., Häcker A. New alternatives for laser vaporization of the prostate: experimental evaluation of a 980-, 1,318- and 1,470-nm diode laser device. *World J Urol* 2010; 28(2): 181–186, <http://dx.doi.org/10.1007/s00345-009-0499-5>.

References

1. Ryabova M.A. The role of the study of laser effects on biological tissue in the development of laser surgical techniques in otolaryngology. *Vestnik otorinolaringologii* 2008; 4: 13–17.
2. Köhler B., Kissel H., Flament M., Wolf P., Brand T., Biesenbach J., et al. High-power diode laser modules from 410 nm to 2200 nm. *Proc SPIE* 2010; 7583, <http://dx.doi.org/10.1117/12.841846>.
3. Nevorotin A.I., Pluzhnikov M.S., Ryabova M.A., Plotkina O.V., Krasnikov A.G. Comparative analysis of minimally invasive surgical interventions in the use of infrared laser and radiofrequency scalpel (clinical and experimental study). *Folia Otorhinolaryngologiae et Pathologiae Respiratoriae* 2007; 13(1–4): 26–32.
4. Karpishchenko S.A., Ryabova M.A., Shumilova N.A. Comparative assessment of biological effects of laser radiation, radiofrequency devices and electrical knife. *Folia Otorhinolaryngologiae et Pathologiae Respiratoriae* 2011; 2: 55–64.
5. Sokolov A.L., Lyadov K.V., Lutsenko M.M., Lavrenko S.V., Lyubimova A.A., Verbitskaya G.O., et al. The use of 1.56 µm laser radiation for endovascular venous obliteration in varicose vein disease treatment. *Angiologia i sosudistaya hirurgia* 2009; 1: 69–76.
6. Merseburger A.S., Herrmann T.R., Liatsikos E., Nagele U., Traxer O. *Lazery i lazernye tekhnologii. Klinicheskie rekomendatsii Evropeyskoy assotsiatsii urologov* [Lasers and laser technology. Clinical guidelines of the European Association of Urology]. 2011.
7. Doganci S., Demirkilic U. Comparison of 980 nm laser and bare-tip fibre with 1470 nm laser and radial fibre in the treatment of great saphenous vein varicosities: a prospective randomised clinical trial. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2010; 40(2): 254–259, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejvs.2010.04.006>.
8. Pannier F., Rabe E., Maurins U. First results with a new 1470-nm diode laser for endovenous ablation of incompetent saphenous veins. *Phlebology* 2009; 24(1): 26–30, <http://dx.doi.org/10.1258/phleb.2008.008038>.
9. Rasmussen L.H., Lawaetz M., Bjoern L., Vennits B., Blemings A., Eklof B. Randomized clinical trial comparing endovenous laser ablation, radiofrequency ablation, foam sclerotherapy and surgical stripping for great saphenous varicose veins. *Br J Surg* 2011; 98(8): 1079–1087, <http://dx.doi.org/10.1002/bjs.7555>.
10. Almeida J., Mackay E., Javier J., Mauriello J., Raines J. Saphenous laser ablation at 1470 nm targets the vein wall, not blood. *Vasc Endovascular Surg* 2009; 43(5): 467–472, <http://dx.doi.org/10.1177/1538574409335916>.
11. Seitz M., Bayer T., Ruszat R., Tilki D., Bachmann A., Gratzke C., et al. Preliminary evaluation of a novel side-fire diode laser emitting light at 940 nm, for the potential treatment of benign prostatic hyperplasia: ex-vivo and in-vivo investigations. *BJU Int* 2009; 103(6): 770–775, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1464-410X.2008.08066.x>.
12. Wezel F., Wendt-Nordahl G., Huck N., Bach T., Weiss C., Michel M.S., Häcker A. New alternatives for laser vaporization of the prostate: experimental evaluation of a 980-, 1,318- and 1,470-nm diode laser device. *World J Urol* 2010; 28(2): 181–186, <http://dx.doi.org/10.1007/s00345-009-0499-5>.