

УДК: 616.14-007.64:616.718-089

DOI: 10.37895/2071-8004-2024-28-1-33-42

Тип статьи: обзор

СОВРЕМЕННЫЕ КОНЦЕПЦИИ О МЕХАНИЗМАХ ЭНДОВАЗАЛЬНОЙ ЛАЗЕРНОЙ КОАГУЛЯЦИИ В ЛЕЧЕНИИ ВАРИКОЗНОЙ БОЛЕЗНИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

А.Н. Беляев, С.В. Костин

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», Саранск, Россия

Резюме

Механизмы эндовазальной лазерной коагуляции (ЭВЛК) в лечении варикозной болезни до конца не изучены.

Цель: анализ существующих механизмов ЭВЛК с целью профилактики геморрагических осложнений и парестезий, связанных с применением метода.

Методы. В этом обзорном исследовании рассматриваются современные теории механизма действия ЭВЛК при лечении варикозной болезни нижних конечностей.

Результаты. Опубликованные экспериментальные и клинические исследования, в том числе и гистологические, свидетельствуют о том, что степень повреждения вены во время ЭВЛК зависит от многих факторов, в том числе от длины волны, мощности, скорости световода. В формировании повреждения вен в процессе ЭВЛК участвуют различные механизмы, такие как прямой контакт стенки вены с торцом световода, карбонизация элементов крови со значительным повышением внутривенной температуры крови и образованием пузырьков газа, конвекция тепла на стенку вены через кровь.

Заключение. Деструкция стенки вены во время ЭВЛК реализуется через одновременное воздействие различных повреждающих факторов. В настоящее время в практику внедряются двухмикронные лазерные излучения, способствующие эффективной коагуляции вен при более низких величинах мощности, применение которых сопровождаются уменьшением послеоперационных осложнений.

Ключевые слова: лазерная коагуляция, варикозное расширение вен, механизмы, длина волны

Для цитирования: Беляев А.Н., Костин С.В. Современные концепции о механизмах эндовазальной лазерной коагуляции в лечении варикозной болезни. *Лазерная медицина*. 2024; 28(1):33–42. <https://doi.org/10.37895/2071-8004-2024-28-1-33-42>

Контакты: Костин С.В., e-mail: k0stin@mail.ru

MODERN CONCEPTS ON THE MECHANISMS OF ENDOVASAL LASER COAGULATION IN VARICOSE VEIN DISEASE (A REVIEW)

Belyaev A.N., Kostin S.V.

Ogarov Mordovian National Research State University, Saransk, Russia

Abstract

Mechanisms of endovasal laser coagulation (EVLC) applied in varicose vein disease are not fully understood.

Purpose. To analyze currently applied EVLC mechanisms so as to prevent hemorrhagic complications and paresthesia caused by these mechanisms.

Methods. This review analyses modern theories on EVLC mechanisms when applied in varicose vein disease in the lower extremities.

Results. Published experimental and clinical trials, including histological ones, have shown that the degree of vein damage during EVLC session depends on many factors, such as wavelength, intensity, and optical fiber speed. Damage to veins during EVLC procedure depends on various factors, such as direct contact of the vein wall with an optical fiber tip, carbonization of blood elements leading to the increased intravenous blood temperature and to the formation of gas bubbles as well as heat convection on the vein wall through the blood.

Conclusion. Destruction of the vein wall during EVLC procedure is the result of a synergistic effect of various damaging factors. Currently, 2- μ m laser irradiation is being implemented into clinical practice. This technique provides better vein coagulation under less power values which promotes less postoperative complications.

Keywords: laser coagulation, varicose veins, mechanisms, wavelength

For citations: Belyaev A.N., Kostin S.V. Modern concepts on the mechanisms of endovasal laser coagulation in varicose vein disease. *Laser Medicine*. 2024; 28(1): 33–42. [In Russ.]. <https://doi.org/10.37895/2071-8004-2024-28-1-33-42>

Contacts: Kostin S.V., e-mail: k0stin@mail.ru

Эндовазальная лазерная коагуляция (ЭВЛК), впервые проведенная в Испании в 1999 г. [1], стала распространенным малоинвазивным методом лечения варикозного расширения вен. Преимущества метода перед открытой венэктомией доказаны как с клинической [2, 3, 4, 5], так и коммерческой [6, 7] точек зрения. Однако научная составляющая, включающая в основном механизмы повреждения вен при ЭВЛК, до сих пор активно изучается [8]. Трудно найти другие примеры в медицине, когда за короткий период было опубликовано столько научных статей по механизмам воздействия лазерной энергии на стенку вены. Имеются публикации как медиков, так и физиков. Это связано с тем, что варикозную болезнь лечат врачи, в частности хирурги, а идею и метод лазерной коагуляции предложили физики. Как правильно заметили Н.А. Neumann и соавт. [9], физики и врачи «говорят» на разных языках. ЭВЛК – пример того, когда технология необходима врачу для достижения оптимального результата лечения, не вдаваясь в подробности физических процессов, происходящих во время лазерного воздействия на стенку вены. С другой стороны, физик обычно не знает нюансы лечебных технологий и осложнения во время ЭВЛК. И только объединив знания и опыт врачей и физиков, можно не только оптимизировать методику ЭВЛК, но и раскрыть механизмы, лежащие в основе воздействия лазерной энергии на стенку вены.

Основные научные исследования по выявлению механизмов ЭВЛК проведены в последние два десятилетия, начиная с 2000 годов [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22]. На начальном этапе развития данного метода применялись лазеры, генерирующие излучение с длинами волн 810, 940 и 980 нм [23, 24]. Излучение данных лазеров поглощается гемоглобином, поэтому они получили условное название «гемоглобиновых». Поскольку «гемоглобиновые» лазеры воздействуют на стенку вены опосредованно путем передачи тепла от разогретой крови, то для достижения успешной коагуляции вен необходимо использование лазерного излучения достаточно высокой мощности, что приводило к возрастанию послеоперационных осложнений.

С целью уменьшения вероятности послеоперационных осложнений для проведения процедуры ЭВЛК различными исследователями было изучено использование лазеров с длинами волн излучения 1470, 1560 нм, в большей степени поглощаемые водой [25, 26]. Данные лазеры получили условное название «водных». Благодаря более высокому коэффициенту поглощения водой стало возможным осуществление коагуляции вен при меньших значениях мощности подводимого излучения, вследствие чего сократилось количество послеоперационных осложнений [26].

В последнее время появились научные работы, свидетельствующие о реализации ЭВЛК с применением лазеров, генерирующих излучение в двухмикронной

области спектра, а именно: 1885 нм [21], 1920 нм [27], 1940 нм [28, 29]. При этом излучение данного спектрального диапазона вода поглощает более эффективно по сравнению с излучением полуторамикронной области спектра. Вследствие данного факта может быть снижена мощность излучения до 4–5 Вт, требуемая для осуществления коагуляции вен [30]. Уменьшение мощности лазерного излучения для достижения желаемого лечебного эффекта способствует снижению количества послеоперационных осложнений [31]. Есть и другие мнения [32], свидетельствующие о малой роли используемой длины волны лазерного излучения в долгосрочных результатах лечения.

Большое значение на результаты ЭВЛК оказывает тип световода: с плоским торцом или с рассеивающим наконечником [33]. Послеоперационные осложнения могут быть уменьшены вследствие применения рассеивающих наконечников по сравнению со световодами без наконечника [34]. Поэтому в последние годы повсеместно стали внедрять радиальные световоды, имеющие преимущества перед торцовыми [35, 36] в виде уменьшения боли и кровоизлияний [37, 38], что связано с меньшим количеством перфораций вен [39]. Улучшить клинические результаты ЭВЛК возможно с применением оптического световода с широким профилем излучения [40]. Встречаются публикации, где авторы в краткосрочной перспективе не видят разницы как в полноте окклюзии, так и по венозной шкале тяжести, при использовании торцовых и радиальных световодов [41]. Однако в настоящее время повсеместно используют рассеивающие наконечники, позволяющие уменьшить перфорации венозной стенки и связанные с этим геморрагические и неврологические осложнения [42, 43].

Если все исследователи пришли к единому мнению о термическом характере воздействия на стенку вены во время ЭВЛК, то в отношении механизмов повреждения стенки вены в процессе термического воздействия имеется неопределенность и разночтение. Наиболее ранний рассматриваемый механизм ЭВЛК в научных публикациях связан с прямым контактом кончика световода со стенкой вены в процессе лазерной коагуляции [13, 16, 44, 45, 46]. В дальнейшем этот механизм подвергся критике W. S. J. Malskat и соавт. [22] вследствие того, что контакт стенки вены с торцом световода способствует образованию лишь неглубокой линии повреждения стенки шириной около 0,6 мм по отношению к окружности стенки до 10 мм (диаметр вены 3 мм), что недостаточно для ее облитерации. К тому же негативным моментом применения световодов с плоским торцом является контакт торца световода, со стенкой вены, что может привести к ее перфорации [47].

Следующий механизм повреждения стенки вены основан на передаче энергии от раскаленного карбонизированного слоя крови на кончике световода. Без крови торец световода при прохождении

лазерного луча не раскаляется. Однако на торце световода, введенного в просвет вены, содержащей кровь, образуется нагар из форменных элементов крови, которые впоследствии превращаются в частицы углерода с температурой от 200 °C и выше [48, 49]. Карбонизированный слой из обугленных эритроцитов поглощает значительную часть (около 45%) излучаемого света [50], что вызывает очень высокие температуры, около 1000 °C [51, 52].

Этот перенос тепловой энергии может происходить как через прямой контакт между горячим наконечником и стенкой вены, так и через кровь путем конвекции [13, 18], а также за счет пузырьков пара, которые образуются в карбонизированном слое, затем отрываются от наконечника и перемещаются по течению крови, конденсируясь вблизи стенки вены [53, 54, 55, 56].

Исследование динамики нагрева воды, осуществляемого непрерывным лазерным излучением с длинами волн 1470, 1550 и 1940 нм с использованием различных типов волокон для эндовасальной лазерной коагуляции, изложено в статье В. П. Минаева и соавт. [57]. Авторами показано, что при сильном поглощении водой лазерного излучения основную роль в процессе теплопереноса играют конвекция и кипение. В случае сильно поглощаемого водой излучения с $\lambda = 1940$ нм эффективный теплообмен начинается при значительно меньших уровнях мощности по сравнению с менее поглощаемыми водой излучениями с $\lambda = 1470$ и 1550 нм. Также установлено, что теплообмен резко асимметричен и направлен преимущественно вверх-вперед (волокна с голым наконечником) или вверх (радиальные и «двухкольцевые» волокна). Теплопередача для лазерного света с длиной волны 1940 нм более эффективна, чем для 1470 и 1550 нм.

М. Негер и соавт. [58] указали на еще один возможный механизм лазерной облитерации вен, который заключается в том, что лазерное воздействие на стенку вены и на клетки крови в просвете вены способствует образованию теплового тромба, который в последующем трансформируется в фиброзный тяж с окклюзией просвета.

Для уточнения механизмов теплового повреждения стенки вены в процессе ЭВЛК, некоторые авторы использовали математические расчеты оценки переноса и распределения температуры в тканях при облучении лазерным излучением [13, 59]. Надо отметить, что используемые математические модели переноса тепла, генерируемого лазерным излучением, могут иметь ошибки, связанные с упрощениями, необходимыми для их реализации. В большинстве они основаны только на теплопроводности и недостаточно описывают процесс реального теплопереноса при эндовасальной лазерной коагуляции [57].

В последние годы для лечения варикозной болезни были внедрены лазеры с длиной волны более 1900 нм, преимущество которых заключается в том,

что они позволяют провести деструкцию стенки вены, используя меньшую мощность в ваттах и меньшую линейную плотность энергии (LEED: Дж/см) [60, 61, 62, 63, 64]. Благодаря более высокому коэффициенту поглощения водой излучения длиной волны 1940 нм по сравнению с другими длинами волн и радиальному рассеянию световой энергии желаемая абляция стенки вены может быть достигнута с помощью более низких уровней мощности с термическими изменениями, преимущественно ограниченными интимной и мышечной оболочками [65]. В клинических условиях это приводит к высокой частоте окклюзии, низкой послеоперационной боли и низкой частоте осложнений [62]. Относительно применяемой мощности лазерного излучения есть сторонники ее использования, независимо от диаметра коагулируемых вен [29], другие же рекомендуют изменять уровни мощности в зависимости от диаметра вены [36, 61].

Существенный вклад в описание механизмов термического повреждения стенки вены во время ЭВЛК внесли отечественные ученые. Д. А. Борсук и соавт. [66] изучали результаты ЭВЛК больших подкожных вен с использованием различных мощностей при одинаковой линейной плотности энергии около 70 Дж/см. Авторы пришли к выводу, что уровень боли и осложнения ЭВЛК не были связаны с сочетанием мощности энергии (5–10 Вт) и скорости автоматического вытяжения волокна при аналогичном LEED, достигающем около 70 Дж/см. К. Майзашвили и С. Акимов [67] установили, что частота осложнений у пациентов при процедурах ЭВЛК составила 4,87%. Большинство осложнений связано с отсутствием стандартов по их выявлению и лечению.

В. М. Чудновский и соавт. [55] внесли большой вклад в установление физических механизмов ЭВЛК. Ими показано, что лазерное воздействие во время ЭВЛК вызывает закипание крови, что приводит к нагреванию венозных стенок (термическое разрушение интимы) и обеспечивает эффективную окклюзию кровеносных сосудов пеной (гемостаз). Необходимые и достаточные условия для успешного проведения ЭВЛК связаны с термической деструкцией интимы и вызванным лазерным излучением пенным гемостазом. Позже В. Юсупов и В. Чудновский [68] показали, что в процессе ЭВЛК на торце лазерного волокна образуются крупные парогазовые пузырьки, вызванные объемным кипением крови в просвете вены, и воздействующими на ее стенку.

Исследования [21, 39, 69] посвящены экспериментальному обоснованию эффективности ЭВЛК при использовании длин волн лазерного излучения 1885 и 1910 нм и различных типов световодов. С применением макро- и микроморфометрических методов авторы показали возможность снижения мощности лазерного излучения до 3–4 Вт с достаточным повреждением вен в ближайшем периоде времени и их окклюзией в отдаленном периоде наблюдения после ЭВЛК.

Важные нерешенные вопросы флебологии и перспективы ее развития были освещены в статье И.А. Золотухина и соавт. [70], которые предсказали реконструктивную флебологию, патогенез повреждения венозной стенки и возможные осложнения ЭВЛК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ литературных источников показал, что повреждающее термическое воздействие на стенку вены осуществляется путем реализации различных механизмов действия, в том числе прямой контакт торца световода со стенкой вены, образование карбонизированного слоя на торце световода с возрастанием температуры до 1000 °С и образованием пузырьков газа, конвекция тепла на стенку вены через кровь. Возможно, некоторые механизмы термического воздействия на стенку вены имеют второстепенное значение. При анализе литературных источников встречались работы, которые не укладывались в общепринятую концепцию механизмов повреждающего действия ЭВЛК. В настоящее время в практику внедряются двухмикронные лазерные излучения, способствующие эффективной коагуляции вен при более низких величинах мощности, применение которых сопровождается уменьшением послеоперационных осложнений. Внедрение новых эндовазальных технологий, в том числе и нетермических, связано с обоснованием их клинической эффективности, что, несомненно, предполагает и анализ их механизмов действия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Boné-Salat C. Tratamiento endoluminal de las varices con laser de diodo. *Patologia Vascular*. 1999; 1: 32–39.
2. Elzezfaz N., Elfeky M.A., Elshatlawy K.M., Abdelal A., Elhendawy A., Ahmed A., Nada M., Ouf T. Evaluation of Endovenous Laser Ablation in the Management of Varicose Veins. *Cureus*. 2023 Sep 12; 15 (9). e45096. PMID: 37842441; PMCID: PMC10569145. DOI: 10.7759/cureus.45096
3. Fayyaz F., Vaghani V., Ekhatior C., Abdullah M., Alsubari R.A., Daher O.A., Bakht D., Batat H., Arif H., Bellegarde S.B., Bisharat P., Faizullah M. Advancements in Varicose Vein Treatment: Anatomy, Pathophysiology, Minimally Invasive Techniques, Sclerotherapy, Patient Satisfaction, and Future Directions. *Cureus*. 2024 Jan 10; 16 (1). e51990. PMID: 38344644; PMCID: PMC10853729. DOI: 10.7759/cureus.51990
4. Shrestha O., Basukala S., Thapa N., Karki S., Pant P., Pauldel S. Endovenous laser ablation versus conventional surgery (ligation and stripping) for primary great saphenous varicose vein: a systematic review and meta-analysis. *Ann Med Surg (Lond)*. 2023 Jul 25; 5 (9): 4509–4519. PMID: 37663729; PMCID: PMC10473384. DOI: 10.1097/MS9.0000000000001095
5. Baram A., Rashid D.F., Saqat B.H. Non-randomized comparative study of three methods for great saphenous vein ablation associated with mini-phlebectomy; 48 months clinical and sonographic outcome. *Ann Med Surg (Lond)*. 2022 Jul 2; 80: 104036. PMID: 35846854; PMCID: PMC9283499. DOI: 10.1016/j.amsu.2022.104036
6. Epstein D., Bootun R., Diop M., Ortega-Ortega M., Lane T.R.A., Davies A.H. Cost-effectiveness analysis of current varicose veins treatments. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord*. 2022 Mar.; 10 (2): 504–513.e7. Epub 2021 Aug 25. PMID: 34450353. DOI: 10.1016/j.jvsv.2021.05.014
7. Gao R.D., Qian S.Y., Wang H.H., Liu Y.S., Ren S.Y. Strategies and challenges in treatment of varicose veins and venous insufficiency. *World J Clin Cases*. 2022 Jun 26; 10 (18): 5946–5956. PMID: 35949828; PMCID: PMC9254182. DOI: 10.12998/wjcc.v10.i18.5946
8. Vuylsteke M.E., Mordon S.R. Endovenous laser ablation: a review of mechanisms of action. *Ann Vasc Surg*. 2012; 26: 424–433. DOI: 10.1016/j.avsg.2011.05.037. (11)
9. Neumann H.A., van Gemert M.J. Ins and outs of endovenous laser ablation: afterthoughts. *Lasers Med Sci*. 2014 Mar.; 29 (2): 513–518. Epub 2014 Jan 8. PMID: 24399461; PMCID: PMC3953605. DOI: 10.1007/s10103-013-1499-7
10. van den Bos R., Arends L., Kockaert M., Neumann M., Nijsten T. Endovenous therapies of lower extremity varicosities: a meta-analysis. *J Vasc Surg*. 2009; 49: 230–239. DOI: 10.1016/j.jvs.2008.06.030
11. van Gemert M.J.C., van der Geld C.W.M., Bruijninx C.M.A., Verdaasdonk R.M., Neumann H.A.M. Endovenous laser ablation: a review of mechanisms of action. *Ann Vasc Surg*. 2012; 26: 424–433.
12. Navarro L., Navarro N., Salat C.B., Gomez J.F., Min R.J. Endovascular laser device and treatment of varicose veins. US 6,398,777 B1; patent filed in 1999, granted in 2002.
13. Mordon S.R., Wassmer B., Zemmouri J. Mathematical modeling of 980-nm and 1320-nm endovenous laser treatment. *Lasers Surg Med*. 2007; 39: 256–265. DOI: 10.1002/lsm.20476. (47) (57) (62).
14. van Ruijven P.W.M., Poluektova A.A., van Gemert M.J.C., Neumann H.A.M., Nijsten T., van der Geld C.W.M. van Ruijven P.W.M., Poluektova A.A., van Gemert M.J.C., Neumann H.A.M., Nijsten T., van der Geld C.W.M. Optical-thermal mathematical model for endovenous laser ablation of varicose veins. *Lasers Med Sci*. 2014 Mar.; 29 (2): 431–4399. Epub 2013 Oct 9. PMID: 24105397. DOI: 10.1007/s10103-013-1451-x
15. Fan C.M., Anderson R.R. Endovenous laser ablation: mechanism of action. *Phlebology*. 2008; 23: 206–213. DOI: 10.1258/phleb.2008.008049
16. Disselhoff B.C.V.M., Rem A.I., Verdaasdonk R.M., der Kinderen D.J., Moll F.L. Endovenous laser ablation: an experimental study on the mechanism of action. *Phlebology*. 2008; 23: 69–76.
17. Amzayyb M., van den Bos R.R., Kodach V.M., de Bruin D.M., Nijsten T., Neumann H.A.M., van Gemert M.J.C. Carbonized blood deposited on fibres during 810, 940 and 1,470 nm endovenous laser ablation: thickness and absorption by optical coherence tomography. *Lasers Med Sci*. 2010; 25: 439–447.
18. van den Bos R.R., Kockaert M.A., Neumann H.A.M., Bremmer R.H., Nijsten T., van Gemert M.J.C. Heat conduction from the exceedingly hot fiber tip contributes to the endovenous laser ablation of varicose veins. *Lasers Med Sci*. 2009. 24: 247–251.
19. Poluektova A.A., Malskat W.S.J., van Gemert M.J.C., Vuylsteke M.E., Bruijninx C.M.A., Neumann H.A.M., van der Geld C.W.M. Some controversies in Endovenous Laser

- Ablation of varicose veins addressed by optical-thermal mathematical modeling. *Lasers Med Sci.* 2014 Mar.; 29 (2): 441–452. Epub 2013 Oct 9. PMID: 24105396. DOI: 10.1007/s10103-013-1450-y
20. Vuytsteke M.E., Martinelli T., Van Dorpe J., Roelens J., Mordon S., Fourneau I. Endovenous laser ablation: the role of intraluminal blood. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2011; 42: 120–126. DOI: 10.1016/j.ejvs.2011.03.017
 21. Belyaev A.N., Chabushkin A.N., Khrushchalina S.A. et al. Investigation of endovenous laser ablation of varicose veins in vitro using 1.885- μ m laser radiation. *Lasers Med Sci.* 2016; 31: 503–510. DOI: 10.1007/s10103-016-1877-z
 22. Malskat W.S.J., Poluektova A.A., van der Geld C.W.M. et al. Endovenous laser ablation (EVLA): a review of mechanisms, modeling outcomes, and issues for debate. *Lasers Med Sci.* 2014; 29: 393–403. DOI: 10.1007/s10103-013-1480-5
 23. Weiss R.A. Comparison of endovenous radiofrequency versus 810 nm diode laser occlusion of large veins in an animal model. *Dermatol Surg.* 2002 Jan. 28 (1): 56–61.
 24. Proebstle T.M., Sandhofer M., Kargl A., Gul D., Rother W., Knop J., et al. Thermal damage of the inner vein wall during endovenous laser treatment: key role of energy absorption by intravascular blood. *Dermatol Surg.* 2002 Jul. 28 (7): 596–600.
 25. 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, 1470 и 1560 нм: ретроспективное продольное когортное многоцентровое исследование. *Флебология.* 2013; 7 (1): 22–29.
 26. Malskat W.S.J., Giang G., De Maeseneer M.G.R., Nijsten T.E.C., van der Bos R.R. Randomized clinical trial of 940- versus 1470-nm endovenous laser ablation for great saphenous vein incompetence. *Br J Surg.* 2016 Feb.; 103 (3): 192–198. Epub 2015 Dec 14. DOI: 10.1002/bjs.10035
 27. Mendes-Pinto D., Bastianetto P., Cavalcanti Braga Lyra L., Kikuchi R., Kabnick L. Endovenous laser ablation of the great saphenous vein Comparing 1920-nm and 1470-nm diode laser. *Int Angiology.* 2016; 35: 599–604.
 28. Viarengo L.M.A., Viarengo G., Martins A.M., Mancini M.W., Lopes L.A. Medium and long-term outcomes of endovenous treatment of varicose veins with a 1940 nm diode laser: critical analysis and technical considerations Chudnovskii V., Aleksandr Mayor, Artem Kiselev, Vladimir Yusupov. Cite as Foaming of blood in endovenous laser treatment. *Lasers in Medical Science.* 2018; 33 (8): 1821–1826. DOI: 10.1590/1677-5449.010116
 29. Park I. Initial outcomes of endovenous laser ablation with 1940nm diode laser in the treatment of incompetent saphenous veins. *Vascular.* 2019 Feb.; 27 (1): 27–32. DOI: 10.1177/1708538118797860
 30. Bianchi P.G., Martinelli F., Quarto G., Palombi L. The evolution of endovenous laser ablation (EVLA). A single-center experience with a 1470 nm versus a 1940 nm diode laser. *Ann Ital Chir.* 2022; 93: 578–583. PMID: 36254762.
 31. Whiteley M.S. Endovenous Laser Ablation (EVLA) for Treatment of Varicose Veins: A Comparison of EVLA with 1470 nm and 1940 nm Lasers. *Surg Technol Int.* 2022 May 19; 40: 281–286. PMID: 35415834. DOI: 10.52198/22.STI.40.CV1565
 32. Cavallini A. Endovenous laser treatment of saphenous veins: is there clinical difference using different endovenous laser wavelengths? *Int Angiol.* 2015 Feb.; 34 (1): 1–8.
 33. Pavei P., Spreafico G., Bernardi E., Giraldi E., Ferrini M. Favorable long-term results of endovenous laser ablation of great and small saphenous vein incompetence with a 1470-nm laser and radial fiber. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord.* 2021; 9: 352–360.
 34. Teter K.A., Kabnick L.S., Sadek M. Endovenous laser ablation: A comprehensive review. *Phlebology.* 2020 Oct.; 35 (9): 656–662. DOI: 10.1177/0268355520937619
 35. Schwarz T., von Hodenberg E., Furtwängler C., Rastan A., Zeller T., Neumann F.J. Endovenous laser ablation of varicose veins with the 1470-nm diode laser. *J Vasc Surg.* 2010 Jun.; 51 (6): 1474–1478. DOI: 10.1016/j.jvs.2010.01.027
 36. Pavei P., Spreafico G., Bernardi E., Giraldi E., Ferrini M. Favorable long-term results of endovenous laser ablation of great and small saphenous vein incompetence with a 1470-nm laser and radial fiber. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord.* 2021 Mar.; 9 (2): 352–360. DOI: 10.1016/j.jvsv.2020.06.015
 37. Hirokawa M., Kurihara N. Comparison of Bare-Tip and Radial Fiber in Endovenous Laser Ablation with 1470 nm Diode Laser. *Ann Vasc Dis.* 2014; 7 (3): 239–45. DOI: 10.3400/avd.oa.14-00081
 38. Disselhoff B.C.V.M., der Kinderen D.J. Twenty Years' Experience with Endovenous Laser Ablation for Varicose Veins: A Critical Appraisal of the Original Procedure. *Surg Technol Int.* 2021 Jun 28; 39: 267–271. DOI: 10.52198/21.STI.39.CV1453
 39. Artemov S.A., Belyaev A.N., Bushukina O.S., Khrushchalina S.A., Kostin S.V., Lyapin A.A., Ryabochkina P.A., Taratynova A.D. Optimization of endovenous laser coagulation: in vivo experiments. *Lasers Med Sci.* 2020 Jun; 35 (4): 867–875. DOI: 10.1007/s10103-019-02874-6
 40. Hartmann K., Gholam P., Dietrich C., Fink C. Efficacy and safety of endovenous laser ablation with the 1470 nm diode laser using a novel optical probe. *Int J Med Sci.* 2022 Mar 28; 19 (4): 695–700. PMID: 35582422; PMCID: PMC9108407. DOI: 10.7150/ijms.70916
 41. Rajendran S., Nair H.R. Endovenous laser ablation of incompetent great saphenous veins with 1470-nm laser using bare tip and radial fibers results in similar short-term outcomes. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord.* 2021 Sep; 9 (5): 1209–1214. Epub 2020 Dec 16. PMID: 33340731. DOI: 10.1016/j.jvsv.2020.12.069
 42. Arslan Ü., Çalık E., Tort M., Yıldız Z., Tekin A.İ., Limandal H.K., Kaygın M.A., Dağ Ö., Erkut B. More Successful Results with Less Energy in Endovenous Laser Ablation Treatment: Long-term Comparison of Bare-tip Fiber 980 nm Laser and Radial-tip Fiber 1470 nm Laser Application. *Ann Vasc Surg.* 2017 Nov; 45: 166–172. Epub 2017 Jun 21. PMID: 28647634. DOI: 10.1016/j.avsg.2017.06.042
 43. Abud B., Kunt A.G. Midterm varicose vein recurrence rates after endovenous laser ablation: comparison of radial fibre and bare fibre tips. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2021 Jan 1; 32 (1): 77–82. PMID: 33212479; PMCID: PMC8906712. DOI: 10.1093/icvts/ivaa219
 44. Navarro L., Navarro N., Boné-Salat C., Fructuoso-Gomez J., Min R.J. Endovascular laser device and treatment of varicose

- veins. *United States Patent*. 2002, US 6,398,777 B1; patent filed in 1999, date of patent: June 4 [Ref list].
45. Fan C.M., Rox-Anderson R. Endovenous laser ablation: mechanism of action. *Phlebology*. 2008; 23 (5): 206–13. PMID: 18806202. DOI: 10.1258/phleb.2008.008049.
 46. Шевченко Ю.Л., Стойко Ю.М., Мазайшвили К.В., Хлевцова Т.В. Механизм эндовенозной лазерной облитерации: новый взгляд. *Флебология*. 2011; 5 (1): 46–50.
 47. Беляев А.Н., Рябочкина П.А., Костин С.В., Бушукина О.С., Хрущалина С.А., Беляев С.А. Влияние мощности и типа световода на структурное повреждение вен после эндовазальной лазерной облитерации длиной волны 1910 нм. *Флебология*. 2021; 15 (3): 154–161. DOI: 10.17116/flebo202115031154
 48. Thomsen S., Pearce J.A. Thermal damage and rate processes in biologic tissues. In: Welch AJ, van Gemert MJC (eds). *Optical-thermal response of laser-irradiated tissue*. 2nd edn. Springer, Dordrecht. Chapter 13: 497.
 49. Беляев А.Н., Кузнецова О.А., Ляпин А.Н., Рябочкина П.А., Хрущалина С.А., Чабушкин А.Н. Роль карбонизированного слоя на торце оптического световода в процессе эндовазальной облитерации варикозных вен. *Флебология*. 2016; 10 (2): 80–85. DOI: 10.17116/flebo201610280-85
 50. Amzayyb M., van den Bos R.R., Kodach V.M., de Bruin D.M., Nijsten T., Neumann H.A.M., van Gemert M.J.C. Carbonized blood deposited on fibres during 810, 940 and 1,470 nm endovenous laser ablation: thickness and absorption by optical coherence tomography. *Lasers Med Sci*. 2010; 25: 439–447.
 51. Verdaasdonk R.M., Holstege F.C., Jansen E.D., Borst C. Temperature along the surface of modified fiber tips for Nd:YAG laser angioplasty. *Lasers Surg Med*. 1991; 11: 213–222. DOI: 10.1002/lsm.1900110304
 52. Meissner O.A., Schmedt C.G., Hunger K., Hetterich H., Sroka R., Rieber J., Babaryka G., Steckmeier B.M., Reiser M., Siebert U., Mueller-Lisse U. Endovascular optical coherence tomography ex vivo: venous wall anatomy and tissue alterations after endovenous therapy. *Eur Radiol*. 2007; 17: 2384–2393. DOI: 10.1007/s00330-007-0593-2
 53. Proebstle T.M., Lehr H.A., Kargl A., Espinola-Klein C., Rother W., Bethge S., Knop J. Endovenous treatment of the greater saphenous vein with a 940-nm diode laser: thrombotic occlusion after endoluminal thermal damage by laser-generated steam bubbles. *J Vasc Surg*. 2002; 35: 729–736. DOI: 10.1067/mva.2002.121132
 54. van der Geld C.W.M., van den Bos R.R., van Ruijven P.W.M., Nijsten T., Neumann H.A.M., van Gemert M.J.C. The heat-pipe resembling action of boiling bubbles in endovenous laser ablation. *Lasers Med Sci*. 2010; 25: 907–909. DOI: 10.1007/s10103-010-0780-2
 55. Chudnovskii V., Mayor A., Kiselev A. et al. Foaming of blood in endovenous laser treatment. *Lasers Med Sci*. 2018; 33: 1821–1826. DOI: 10.1007/s10103-018-2552-3
 56. Чудновский В.М., Маховская Т.Г., Майор А.Ю., Юсупов В.И., Невожай В.И., Киселев А.Ю., Шикина И.Б. Вспенивание крови в механизме эндовазальной лазерной облитерации. *Флебология*. 2018; 12 (4): 261–269. DOI: 10.17116/flebo201812041261
 57. Minaev V.P., Minaev N.V., Bogachev V.Y., Kaperiz K.A., Yusupov V.I. Endovenous laser coagulation: asymmetrical heat transfer (modeling in water). *Lasers Med Sci*. 2021 Oct; 36 (8): 1599–1608. Epub 2020 Nov 7. PMID: 33159310. DOI: 10.1007/s10103-020-03184-y
 58. Heger M., van Golen R.F., Broekgaarden M., van den Bos R.R., Neumann H.A.M., van Gulik T.M., van Gemert M.J.C. The role of thermal coagula, thrombosis, cell death, and vascular wall damage in the removal of varicose veins following endovenous laser therapy. *Lasers Med Sci*. 2014 Mar; 29 (2): 405–422. PMID: 24232911. DOI: 10.1007/s10103-013-1490-3
 59. van Ruijven P.W.M., Poluektova A.A., van Gemert M.J.C., Neumann H.A.M., Nijsten T., van der Geld C.W.M. Optical-thermal mathematical model for endovenous laser ablation of varicose veins. *Lasers Med Sci*. 2014; 29 (2): 431–439. Epub 2013 Oct 9. PMID: 24105397. DOI: 10.1007/s10103-013-1451-x
 60. Palombi L., Morelli M., Bruzzese D., Quarto G. Third generation of laser (>1900) for endovenous thermoablation (EVLA) of varicose veins: A systematic review and meta-analysis. *Phlebology*. 2024 Jan; 10: 2683555241227017. Epub ahead of print. PMID: 38199976. DOI: 10.1177/02683555241227017
 61. Setia A., Schmedt C.G., Beisswenger A., Dikic S., Demhasaj S., Setia O., Schmitz-Rixen T., Sroka R. Safety and efficacy of endovenous laser ablation (EVLA) using 1940 nm and radial emitting fiber: 3-year results of a prospective, non-randomized study and comparison with 1470 nm. *Lasers Surg Med*. 2022 Apr; 54 (4): 511–522. Epub 2021 Dec 5. PMID: 34865236. DOI: 10.1002/lsm.23500
 62. Setia A., Schmedt C.G., Sroka R. Endovenous laser ablation using laser systems emitting at wavelengths > 1900 nm: a systematic review. *Lasers Med Sci*. 2022 Dec; 37 (9): 3473–3483. Epub 2022 Jul 12. PMID: 35819662. DOI: 10.1007/s10103-022-03609-w
 63. Fabián V., Honěk J., Horváth V., Horváth M., Šlais M., Vítovec M., Stehno O., Šedivý P., Šebesta P., Weiss J., Honěk T. Endovenous laser ablation of saphenous veins – favorable clinical results confirm theoretical advantages of the 1940 nm diode laser. *Rozhl Chir*. 2022; 101 (8): 395–400. English. PMID: 36208935. DOI: 10.33699/PIS.2022.101.8.395-400
 64. Keo H.H., Somma C., Regli C., Staub D., Diehm N., Lindenberg J., Gaehwiler R., Uthoff H. Safety, feasibility, and early efficacy of the water-specific 1940-nm laser wavelength for ablation of saphenous incompetence. *J Vasc Surg Cases Innov Tech*. 2023 Feb 14; 9 (2): 101125. PMID: 37427036; PMCID: PMC10323407. DOI: 10.1016/j.jvscit.2023.101125
 65. Artemov S.A., Belyaev A.N., Bushukina O.S., Khrushchalina S.A., Kostin S.V., Lyapin A.A., Ryabochkina P.A., Taratynova A.D. Morphological changes of veins and perivenous tissues during endovenous laser coagulation using 2-μm laser radiation and various types of optical fibers. *J Vasc Surg. Venous Lymphat. Disord*. 2021; 10: 749–757. DOI: 10.1016/j.jvsv.2021.08.018
 66. Borsuk D.A., Fokin A.A., Lobastov K.V., Tauraginskii R.A., Zhdanov K.O., Zolotov A.V., Arkhipov I.S., Galchenko M.I. A randomized clinical trial to assess the impact of laser power with constant linear endovenous energy density on outcomes of endovenous laser ablation (SLEDGE trial). *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord*. 2023 Sep; 11 (5): 946–953. Epub 2023 May 11. PMID: 37172934. DOI: 10.1016/j.jvsv.2023.03.020

67. Mazayshvili K., Akimov S. Early complications of endovenous laser ablation. *Int Angiol.* 2019 Apr. 38(2): 96–101. Epub 2019 Feb 22. PMID: 30810002. DOI: 10.23736/S0392-9590.19.04097-5
68. Yusupov V., Chudnovskii V. The origin of loud claps during endovenous laser treatments. *J Acoust Soc Am.* 2023 Mar; 153(3): 1525. PMID: 37002106. DOI: 10.1121/10.0017436
69. Artemov S.A., Belyaev A.N., Bushukina O.S., Davydkin V.I., Khrushchalina S.A., Kostin S.V., Ryabochkina P.A., Taratynova A.D. Transformational features of the vein wall during a long-term period of endovenous laser ablation using 1910 nm laser radiation. Results of in-vivo experiments. *Int Angiol.* 2023 Aug; 42 (4): 362–370. Epub 2023 Jul 20. PMID: 37475589. DOI: 10.23736/S0392-9590.23.05013-7
70. Золотухин И.А., Гаврилов С.Г., Кириенко А.И. Флебология сегодня. *Анналы хирургии.* 2016; 21 (1–2): 19–25. DOI: 10.18821/1560-9502-2016-21-1-19-25

REFERENCES

1. Boné-Salat C. Tratamiento endoluminal de las varices con laser de diodo. *Patologia Vascular.* 1999; 1: 32–39.
2. Elizefzaf N., Elfeky M.A., Elshatlawy K.M., Abdelal A., Elhendawy A., Ahmed A., Nada M., Ouf T. Evaluation of Endovenous Laser Ablation in the Management of Varicose Veins. *Cureus.* 2023 Sep 12; 15 (9). e45096. PMID: 37842441; PMCID: PMC10569145. DOI: 10.7759/cureus.45096
3. Fayyaz F., Vaghani V., Ekhatior C., Abdullah M., Alsubari R.A., Daher O.A., Bakht D., Batat H., Arif H., Bellegarde S.B., Bisharat P., Faizullah M. Advancements in Varicose Vein Treatment: Anatomy, Pathophysiology, Minimally Invasive Techniques, Sclerotherapy, Patient Satisfaction, and Future Directions. *Cureus.* 2024 Jan 10; 16 (1). e51990. PMID: 38344644; PMCID: PMC10853729. DOI: 10.7759/cureus.51990
4. Shrestha O., Basukala S., Thapa N., Karki S., Pant P., Paudel S. Endovenous laser ablation versus conventional surgery (ligation and stripping) for primary great saphenous varicose vein: a systematic review and meta-analysis. *Ann Med Surg (Lond).* 2023 Jul 25; 5 (9): 4509–4519. PMID: 37663729; PMCID: PMC10473384. DOI: 10.1097/MS9.0000000000001095
5. Baram A., Rashid D.F., Saqat B.H. Non-randomized comparative study of three methods for great saphenous vein ablation associated with mini-phlebectomy; 48 months clinical and sonographic outcome. *Ann Med Surg (Lond).* 2022 Jul 2; 80: 104036. PMID: 35846854; PMCID: PMC9283499. DOI: 10.1016/j.amsu.2022.104036
6. Epstein D., Bootun R., Diop M., Ortega-Ortega M., Lane T.R.A., Davies A.H. Cost-effectiveness analysis of current varicose veins treatments. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord.* 2022 Mar.; 10 (2): 504–513.e7. Epub 2021 Aug 25. PMID: 34450353. DOI: 10.1016/j.jvsv.2021.05.014
7. Gao R.D., Qian S.Y., Wang H.H., Liu Y.S., Ren S.Y. Strategies and challenges in treatment of varicose veins and venous insufficiency. *World J Clin Cases.* 2022 Jun 26; 10 (18): 5946–5956. PMID: 35949828; PMCID: PMC9254182. DOI: 10.12998/wjcc.v10.i18.5946
8. Vuylsteke M.E., Mordon S.R. Endovenous laser ablation: a review of mechanisms of action. *Ann Vasc Surg.* 2012; 26: 424–433. DOI: 10.1016/j.avsg.2011.05.037. (11)
9. Neumann H.A., van Gemert M.J. Ins and outs of endovenous laser ablation: afterthoughts. *Lasers Med Sci.* 2014 Mar.; 29 (2): 513–518. Epub 2014 Jan 8. PMID: 24399461; PMCID: PMC3953605. DOI: 10.1007/s10103-013-1499-7.
10. van den Bos R., Arends L., Kockaert M., Neumann M., Nijsten T. Endovenous therapies of lower extremity varicosities: a meta-analysis. *J Vasc Surg.* 2009; 49: 230–239. DOI: 10.1016/j.jvs.2008.06.030
11. van Gemert M.J.C., van der Geld C.W.M., Bruijninx C.M.A., Verdaasdonk R.M., Neumann H.A.M. Endovenous laser ablation: a review of mechanisms of action. *Ann Vasc Surg.* 2012; 26: 424–433.
12. Navarro L., Navarro N., Salat C.B., Gomez J.F., Min R.J. Endovascular laser device and treatment of varicose veins. US 6,398,777 B1; patent filed in 1999, granted in 2002.
13. Mordon S.R., Wassmer B., Zemmouri J. Mathematical modeling of 980-nm and 1320-nm endovenous laser treatment. *Lasers Surg Med.* 2007; 39: 256–265. DOI: 10.1002/lsm.20476.
14. van Ruijven P.W.M., Poluektova A.A., van Gemert M.J.C., Neumann H.A.M., Nijsten T., van der Geld C.W.M. van Ruijven P.W.M., Poluektova A.A., van Gemert M.J.C., Neumann H.A.M., Nijsten T., van der Geld C.W.M. Optical-thermal mathematical model for endovenous laser ablation of varicose veins. *Lasers Med Sci.* 2014 Mar.; 29 (2): 431–4399. Epub 2013 Oct 9. PMID: 24105397. DOI: 10.1007/s10103-013-1451-x
15. Fan C.M., Anderson R.R. Endovenous laser ablation: mechanism of action. *Phlebology.* 2008; 23: 206–213. DOI: 10.1258/phleb.2008.008049
16. Disselhoff B.C.V.M., Rem A.I., Verdaasdonk R.M., der Kinderen D.J., Moll F.L. Endovenous laser ablation: an experimental study on the mechanism of action. *Phlebology.* 2008; 23: 69–76.
17. Amzayyb M., van den Bos R.R., Kodach V.M., de Bruin D.M., Nijsten T., Neumann H.A.M., van Gemert M.J.C. Carbonized blood deposited on fibres during 810, 940 and 1,470 nm endovenous laser ablation: thickness and absorption by optical coherence tomography. *Lasers Med Sci.* 2010; 25: 439–447.
18. van den Bos R.R., Kockaert M.A., Neumann H.A.M., Bremmer R.H., Nijsten T., van Gemert M.J.C. Heat conduction from the exceedingly hot fiber tip contributes to the endovenous laser ablation of varicose veins. *Lasers Med Sci.* 2009. 24: 247–251.
19. Poluektova A.A., Malskat W.S.J., van Gemert M.J.C., Vuylsteke M.E., Bruijninx C.M.A., Neumann H.A.M., van der Geld C.W.M. Some controversies in Endovenous Laser Ablation of varicose veins addressed by optical-thermal mathematical modeling. *Lasers Med Sci.* 2014 Mar.; 29 (2): 441–452. Epub 2013 Oct 9. PMID: 24105396. DOI: 10.1007/s10103-013-1450-y
20. Vuylsteke M.E., Martinelli T., Van Dorpe J., Roelens J., Mordon S., Fourneau I. Endovenous laser ablation: the role of intraluminal blood. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2011; 42: 120–126. DOI: 10.1016/j.ejvs.2011.03.017
21. Belyaev A.N., Chabushkin A.N., Khrushchalina S.A. et al. Investigation of endovenous laser ablation of varicose veins in vitro using 1.885-μm laser radiation. *Lasers Med Sci.* 2016; 31: 503–510. DOI: 10.1007/s10103-016-1877-z

22. Malskat W.S.J., Poluektova A.A., van der Geld C.W.M. et al. Endovenous laser ablation (EVLA): a review of mechanisms, modeling outcomes, and issues for debate. *Lasers Med Sci.* 2014; 29: 393–403. DOI: 10.1007/s10103-013-1480-5
23. Weiss R.A. Comparison of endovenous radiofrequency versus 810 nm diode laser occlusion of large veins in an animal model. *Dermatol Surg.* 2002 Jan. 28 (1): 56–61.
24. Proebstle T.M., Sandhofer M., Kargl A., Gul D., Rother W., Knop J., et al. Thermal damage of the inner vein wall during endovenous laser treatment: key role of energy absorption by intravascular blood. *Dermatol Surg.* 2002 Jul. 28 (7): 596–600.
25. Shaïdakov E.V., Bulatov V.L., Iliukhin E.A., Son'kin I.N., Grigorian A.G., Gal'chenko M.I. Optimal regimes of endovenous laser obliteration at the wavelengths of 970, 1470, and 1560 nm: the multicenter retrospective longitudinal cohort study. *Journal of Venous Disorders.* 2013; 7 (1): 22–29. (In Russ.).
26. Malskat W.S.J., Giang G., De Maeseneer M.G.R., Nijsten T.E.C., van der Bos R.R. Randomized clinical trial of 940-versus 1470-nm endovenous laser ablation for great saphenous vein incompetence. *Br J Surg.* 2016 Feb.; 103 (3): 192–198. Epub 2015 Dec 14. DOI: 10.1002/bjs.10035
27. Mendes-Pinto D., Bastianetto P., Cavalcanti Braga Lyra L., Kikuchi R., Kabnick L. Endovenous laser ablation of the great saphenous vein Comparing 1920-nm and 1470-nm diode laser. *Int Angiology.* 2016; 35: 599–604.
28. Viarengo L.M.A., Viarengo G., Martins A.M., Mancini M.W., Lopes L.A. Medium and long-term outcomes of endovenous treatment of varicose veins with a 1940 nm diode laser: critical analysis and technical considerations Chudnovskii V., Aleksandr Mayor, Artem Kiselev, Vladimir Yusupov. Cite as Foaming of blood in endovenous laser treatment. *Lasers in Medical Science.* 2018; 33 (8): 1821–1826. DOI: 10.1590/1677-5449.010116
29. Park I. Initial outcomes of endovenous laser ablation with 1940nm diode laser in the treatment of incompetent saphenous veins. *Vascular.* 2019 Feb.; 27 (1): 27–32. DOI: 10.1177/1708538118797860
30. Bianchi P.G., Martinelli F., Quarto G., Palombi L. The evolution of endovenous laser ablation (EVLA). A single-center experience with a 1470 nm versus a 1940 nm diode laser. *Ann Ital Chir.* 2022; 93: 578–583. PMID: 36254762.
31. Whiteley M.S. Endovenous Laser Ablation (EVLA) for Treatment of Varicose Veins: A Comparison of EVLA with 1470 nm and 1940 nm Lasers. *Surg Technol Int.* 2022 May 19; 40: 281–286. PMID: 35415834. DOI: 10.52198/22.STI.40.CV1565
32. Cavallini A. Endovenous laser treatment of saphenous veins: is there clinical difference using different endovenous laser wavelengths? *Int Angiol.* 2015 Feb.; 34 (1): 1–8.
33. Pavei P., Spreafico G., Bernardi E., Giraldi E., Ferrini M. Favorable long-term results of endovenous laser ablation of great and small saphenous vein incompetence with a 1470-nm laser and radial fiber. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord.* 2021; 9: 352–360.
34. Teter K.A., Kabnick L.S., Sadek M. Endovenous laser ablation: A comprehensive review. *Phlebology.* 2020 Oct.; 35 (9): 656–662. DOI: 10.1177/0268355520937619
35. Schwarz T., von Hodenberg E., Furtwängler C., Rastan A., Zeller T., Neumann F.J. Endovenous laser ablation of varicose veins with the 1470-nm diode laser. *J Vasc Surg.* 2010 Jun.; 51 (6): 1474–1478. DOI: 10.1016/j.jvs.2010.01.027
36. Pavei P., Spreafico G., Bernardi E., Giraldi E., Ferrini M. Favorable long-term results of endovenous laser ablation of great and small saphenous vein incompetence with a 1470-nm laser and radial fiber. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord.* 2021 Mar.; 9 (2): 352–360. DOI: 10.1016/j.jvs.2020.06.015
37. Hirokawa M., Kurihara N. Comparison of Bare-Tip and Radial Fiber in Endovenous Laser Ablation with 1470 nm Diode Laser. *Ann Vasc Dis.* 2014; 7 (3): 239–45. DOI: 10.3400/avd.oa.14-00081
38. Disselhoff B.C.V.M., der Kinderen D.J. Twenty Years' Experience with Endovenous Laser Ablation for Varicose Veins: A Critical Appraisal of the Original Procedure. *Surg Technol Int.* 2021 Jun 28; 39: 267–271. DOI: 10.52198/21.STI.39.CV1453
39. Artemov S.A., Belyaev A.N., Bushukina O.S., Khrushchalina S.A., Kostin S.V., Lyapin A.A., Ryabochkina P.A., Taratynova A.D. Optimization of endovenous laser coagulation: *in vivo* experiments. *Lasers Med Sci.* 2020 Jun; 35 (4): 867–875. DOI: 10.1007/s10103-019-02874-6
40. Hartmann K., Gholam P., Dietrich C., Fink C. Efficacy and safety of endovenous laser ablation with the 1470 nm diode laser using a novel optical probe. *Int J Med Sci.* 2022 Mar 28; 19 (4): 695–700. PMID: 35582422; PMCID: PMC9108407. DOI: 10.7150/ijms.70916
41. Rajendran S., Nair H.R. Endovenous laser ablation of incompetent great saphenous veins with 1470-nm laser using bare tip and radial fibers results in similar short-term outcomes. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord.* 2021 Sep; 9 (5): 1209–1214. Epub 2020 Dec 16. PMID: 33340731. DOI: 10.1016/j.jvs.2020.12.069
42. Arslan Ü., Çalık E., Tort M., Yıldız Z., Tekin A.İ., Limandal H.K., Kaygın M.A., Dağ Ö., Erkut B. More Successful Results with Less Energy in Endovenous Laser Ablation Treatment: Long-term Comparison of Bare-tip Fiber 980 nm Laser and Radial-tip Fiber 1470 nm Laser Application. *Ann Vasc Surg.* 2017 Nov; 45: 166–172. Epub 2017 Jun 21. PMID: 28647634. DOI: 10.1016/j.avsg.2017.06.042
43. Abud B., Kunt A.G. Midterm varicose vein recurrence rates after endovenous laser ablation: comparison of radial fibre and bare fibre tips. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2021 Jan 1; 32 (1): 77–82. PMID: 33212479; PMCID: PMC8906712. DOI: 10.1093/icvts/ivaa219
44. Navarro L., Navarro N., Boné-Salat C., Fructuoso-Gomez J., Min R.J. Endovascular laser device and treatment of varicose veins. *United States Patent.* 2002, US 6,398,777 B1; patent filed in 1999, date of patent: June 4 [Ref list].
45. Fan C.M., Rox-Anderson R. Endovenous laser ablation: mechanism of action. *Phlebology.* 2008; 23 (5): 206–13. PMID: 18806202. DOI: 10.1258/phleb.2008.008049
46. Shevchenko Iu.L., Stojko Yu.M., Mazaishvili K.V., Khlevtova T.V. Mechanism of endovascular laser obliteration: a novel view. *Journal of Venous Disorders.* 2011; 5 (1): 46–50. (In Russ.).
47. Belyaev A.N., Ryabochkina P.A., Kostin S.V., Bushukina O.S., Khrushchalina S.A., Belyaev S.A. Vein wall changes after 1910 nm laser coagulation with bare-fiber and radial fiber. *Journal of Venous Disorders.* 2021; 15 (3): 154–161. (In Russ.) DOI: 10.17116/flebo202115031154

48. Thomsen S., Pearce J.A. Thermal damage and rate processes in biologic tissues. In: Welch AJ, van Gemert MJC (eds). Optical-thermal response of laser-irradiated tissue. - 2nd edn. Springer, Dordrecht. Chapter 13: 497.
49. Belyaev A.N., Kuznetsova O.A., Lyapin A.N., Ryabochkina P.A., Khrushchalina S.A., Chabushkin A.N. The Influence of the Carbonized Layer at the End Face of the Light-Guide on the Results of Endovenous Laser Ablation of Varicose Veins. *Journal of Venous Disorders*. 2016; 10 (2): 80–85. (In Russ.). DOI: 10.17116/flebo201610280-85
50. Amzayyb M., van den Bos R.R., Kodach V.M., de Bruin D.M., Nijsten T., Neumann H.A.M., van Gemert M.J.C. Carbonized blood deposited on fibres during 810, 940 and 1,470 nm endovenous laser ablation: thickness and absorption by optical coherence tomography. *Lasers Med Sci*. 2010; 25: 439–447.
51. Verdaasdonk R.M., Holstege F.C., Jansen E.D., Borst C. Temperature along the surface of modified fiber tips for Nd:YAG laser angioplasty. *Lasers Surg Med*. 1991;11: 213–222. DOI: 10.1002/lsm.1900110304
52. Meissner O.A., Schmedt C.G., Hunger K., Hetterich H., Sroka R., Rieber J., Babaryka G., Steckmeier B.M., Reiser M., Siebert U., Mueller-Lisse U. Endovascular optical coherence tomography ex vivo: venous wall anatomy and tissue alterations after endovenous therapy. *Eur Radiol*. 2007; 17: 2384–2393. DOI: 10.1007/s00330-007-0593-2
53. Proebstle T.M., Lehr H.A., Kargl A., Espinola-Klein C., Rothner W., Bethge S., Knop J. Endovenous treatment of the greater saphenous vein with a 940-nm diode laser: thrombotic occlusion after endoluminal thermal damage by laser-generated steam bubbles. *J Vasc Surg*. 2002; 35: 729–736. DOI: 10.1067/mva.2002.121132
54. van der Geld C.W.M., van den Bos R.R., van Ruijven P.W.M., Nijsten T., Neumann H.A.M., van Gemert M.J.C. The heat-pipe resembling action of boiling bubbles in endovenous laser ablation. *Lasers Med Sci*. 2010; 25: 907–909. DOI: 10.1007/s10103-010-0780-2
55. Chudnovskii V., Mayor A., Kiselev A. et al. Foaming of blood in endovenous laser treatment. *Lasers Med Sci*. 2018; 33: 1821–1826. DOI: 10.1007/s10103-018-2552-3
56. Chudnovsky V.M., Makhovskaya T.G., Mayor A.Y., Yusupov V.I., Nevozhai V.I., Kiselyov A.Y., Shikina I.B. The Role of Blood Foaming in the Mechanism of Endovascular Laser Ablation. *Journal of Venous Disorders*. 2018; 12 (4): 261–269. (In Russ.). DOI: 10.17116/flebo201812041261
57. Minaev V.P., Minaev N.V., Bogachev V.Y., Kaperiz K.A., Yusupov V.I. Endovenous laser coagulation: asymmetrical heat transfer (modeling in water). *Lasers Med Sci*. 2021 Oct; 36 (8): 1599–1608. Epub 2020 Nov 7. PMID: 33159310. DOI: 10.1007/s10103-020-03184-y
58. Heger M., van Golen R.F., Broekgaarden M., van den Bos R.R., Neumann H.A.M., van Gulik T.M., van Gemert M.J.C. The role of thermal coagula, thrombosis, cell death, and vascular wall damage in the removal of varicose veins following endovenous laser therapy. *Lasers Med Sci*. 2014 Mar; 29 (2): 405–422. PMID: 24232911. DOI: 10.1007/s10103-013-1490-3
59. van Ruijven P.W.M., Poluektova A.A., van Gemert M.J.C., Neumann H.A.M., Nijsten T., van der Geld C.W.M. Optical-thermal mathematical model for endovenous laser ablation of varicose veins. *Lasers Med Sci*. 2014; 29 (2): 431–439. Epub 2013 Oct 9. PMID: 24105397. DOI: 10.1007/s10103-013-1451-x
60. Palombi L., Morelli M., Bruzzese D., Quarto G. Third generation of laser (>1900) for endovenous thermoablation (EVLA) of varicose veins: A systematic review and meta-analysis. *Phlebology*. 2024 Jan; 10: 2683555241227017. Epub ahead of print. PMID: 38199976. DOI: 10.1177/02683555241227017
61. Setia A., Schmedt C.G., Beisswenger A., Dikic S., Demhasaj S., Setia O., Schmitz-Rixen T., Sroka R. Safety and efficacy of endovenous laser ablation (EVLA) using 1940nm and radial emitting fiber: 3-year results of a prospective, non-randomized study and comparison with 1470nm. *Lasers Surg Med*. 2022 Apr; 54 (4): 511–522. Epub 2021 Dec 5. PMID: 34865236. DOI: 10.1002/lsm.23500
62. Setia A., Schmedt C.G., Sroka R. Endovenous laser ablation using laser systems emitting at wavelengths > 1900 nm: a systematic review. *Lasers Med Sci*. 2022 Dec; 37 (9): 3473–3483. Epub 2022 Jul 12. PMID: 35819662. DOI: 10.1007/s10103-022-03609-w
63. Fabián V., Honěk J., Horváth V., Horváth M., Šlais M., Vítovec M., Stehno O., Šedivý P., Šebesta P., Weiss J., Honěk T. Endovenous laser ablation of saphenous veins – favorable clinical results confirm theoretical advantages of the 1940 nm diode laser. *Rozhl Chir*. 2022; 101 (8): 395–400. English. PMID: 36208935. DOI: 10.33699/PIS.2022.101.8.395-400
64. Keo H.H., Somma C., Regli C., Staub D., Diehm N., Lindenberg J., Gaehwiler R., Uthoff H. Safety, feasibility, and early efficacy of the water-specific 1940-nm laser wavelength for ablation of saphenous incompetence. *J Vasc Surg Cases Innov Tech*. 2023 Feb 14; 9 (2): 101125. PMID: 37427036; PMCID: PMC10323407. DOI: 10.1016/j.jvscit.2023.101125
65. Artemov S.A., Belyaev A.N., Bushukina O.S., Khrushchalina S.A., Kostin S.V., Lyapin A.A., Ryabochkina P.A., Taratynova A.D. Morphological changes of veins and perivenous tissues during endovenous laser coagulation using 2-μm laser radiation and various types of optical fibers. *J. Vasc. Surg. Venous Lymphat. Disord*. 2021; 10: 749–757. DOI: 10.1016/j.jvsv.2021.08.018
66. Borsuk D.A., Fokin A.A., Lobastov K.V., Tauraginskii R.A., Zhdanov K.O., Zolotov A.V., Arkhipov I.S., Galchenko M.I. A randomized clinical trial to assess the impact of laser power with constant linear endovenous energy density on outcomes of endovenous laser ablation (SLEDGE trial). *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord*. 2023 Sep; 11 (5): 946–953. Epub 2023 May 11. PMID: 37172934. DOI: 10.1016/j.jvsv.2023.03.020
67. Mazayshvili K., Akimov S. Early complications of endovenous laser ablation. *Int Angiol*. 2019 Apr. 38(2): 96–101. Epub 2019 Feb 22. PMID: 30810002. DOI: 10.23736/S0392-9590.19.04097-5
68. Yusupov V., Chudnovskii V. The origin of loud claps during endovenous laser treatments. *J Acoust Soc Am*. 2023 Mar; 153(3): 1525. PMID: 37002106. DOI: 10.1121/10.0017436
69. Artemov S.A., Belyaev A.N., Bushukina O.S., Davydkin V.I., Khrushchalina S.A., Kostin S.V., Ryabochkina P.A., Taratynova A.D. Transformational features of the vein wall during a long-term period of endovenous laser ablation using 1910 nm laser radiation. Results of in vivo experiments. *Int Angiol*. 2023 Aug; 42 (4): 362–370. Epub 2023 Jul 20. PMID: 37475589. DOI: 10.23736/S0392-9590.23.05013-7

70. Zolotukhin I.A., Gavrilov S.G., Kirienko A.I. Phlebology today. *Annaly khirurgii (Annals of Surgery, Russian journal)*. 2016; 21 (1–2): 19–25. (In Russ.). DOI: 10.18821/1560-9502-2016-21-1-19-25

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Сведения об авторах

Беляев Александр Назарович – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой общей хирургии имени профессора Н.И. Атясова

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0698-3007>

Костин Сергей Владимирович – кандидат медицинских наук, доцент кафедры общей хирургии имени профессора Н.И. Атясова ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2549-1021>

Information about the authors

Alexander N. Belyaev – Dr. Sci. (Med.), Prof., head of the department of general surgery named after Prof. N.I. Atyasov, Ogarev Mordovian National Research State University; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0698-3007>

Sergey V. Kostin – Cand. Sci. (Med.), Assoc. Prof. at the department of general surgery named after Prof. N.I. Atyasov, Ogarev Mordovian National Research State University; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2549-1021>