

УДК 616.14-007.64-089:615.849.19

ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОГО РЕЖИМА ЛАЗЕРНОЙ ФОТОКОАГУЛЯЦИИ ВЕНОЗНОЙ СТЕНКИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ EX-VIVO

Паращенко А.Ф., Потапов М.П., Гансбургский А.Н.

ГБОУ ВПО «Ярославская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Ярославль, e-mail: pafdoc@mail.ru

Проанализированы результаты 136 опытов ex-vivo, проведенных на смоделированном экспериментальном стенде с использованием диодного лазерного аппарата ЛАМИ с длиной волны 1470 нм при воздействии на венозную стенку. Во всех опытах применялся импульсный режим 900 мс с энергией 30, 60 и 100 Дж с изменением при этом мощности от 4 до 12 Вт и расстояния от 5 до 0 мм от торца световода до поверхности эндотелия через кровь и 0,9% NaCl. В ходе проведенных опытов было зарегистрировано нагревание крови до кипения, испарение ее водной части, формирование на торце световода плотного нагара с дальнейшим обугливанием торца световода – эффект «карбонизации». Экспериментально проведена оценка механизма действия лазерной энергии на венозную стенку при лечении варикозной болезни вен нижних конечностей, что позволяет выявить влияния различных факторов и условий на качество термооблитерации, степени травматизма, на характер и выраженность реакции системы гемостаза организма человека, изучить эффект «карбонизации» во всех режимах и сериях. Образующиеся на торце световода углеродистый слой черного цвета и плотные массы оставшейся обезвоженной крови способны к нагреву свыше 100°C, в результате этого происходит грубая деструкция венозной стенки вплоть до перфорации в месте контакта массы обезвоженных фрагментов крови. Повреждающее действие лазера с длиной волны 1470 нм на венозную стенку усиливается с возрастанием энергии воздействия на точку и уменьшением расстояния от торца световода до интимы. Сила фототермолиза прямо пропорциональна степени карбонизации торца световода и обратно пропорциональна количеству воды в зоне фотокоагуляции. В ходе эксперимента установлено, что наибольшей терапевтической ширитой обладает воздействие при следующих параметрах: продолжительность воздействия 8 мс и мощность 8 Вт.

Ключевые слова: эндовазальная лазерная коагуляция, световод, лазерная термокоагуляция

CHOOSING OF EFFECTIVE MODE OF LASER PHOTOCOAGULATION OF THE VEIN WALL IN THE EXPERIMENT EX-VIVO

Parashchenko A.F., Potapov M.P., Gansburgskii A.N.

Yaroslavl State Medical Academy, Yaroslavl, e-mail: pafdoc@mail.ru

There have been analyzed the results of 136 ex-vivo experiments, which were carried out on the simulated test-bed using diode laser apparatus LAMY with 1470 nm wave length, affecting on the vein wall. There has been used 900 mc impulse mode, with 30, 60, and 100 J changing the power from 4 to 12 W, with the distance from 5 and 0 mm from the fiber end to the endothelium surface through the blood and 0,9% NaCl. During the experiments there has been observed blood heating up to the boiling point, vaporizing water from it, appearing solid deposit resulting into carbonization of the fiber end. Experimentally there has been made an assessment of the mechanism of laser energy affection on the vein wall during treating the varicose vein disease of lower limbs, which allows to detect: the effect of different factors and conditions on the thermo obliteration quality, the degree of injury, the nature and severity of the reaction of the hemostasis system of human organism, studying the carbonization effect in all modes and series. The black carbonic coating and solid mass of dehydrated blood appearing on the fiber end, can be warmed over 100°C, this results into bad destruction of vein wall up to perforation in the point of contact with dehydrated blood fragments. The results of the research allow to optimize the EVLA method, to improve the medical treatment of patients with varicose vein disease of lower limbs, by means of increasing life quality of patients in postoperative period and decreasing the period of rehabilitation.

Keywords: endovascular laser coagulation, optical fiber, laser thermo coagulation, carbonization

По данным Всемирной организации здравоохранения, варикозная болезнь вен нижних конечностей (ВБВНК) встречается у каждого пятого взрослого человека планеты. Среди современных технологий лечения методика эндовазальной лазерной коагуляции (ЭВЛК) при ВБВНК претерпела значительные изменения и стала еще более доступной и безопасной, несмотря на то, что первые сообщения об ЭВЛК были опубликованы всего 12 лет назад [1, 2, 3, 6]. Накопленные за прошедшее десятилетие клинический опыт и экспериментальный материал вынуждают констатировать, что, по ряду объективных и субъективных причин, ЭВЛК так и не стала стандартом

в лечении варикозной болезни. Причиной этого, во-первых, является сохраняющийся уровень неудовлетворительных результатов ЭВЛК, достигающий 15%, и, во-вторых, отсутствие среди специалистов единого мнения о выборе режимов энергетического воздействия на венозный сосуд, что необходимо для возникновения стойкой его облитерации. Экспериментальные исследования в этой области имеют ряд существенных недостатков, которые не позволяют установить единый стандарт ЭВЛК [4, 5, 7, 8, 9].

Цели исследования: установить оптимальные параметры лазерного воздействия на венозную стенку при моделировании лазерной термооблитерации вен ex-vivo.

Материалы и методы исследования

Экспериментальная часть работы выполнена на базе Государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Ярославская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации на кафедрах хирургических болезней педиатрического факультета (заведующий кафедрой, д.м.н., профессор Ю.К. Александров), гистологии, цитологии и эмбриологии (заведующий кафедрой, д.м.н., профессор А.В. Павлов). Проведено 136 опытов *ex-vivo*. Для решения поставленных задач смонтирован экспериментальный стенд, состоящий из отечественного диодного лазерного аппарата ЛАМИ, генерирующего лазерное излучение длиной волны 1470 нм, штатива для фиксации световода диаметром 0,6 мм, позволяющего позиционировать торцевую часть световода на заданном расстоянии от эндотелия вены, и емкости цилиндрической формы диаметром 2 см и высотой 4 см, на дне которой установлен предметный столик, позволяющий фиксировать в горизонтальной плоскости рассеченную вдоль вену. Во всех случаях перед выполнением опытов производился замер мощности лазерного излучения на торце световода прибором с термочувствительным датчиком. Для регистрации повреждений венозной стенки использовали микрофотоаппарат MiViewCar и световую микроскопию при увеличении. Окраска препаратов выполнена гематоксилином и эозином.

В качестве объекта лазерного воздействия использовались сегменты больших подкожных вен, удаленных во время радикальной флебэктомии у пациентов с варикозной болезнью вен нижних конечностей. Возраст пациентов составил от 19 до 65 лет, средний $38 \pm 7,5$ лет, соотношение мужчин и женщин 53 и 47%. Исследование проводилось непосредственно после удаления вены без фиксации консервантами. Цилиндрическую емкость экспериментального стенда заполняли донорской кровью, а также 0,9% раствором NaCl. Таким образом, в первом варианте имитировались условия венозного сосуда, заполненного кровью.

Для чистоты экспериментального исследования в целях точной фиксации длительности лазерного воздействия использован импульсный режим генерации лазерной энергии: продолжительность импульса 900 мс, интервал между импульсами – 10 мс. Воздействие на венозную стенку осуществляли энергией 30, 60 и 100 Дж на одну точку, меняя при этом мощность лазерного излучения в диапазоне 4, 6, 8, 10 и 12 Вт и продолжительность воздействия соответственно формуле: энергия (Дж) = мощность (Вт) × время воздействия (с). Лазерное облучение венозной стенки осуществляли с расстояния 5 и 0 мм от торца световода до поверхности эндотелия. Сравнение результатов эксперимента осуществлялось в опытах, когда изменялся только один параметр, а все остальные условия эксперимента оставались неизменными. Каждый опыт повторялся 3 раза.

Характер биологического действия лазерного излучения на венозную стенку оценивался визуально по микрофотографиям и микроскопически. Для регистрации силы повреждения предложено использовать оригинальную дискретную шкалу в зависимости от глубины термического поражения тканей венозной стенки: 1 – повреждение только в пределах внутрен-

ней оболочки; 2 – в том числе – средней; 3 – в том числе – адвентиции; 4 – грубая деструкция стенки с разрушением всех слоев (перфорация стенки).

Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием непараметрического критерия Спирмена для анализа связи (корреляции) двух признаков в математическом пакете Statistica for Windows Release 10.0. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Во всех режимах и сериях было зарегистрировано нагревание крови до кипения с последующим испарением водной части крови и формированием на торце световода плотного нагара с дальнейшим обугливанием торца световода. Это так называемый эффект «карбонизации». Образующиеся на торце световода углеродистый слой черного цвета и плотные массы оставшейся обезвоженной крови способны к нагреву свыше 100°C . По нашим расчетам, для нагрева 1 мл крови на 1 градус требуется всего 3,9 Дж энергии. В то время как для испарения 1 мл воды затрачивается колоссальная энергия в 2200 Дж. Такое количество энергии вызвало бы нагревание 1 кубического см биологической ткани (теплоемкость тела человека $3,47 \text{ кДж/кг}$) с 36 градусов до 600 градусов при условии, что тепло не будет отводиться за счет всех существующих способов передачи тепла. Наличие крови, а если быть точным, воды вокруг торца световода является фактором сдерживания его от перегрева. Испарение воды приводит к перегреву сухой массы и, как следствие, чрезмерному фототермолизу венозной стенки.

Проанализировав визуально торцы световодов после нескольких опытов, нами была разработана оригинальная дискретная шкала степени выраженности эффекта «карбонизации» на торце световода: 1 – торец без признаков обугливания (после специальной предоперационной обработки); 2 – торец содержит легкий угольный налет, не увеличивающий диаметр световода; 3 – торец содержит налет, увеличивающий диаметр световода не более чем в 2 раза (1200 мкм); 4 – налет, увеличивающий диаметр торца световода более чем в 2 раза.

Статистическая обработка результатов первых опытов выявила сильную корреляционную связь между величиной энергии лазерного излучения и тяжестью термической травмы венозной стенки (Критерий Спирмена $R = 0,9$; $p < 0,001$). При этом установлена также статистически значимая ($p < 0,001$) сильная корреляционная связь между степенью «карбонизации» и силой повреждающего действия лазера на венозную стенку при энергии воздействия

30 и 60 Дж на точку (Критерий Спирмена $R = 0,8$) и средняя корреляция при энергии 100 Дж (Критерий Спирмена $R = 0,7$). Таким образом, можно предположить, что при меньшей энергии выраженность «карбонизации» оказывает существенное влияние на силу наносимой травмы, а при увеличении плотности энергии степень «карбонизации» уже имеет меньшее значение.

В нескольких сериях эксперимента, когда неизменными оставались плотность

энергии 60 Дж, среда – гепаринизированная кровь и расстояние – 5 мм, а менялись только продолжительность и мощность лазерного воздействия, установлено, что наиболее стабильной по силе воздействия стала лазерная фотокоагуляция при параметрах 8 с и 8 Вт соответственно (таблица). При установленном режиме фотокоагуляции не наступало полной деструкции венозной стенки даже при грубой «карбонизации» торца световода.

Зависимость силы фототермолиза венозной стенки от продолжительности лазерного воздействия и степени «карбонизации» при постоянной плотности излучения в 60 Вт

Степень «карбонизации»	Режимы лазерного воздействия				
	10	8	6	5	Время воздействия (с)
	6	8	10	12	Мощность излучения (Вт)
	60	60	60	60	Плотность энергии (Дж)
1 – без карбонизации	2	1	1,5	2	<= Выраженность травмы венозной стенки
2 – легкая степень карбонизации	2,5	1	2	2,5	
3 – карбонизация средней степени	3	1,5	2,5	3	
4 – грубая карбонизация	3,5	2	3	3,5	

При приближении торца световода вплотную к эндотелию значительно большее повреждение венозной стенки наблюдалось по мере увеличения продолжительности воздействия и пропорциональном снижении мощности в соответствии с расчетной энергией.

При лазерном воздействии на расстоянии 5 мм через 0,9% раствор NaCl зафиксировано кипение среды без формирования угольного нагара на световоде, что не приводит к повреждению стенки вены. При плотном соприкосновении с интимой вены происходит точечное повреждение ткани на ширину, не превышающую двукратного диаметра световода, и на глубину без полной перфорации стенки. При этом не установлена корреляционная связь между плотностью энергии лазерного излучения и силой фототермолиза венозной стенки.

Выводы

Таким образом, повреждающее действие лазера с длиной волны 1470 нм на венозную стенку усиливается с возрастанием энергии воздействия на точку и уменьшением расстояния от торца световода до интимы. Сила фототермолиза прямо пропорциональна степени карбонизации торца световода и обратно пропорциональна количеству воды в зоне фотокоагуляции. В водной среде в отсутствие гемоглобина (биологического хромофора) фототермолиз венозной стенки наступает только при

условии плотного соприкосновения торца световода с эндотелием и только в пределах этого контакта.

В ходе эксперимента установлено, что наибольшей терапевтической шириной обладает воздействие при следующих параметрах: продолжительность воздействия 8 с и мощность 8 Вт.

Список литературы

1. Богачев В.Ю., Кириенко А.И., Золотухин И.А. и др. Эндовазальная лазерная облитерация большой подкожной вены при варикозной болезни // *Ангиология и сосудистая хирургия*. – 2013. – Т. 19 № 1. – М.: Ангиология инфо, 2013 – С. 11–156.
2. Савельев В.С., Покровский В.А. Российские клинические рекомендации по диагностике и лечению хронических заболеваний вен // *Флебология*. – 2013. – Т. 7 № 2. – М.: Медиа Сфера, 2013 – С. 6–49.
3. Соколов А.Л., Лядов К.В., Луценко М.М. Лазерная облитерация вен для практических врачей. – М.: ИД Медпрактика – М, 2011 – С. 136.
4. Шайдаков Е.В., Григорян А.Г., Илюхин Е.А., Петухов А.В., Росуховский Д.А. Сравнение лазеров с длиной волны 970 и 1470 нм при моделировании эндовазальной лазерной облитерации вен in vitro // *Флебология*. – 2011. – Т. 4 № 1, – М.: Медиа Сфера, 2011 – С. 23–30.
5. Шайдаков Е.В., Григорян А.Г., Илюхин Е.А., Петухов А.В., Булатов В.Л. Оптимальные режимы эндовенозной лазерной облитерации с длиной волны 970, 1470 и 1560 нм: ретроспективное продольное когортное многоцентровое исследование // *Флебология*. – 2013. – Т. 7 № 1, – М.: Медиа Сфера, 2013 – С. 22.
6. Шевченко Ю.Л., Стойко Ю.М., Мазайшвили К.В. Лазерная хирургия варикозной болезни. – М.: Боргес, 2010 – С. 198.
7. Шевченко Ю.Л., Стойко Ю.М., Мазайшвили К.В., Хлевцова Т.В. Механизм эндовенозной лазерной облитерации

ции: новый взгляд // Флебология. – 2011. – Т. 5, № 1. – М.: Медиа Сфера, 2011 – С. 46–50.

8. De Felice E. Shedding light: laser physics and mechanism of action. *Phlebology*. 2010;25:11–28.

9. Vuylsteke ME, Martinelli TH, Van Dorpe J, et al. Endovenous laser ablation: the role of the intraluminal blood. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2011;42:120–126.

References

1. Bogachyov V. Yu. Kiriyenko A.I. Zolotukhin I.A. etc. Endovenous laser ablation of a big hypodermic vein at a varicose illness // *Angiologiya and vascular surgery*. 2013. Vol. 19 no. 1. M.: *Angiologiya of info*, 2013 pp. 11–156.

2. Savelyev V.S., Pokrovsk V.A. Rossiyskiye clinical recommendations about diagnostics and treatment of chronic diseases of veins // *Flebologiya*. 2013. Vol. 7 no. 2. M.: *Media the Sphere*, 2013 pp. 6–49.

3. Sokolov A.L. Lyadov K.V. Lutsenko M.M. Laser obliteration of veins for practical doctors. M.: *IDES of the Medical practician M.*, 2011 pp. 136.

4. Shaidakov E.V., Bulatov V.L., Ilyukhin E.A., Son'kin I.N., Grigorian A.G., Gal'chenkol M.I.. Comparison of lasers with a length of wave of 970 and 1470 nanometers when modeling an endovenous laser ablation of in vitro // *Flebology*. 2011. Vol. 4 no. 1, M.: *Media the Sphere*, 2011 pp. 23–30.

5. Shaidakov E.V., Bulatov V.L., Ilyukhin E.A., Son'kin I.N., Grigorian A.G., Gal'chenkol M.I.. Optimum modes of an

endovenous laser ablation with a length of wave of 970, 1470 and 1560 nanometers: retrospective longitudinal kogortny multicenter research // *Flebologiya*. 2013. Vol. 7 no. 1, M.: *Media the Sphere*, 2013 pp. 22.

6. Shevchenko Y.L. Stoiko Y.M, Mazaishvili K.V. Laser surgery of a varicose illness. M.: *Borges*, 2010 pp. 198.

7. Shevchenko Yu.L. Stoiko Yu.M, Mazaishvili K.V., Khlevtova T.V. Mechanism of an endovasal laser obliteration: new view // *Flebologiya*. 2011. Vol. 5, no. 1. M.: *Media the Sphere*, 2011 pp. 46–50.

8. De Felice E. Shedding light: laser physics and mechanism of action. *Phlebology*. 2010;25:11–28.

9. Vuylsteke M.E., Martinelli T.H., Van Dorpe J., et al. Endovenous laser ablation: the role of the intraluminal blood. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2011;42:120–126.

Рецензенты:

Хорев А.Н., д.м.н., профессор, заведующий кафедрой факультетской хирургии, ГБОУ ВПО ЯГМА Минздрава России, г. Ярославль;

Червяков Ю.В., д.м.н., доцент кафедры хирургии ИПДО, ГБОУ ВПО ЯГМА Минздрава России, г. Ярославль.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.