

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА ВЕНЫ В ПРОЦЕССЕ ЭНДОВЕНОЗНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБЛИТЕРАЦИИ *IN VITRO*\*

А.С. Борде

aenea.doerb@mail.ru

SPIN-код: 1122-8632

Н.В. Беликов

aneox@list.ru

SPIN-код: 6876-9521

Д.Ю. Соколова

whyclos@mail.ru

SPIN-код: 8866-4186

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

Рассмотрен процесс нагрева вены в процессе ультразвуковой облитерации. Проведено экспериментальное исследование двух режимов ультразвуковой облитерации *in vitro*, включающее регистрацию распределения температурного поля на внешней поверхности венозной стенки и оценку степени сокращения венозного просвета. Установлено, что нагрев до температуры 98,55 °С в зоне контакта ультразвукового инструмента с венозной стенкой приводит к ее перфорации и препятствует дальнейшему сокращению венозного просвета. Сделаны выводы о возможности устранения данного нежелательного эффекта путем увеличения скорости перемещения ультразвукового инструмента, что также положительно сказывается на сокращении времени процесса облитерации.

### Ключевые слова

Варикозная болезнь вен нижних конечностей, эндовенозная облитерация, ультразвуковая хирургия, теплоперенос, ультразвуковой инструмент, амплитуда колебаний, температурное поле, перфорация сосудистой стенки

Поступила в редакцию 26.07.2021

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021

---

**Введение.** Варикозная болезнь вен нижних конечностей (ВБНК, МКБ-10: I83) является распространенной во всем мире сосудистой патологией, лечение которой требует хирургического вмешательства [1]. С начала 90-х годов прошлого века в структуре лечения ВБНК прослеживается тенденция увеличения доли операций с использованием малоинвазивных методов [2]. К таким методам относятся процедуры, приводящие к закрытию просвета патологической вены с помощью теплового воздействия, — эндовенозная лазерная облитерация (ЭВЛО) и радиочастотная облитерация (ЭРЧО), или химического воздействия — склерооблитерация в жидкой или пенной форме.

Методы тепловой облитерации основаны на введении в просвет вены специального катетера (катетера-электрода в случае ЭРЧО или волоконно-

---

\* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-38-90028-Аспиранты.

оптического световода в случае ЭВЛО) с последующим извлечением катетера при подаче через него энергии от радиочастотного или лазерного генератора. Результаты рандомизированных клинических исследований ЭРЧО и ЭВЛО показывают успешное закрытие просвета большой подкожной вены (БПВ) в 85...95 % случаев [3, 4].

Процессы, вызывающие облитерацию просвета вены вследствие теплового воздействия, включают денатурацию коллагена венозной стенки, приводящую к сокращению коллагеновых волокон, некротическим изменениям структур венозной стенки и, как следствие, уменьшению венозного просвета. Протекание данных процессов обеспечивается, когда внутренняя оболочка (интима) венозной стенки нагревается до температуры денатурации коллагеновых волокон в течение контролируемого периода времени равномерно по всей окружности просвета сосуда [5]. Тем не менее ряд авторов [6–8] отмечают значительную неравномерность теплового повреждения венозной стенки, вызванного лазерным или радиочастотным воздействием, что является основной причиной рецидивов ВБНК. Кроме того, методы тепловой облитерации сопряжены с потенциальными рисками теплового повреждения окружающих сосудов тканей и перфорации сосудистой стенки в случае ЭВЛО из-за высоких температур вблизи излучающей поверхности оптического волокна [9–11].

В настоящее время различные научные коллективы проводят исследования, направленные на улучшение долгосрочных результатов тепловой облитерации подкожных вен нижних конечностей и на создание новых методов лечения ВБНК, основанных на различных физических механизмах воздействия на стенки варикозных вен. Перспективным методом эндовенозного лечения ВБНК является облитерация с использованием внутрисосудистого низкочастотного ультразвукового воздействия [12]. Для определения наиболее эффективных параметров воздействия при ультразвуковой облитерации, обеспечивающих равномерную тепловую деструкцию подкожных вен нижних конечностей, необходимо исследовать степень их влияния на нагрев венозной стенки. С этой целью был разработан стенд и проведены экспериментальные исследования нагрева вены в процессе ультразвуковой облитерации.

**Материалы и методы.** Исследование нагрева венозной стенки в процессе ультразвуковой облитерации было проведено на пяти образцах большой подкожной вены (БПВ), пораженной варикозом, извлеченных при сафенэктомии у пациента женского пола в возрасте 56 лет. Образцы были подготовлены в форме цилиндров и испытаны в течение 24 ч после изъятия.

Для экспериментального исследования режимов ультразвуковой облитерации был разработан стенд, схема которого представлена на рис. 1. Стенд выполнен на основе испытательной машины INSTRON 3365 (США), ультразвукового хирургического аппарата «ФОТЕК» АСТИТОН-А (Россия), тепловизора FLIR SC7000 (США), видеокамеры Sony HDR-PJ240E и специальной оснастки для крепления цилиндрического сегмента венозного сосуда.

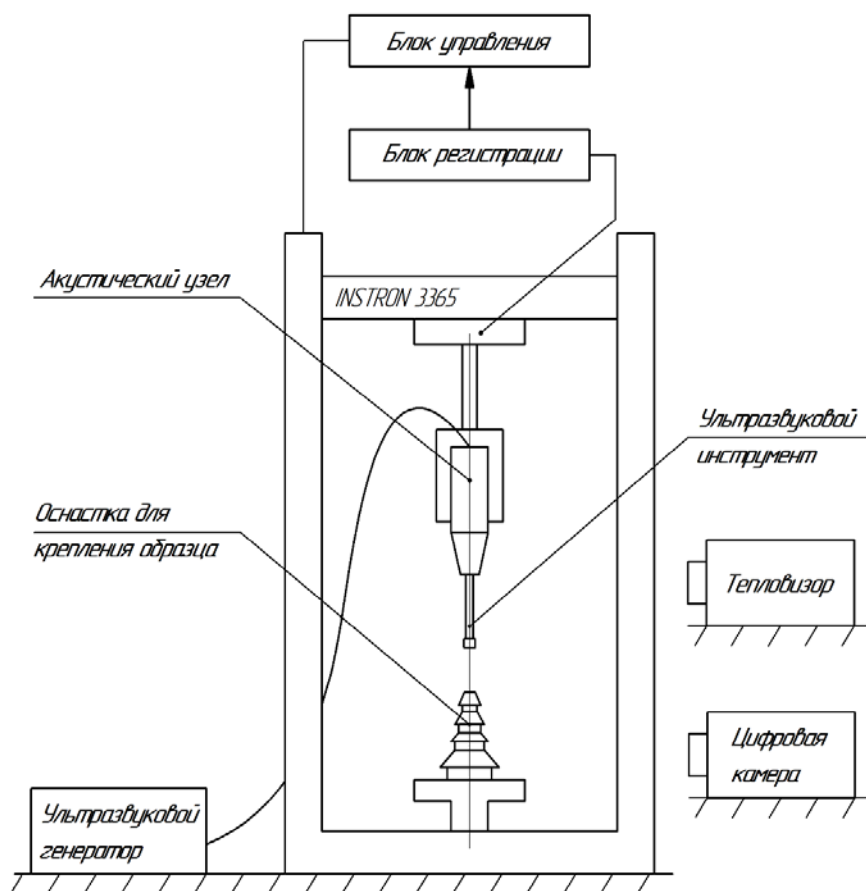


Рис. 1. Схема стенда для экспериментального исследования режимов ультразвуковой облитерации

Для исследования режимов ультразвуковой облитерации использованы сменные ультразвуковые инструменты из комплекта аппарата «ФОТЕК» АСТИТОН-А с рабочими окончаниями двух типов:

- 1) в форме цилиндра диаметром 4 мм и высотой 4 мм (рис. 2, а [13]);
- 2) в форме лопатки высотой 4 мм и сечением прямоугольной формы 6×4 мм (рис. 2, б [13]).

Рабочие окончания использованных инструментов были модифицированы путем скругления острых кромок. Амплитуду колебаний рабочего окончания инструментов определяли с помощью микроскопа Bresser Advance ICD и цифровой камеры Levenhuk M1400 PLUS согласно методике, описанной в [14].

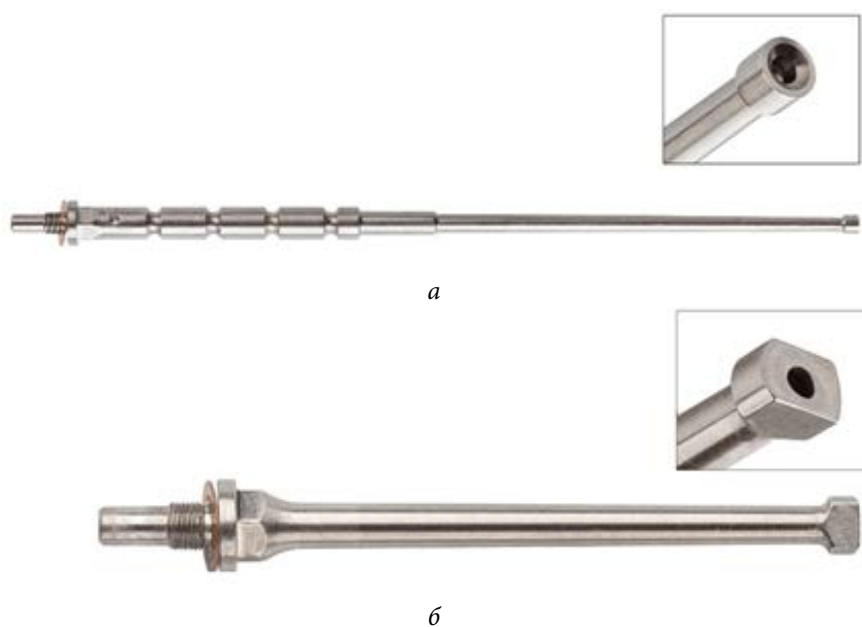
Эксперимент проводили следующим образом:

- 1) цилиндрический образец вены устанавливали на оснастке, представляющей собой штучер и расположенной на неподвижной траверсе испытательной машины INSTRON 3365;
- 2) ультразвуковой акустический узел в сборе с ультразвуковым инструментом закрепляли на подвижной траверсе испытательной машины INSTRON 3365

и с помощью блока управления испытательной машины вводили внутрь образца вены до положения, когда рабочее окончание ультразвукового инструмента достигало нижнего основания свободной, выступающей над штуцером части образца вены;

3) в момент включения ультразвукового аппарата с помощью универсальной испытательной машины INSTRON 3365 начиналось перемещение ультразвукового акустического узла с заданной скоростью, при этом ультразвуковой инструмент перемещался от нижнего основания свободной части образца вены к его верхнему основанию;

4) в момент достижения рабочим окончанием ультразвукового инструмента верхнего основания свободной части образца вены происходило выключение ультразвукового аппарата и процесс облитерации считали завершенным.



**Рис. 2.** Сменные инструменты из комплекта аппарата «ФОТЕК» АСТИТОН-А с рабочими окончаниями в форме:

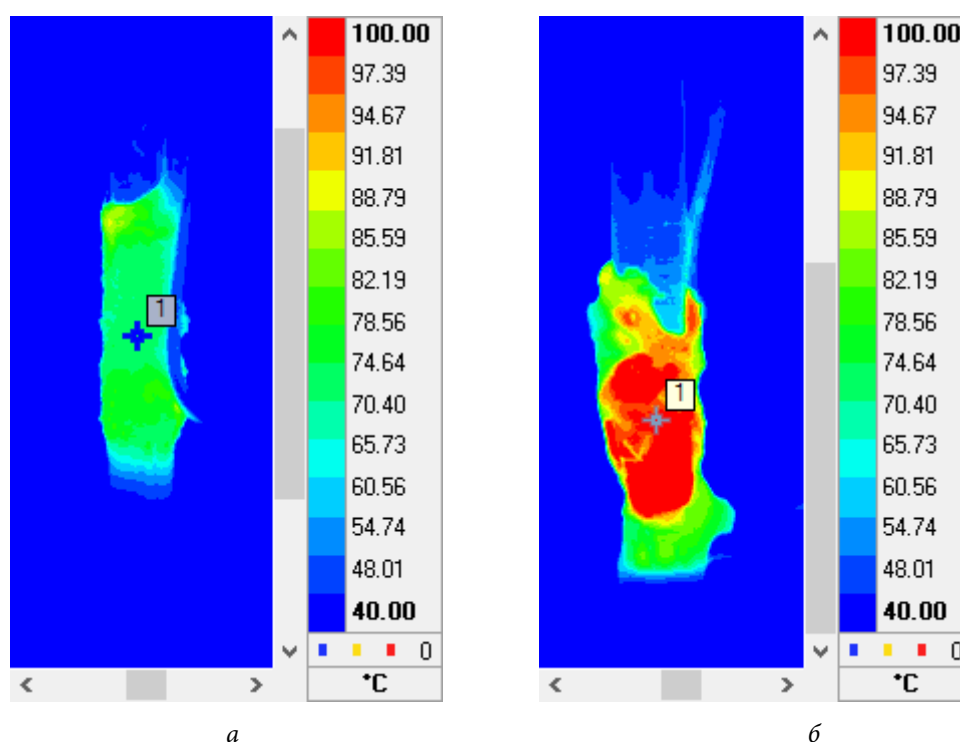
*a* — цилиндра; *б* — лопатки

В процессе перемещения ультразвукового инструмента внутри образца вены в каждый момент времени регистрировали его положение. На протяжении всего воздействия регистрировали температуру на внешней поверхности образца вены с помощью тепловизора, а также видеоизображение процесса облитерации в плоскости, параллельной продольному направлению цилиндрического образца вены, для дальнейшего анализа изменения его диаметра. Описание исследованных режимов ультразвуковой облитерации представлено в табл. 1. Все испытания проводили при температуре  $23 \pm 2$  °С.

**Параметры воздействия исследованных режимов ультразвуковой облитерации**

Режим	Форма рабочего окончания	Амплитуда ультразвуковых колебаний, мкм	Скорость перемещения инструмента, мм/с	Количество испытанных образцов
1	цилиндр	51	0,3	3
2	лопатка	56	0,3	2

**Результаты.** Вид регистрируемого тепловизором распределения температурного поля на внешней поверхности образца вены в момент достижения максимальной температуры в центральной точке на плоскости проекции образца для двух исследованных режимов ультразвуковой облитерации представлен на рис. 3.

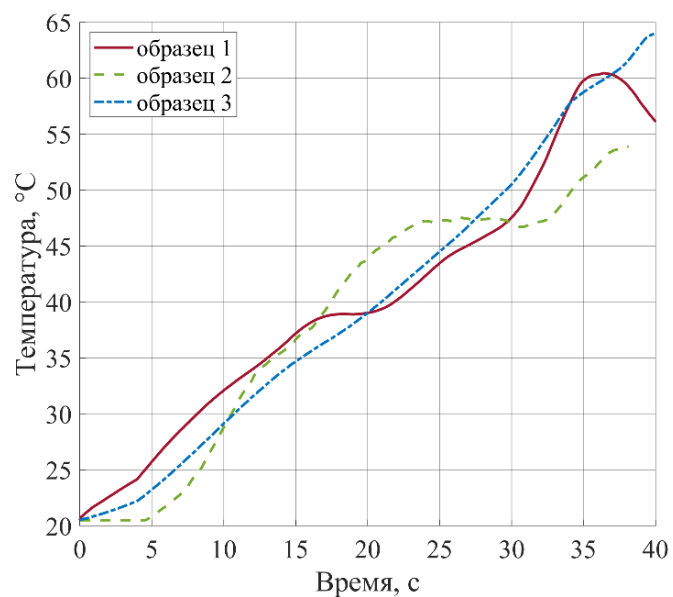


**Рис. 3.** Распределение температурного поля на внешней поверхности образца вены в процессе ультразвуковой облитерации:

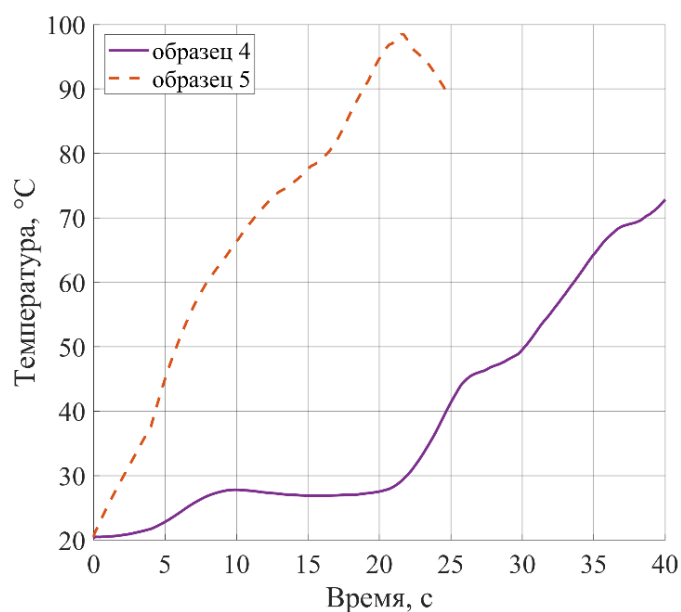
*а* — в режиме 1; *б* — в режиме 2; точка с индексом 1 соответствует центральной точке на плоскости проекции образца

При проведении воздействия в режиме 1 (рис. 3, *а*) образец демонстрирует равномерный нагрев вдоль всей внешней поверхности (в среднем до 59,50 °С), в то время как в режиме 2 (рис. 3, *б*) наблюдается чрезмерный нагрев в зоне контакта рабочего окончания с венозной стенкой, приводящий к ее перфорации. Зависимости температуры от времени в центральных точках, отмеченных

на рис. 3, представлены на рис. 4. Данные были сглажены фильтром скользящего среднего с окном усреднения 4 с.



а



б

**Рис. 4.** Зависимости температуры от времени в центральных точках на плоскости проекции образцов вен:

а — в режиме 1 (рабочее окончание в форме цилиндра с амплитудой 51 мкм);

б — в режиме 2 (рабочее окончание в форме лопатки с амплитудой 56 мкм)

Увеличение скорости роста температуры в процессе ультразвуковой облитерации в режиме 2 (рис. 4, б) относительно режима 1 (рис. 4, а) обусловлено увеличением ультразвуковой мощности в результате роста амплитуды колебаний, а также увеличением площади поверхности контакта рабочего окончания ультразвукового инструмента с венозной стенкой. Быстрый рост температуры (свыше 3 °С/с, рис. 4, б, образец 5) может приводить к нежелательным эффектам, таким как перфорация сосудистой стенки, что наблюдалось для образца 5. В ряде исследований [7, 11, 15] было показано, что при неизменной мощности воздействия в процессе облитерации скорость нагрева венозной стенки находится в обратной зависимости от скорости перемещения катетера, доставляющего энергию лазерного или радиочастотного излучения. Таким образом, возможным решением проблемы чрезмерного нагрева вены в процессе ее облитерации является контроль скорости перемещения ультразвукового инструмента.

Сокращение просвета образца вены после ультразвукового воздействия (степень облитерации) определяли по изображениям, полученным с видеокamеры, по формуле

$$K = \frac{D_0 - D_1}{D_0} \times 100\%, \quad (1)$$

где  $K$  — степень облитерации;  $D_0$  — внешний диаметр образца вены до воздействия;  $D_1$  — внешний диаметр образца вены после воздействия.

Степень облитерации определяли в ПО MATLAB путем усреднения результатов измерений внешнего диаметра образца вены до и после воздействий в 10 поперечных сечениях для каждого образца. Полученные значения степени облитерации, а также максимальная температура на внешней поверхности вены в процессе облитерации для каждого испытанного образца представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты экспериментального исследования ультразвуковой облитерации**

Номер образца	Режим воздействия	Максимальная температура на внешней поверхности, °С	Степень облитерации, % (среднее ± 2×СКО)	Примечания
1	1	60,44	10,29 ± 3,95	—
2	1	53,90	—	Низкое качество видеоизображения
3	1	64,03	31,13 ± 2,50	—
4	2	72,63	33,00 ± 5,04	—
5	2	98,55	29,89 ± 4,27	Перфорация стенки

**Выводы.** Распределение температурного поля в венозной стенке в процессе ультразвуковой облитерации зависит от таких параметров воздействия, как ультразвуковая мощность, определяемая амплитудой и частотой ультразвуковых колебаний, скорость перемещения ультразвукового инструмента, площадь по-

верхности контакта или величина зазора при отсутствии прямого контакта между рабочим окончанием ультразвукового инструмента и венозной стенкой, теплопроводность материала рабочего окончания ультразвукового инструмента.

В данном исследовании варьируемыми параметрами воздействия являлись амплитуда ультразвуковых колебаний и площадь поверхности контакта между рабочим окончанием и венозной стенкой, при этом скорость перемещения ультразвукового инструмента в двух исследованных режимах воздействия была выбрана одинаковой.

Согласно результатам исследования, степень облитерации увеличивается с ростом температуры, однако локальные ожоги, приводящие к перфорации сосудистой стенки, напротив, препятствуют сокращению венозного просвета, как в случае образца 5. Полученные результаты позволяют выдвинуть предположение о том, что при использовании ультразвуковых инструментов с большой площадью поверхности рабочего окончания возможно сокращение времени облитерации вены благодаря увеличению скорости перемещения ультразвукового инструмента.

## Литература

- [1] Meissner M.H., Glociczki P., Bergan J. et al. Primary chronic venous disorders. *J. Vasc. Surg.*, 2007, vol. 46, no. 6, pp. S54–S67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2007.08.038>
- [2] Glociczki P., Comerota A.J., Dalsing M.C. et al. The care of patients with varicose veins and associated chronic venous diseases: clinical practice guidelines of the Society for Vascular Surgery and the American Venous Forum. *J. Vasc. Surg.*, 2011, vol. 53, no. 5, pp. 2S–48S. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2011.01.079>
- [3] Rasmussen L., Lawaetz M., Serup J. et al. Randomized clinical trial comparing endovenous laser ablation, radiofrequency ablation, foam sclerotherapy, and surgical stripping for great saphenous varicose veins with 3-year follow-up. *J. Vasc. Surg. Venous. Lymphat. Disord.*, 2013, vol. 1, no. 4, pp. 349–356. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvsv.2013.04.008>
- [4] Lawaetz M., Serup, J., Lawaetz, B. et al. Comparison of endovenous ablation techniques, foam sclerotherapy and surgical stripping for great saphenous varicose veins. Extended 5-year follow-up of a RCT. *J. Vasc. Surg. Venous. Lymphat. Disord.*, 2017, vol. 5, no. 6, pp. 907–908. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvsv.2017.08.010>
- [5] Zikorus A.W., Mirizzi M.S. Evaluation of setpoint temperature and pullback speed on vein adventitial temperature during endovenous radiofrequency energy delivery in an in-vitro model. *VES*, 2004, vol. 38, no. 2, pp. 167–174. DOI: <https://doi.org/10.1177%2F153857440403800209>
- [6] Kontothanassis D., Di Mitri R., Ruffino S.F. et al. Endovenous thermal ablation. Standardization of laser energy: literature review and personal experience. *Int Angiol.*, 2007, vol. 26, no. 2, pp. 183–188.
- [7] Mordon S.R., Vuylsteke M.E., Mahieu P., et al. Endovenous laser treatment of the great saphenous vein: Measurement of the pullback speed of the fiber by magnetic tracking. *IRBM*, 2013, vol. 34, no. 3, pp. 252–256. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2012.10.004>
- [8] Shaidakov E.V., Grigoryan A.G., Korzhevskii D.E., et al. Morphologic changes in the vein after different numbers of radiofrequency ablation cycles. *J. Vasc. Surg. Venous. Lymphat. Disord.*, 2015, vol. 3, no. 4, pp. 358–363. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvsv.2014.09.006>



- [9] Proebstle T.M., Lehr H.A., Kargl A. et al. 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, vol. 35, no. 4, pp. 729–736. DOI: <https://doi.org/10.1067/mva.2002.121132>
- [10] Weiss R.A. Comparison of endovenous radiofrequency versus 810 nm diode laser occlusion of large veins in an animal model. *Dermatol. Surg.*, 2002, vol. 28, no. 1, pp. 56–61. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1524-4725.2002.01191.x>
- [11] Илюхин Е.А. Обоснование режимов применения эндоваскулярных методов в хирургическом лечении варикозной болезни. Дисс. ... канд. мед. наук. СПб., ВМА им. С.М. Кирова 2014.
- [12] Саврасов Г.В., Гавриленко А.В., Борде А.С. и др. Перспективы и особенности технологии ультразвуковой облитерации подкожных вен нижних конечностей. *Ангиология и сосудистая хирургия*, 2019, т. 25, № 1, с. 59–65. DOI: <https://doi.org/10.33529/angio2019108>
- [13] Фотек: веб-сайт. URL: <https://fotek.ru/> (дата обращения: 24.05.2021).
- [14] Черепанов А.Н., Шолина А.А., Шульгин Б.В. и др. Способ измерения амплитуды колебаний стержневой ультразвуковой колебательной системы. Патент РФ 2386112. Заявл. 26.02.2008, опубл. 10.04.2010.
- [15] Шевченко Ю.Л., Стойко Ю.М., Мазайшвили К.В. и др. Выбор оптимальных параметров излучения 1470 нм для эндовенозной лазерной облитерации. *Флебология*, 2013, т. 7, № 4, с. 18–24.

**Борде Анна Сергеевна** — аспирантка кафедры «Биомедицинские технические системы», Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация.

**Беликов Никита Владимирович** — кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Биомедицинские технические системы», Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация.

**Соколова Диана Юрьевна** — студентка кафедры «Биомедицинские технические системы», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Саврасов Геннадий Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры «Биомедицинские технические системы», Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация.

**Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:**

Борде А.С., Беликов Н.В., Соколова Д.Ю. Экспериментальное исследование нагрева вены в процессе эндовенозной ультразвуковой облитерации *in vitro*. *Политехнический молодежный журнал*, 2021, № 09(62). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-09-733>

---

## EXPERIMENTAL STUDY OF VEIN HEATING DURING ENDOVENOUS ULTRASOUND OBLITERATION *IN VITRO*

A.S. Borde

aenea.doerb@mail.ru

SPIN-code: 1122-8632

N.V. Belikov

aneox@list.ru

SPIN-code: 6876-9521

D.Yu. Sokolova

whyclos@mail.ru

SPIN-code: 8866-4186

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

---

### Abstract

*The paper describes vein heating in the process of ultrasonic obliteration. An experimental study of two modes of ultrasonic obliteration in vitro was carried out, including registration of the temperature field distribution on the outer surface of the venous wall and an assessment of the degree of contraction of the venous clearance. It was found that heating to a temperature of 98.55 °C in the contact zone of the ultrasonic instrument with the venous wall leads to its perforation and prevents further contraction of the venous clearance. Conclusions are made about the possibility of eliminating this undesirable effect by increasing the movement speed of the ultrasonic instrument, which also has a positive effect on reducing the time of the obliteration process.*

### Keywords

*Varicose veins of the lower extremities, endovenous obliteration, ultrasound surgery, heat transfer, ultrasound instrument, vibration amplitude, temperature field, vascular wall perforation*

Received 26.07.2021

© Bauman Moscow State Technical University, 2021

---

### References

- [1] Meissner M.H., Gloviczki P., Bergan J. et al. Primary chronic venous disorders. *J. Vasc. Surg.*, 2007, vol. 46, no. 6, pp. S54–S67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2007.08.038>
- [2] Gloviczki P., Comerota A.J., Dalsing M.C. et al. The care of patients with varicose veins and associated chronic venous diseases: clinical practice guidelines of the Society for Vascular Surgery and the American Venous Forum. *J. Vasc. Surg.*, 2011, vol. 53, no. 5, pp. 2S–48S. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2011.01.079>
- [3] Rasmussen L., Lawaetz M., Serup J. et al. Randomized clinical trial comparing endovenous laser ablation, radiofrequency ablation, foam sclerotherapy, and surgical stripping for great saphenous varicose veins with 3-year follow-up. *J. Vasc. Surg. Venous. Lymphat. Disord.*, 2013, vol. 1, no. 4, pp. 349–356. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvsv.2013.04.008>
- [4] Lawaetz M., Serup J., Lawaetz B. et al. Comparison of endovenous ablation techniques, foam sclerotherapy and surgical stripping for great saphenous varicose veins. Extended 5-year follow-up of a RCT. *J. Vasc. Surg. Venous. Lymphat. Disord.*, 2017, vol. 5, no. 6, pp. 907–908. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvsv.2017.08.010>
- [5] Zikorus A.W., Mirizzi M.S. Evaluation of setpoint temperature and pullback speed on vein adventitial temperature during endovenous radiofrequency energy delivery

- in an in-vitro model. *VES*, 2004, vol. 38, no. 2, pp. 167–174. DOI: <https://doi.org/10.1177%2F153857440403800209>
- [6] Kontothanassis D., Di Mitri R., Ruffino S.F. et al. Endovenous thermal ablation. Standardization of laser energy: literature review and personal experience. *Int Angiol.*, 2007, vol. 26, no. 2, pp. 183–188.
- [7] Mordon S.R., Vuylsteke M.E., Mahieu P., et al. Endovenous laser treatment of the great saphenous vein: Measurement of the pullback speed of the fiber by magnetic tracking. *IRBM*, 2013, vol. 34, no. 3, pp. 252–256. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2012.10.004>
- [8] Shaidakov E.V., Grigoryan A.G., Korzhevskii D.E., et al. Morphologic changes in the vein after different numbers of radiofrequency ablation cycles. *J. Vasc. Surg. Venous. Lymphat. Disord.*, 2015, vol. 3, no. 4, pp. 358–363. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvsv.2014.09.006>
- [9] Proebstle T.M., Lehr H.A., Kargl A. et al. 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, vol. 35, no. 4, pp. 729–736. DOI: <https://doi.org/10.1067/mva.2002.121132>
- [10] Weiss R.A. Comparison of endovenous radiofrequency versus 810 nm diode laser occlusion of large veins in an animal model. *Dermatol. Surg.*, 2002, vol. 28, no. 1, pp. 56–61. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1524-4725.2002.01191.x>
- [11] Ilyukhin E.A. Obosnovanie rezhimov primeneniya endovaskulyarnykh metodov v khirurgicheskom lechenii varikoznoy bolezni. Diss. kand. med. nauk [Objectivation of application modes for endovascular methods in surgical treatment of varicose. Kand. med. sci. diss.]. Sankt-Petersburg, VMA im. S.M. Kirova Publ., 2014 (in Russ.).
- [12] Savrasov G.V., Gavrilenko A.V., Borde A.S. et al. Prospects and peculiarities of the procedure of ultrasound ablation of subcutaneous veins of the lower limbs. *Angiologiya i sosudistaya khirurgiya [Angiology and Vascular Surgery]*, 2019, vol. 25, no. 1, pp. 59–65. DOI: <https://doi.org/10.33529/angio2019108> (in Russ.).
- [13] Fotek: website (in Russ.). URL: <https://fotek.ru/> (accessed: 24.05.2021).
- [14] Cherepanov A.N., Sholina A.A., Shul'gin B.V. et al. Sposob izmereniya amplitudy kolebaniy sterzhnevoy ul'trazvukovoy kolebatel'noy sistemy [Method of measuring amplitude of oscillation of rod-shaped ultrasonic oscillating system]. Patent RU 2386112. Appl. 26.02.2008, publ. 10.04.2010 (in Russ.).
- [15] Shevchenko Yu.L., Stoyko Yu.M., Mazayshvili K.V. et al. The choice of the optimal parameters of 1470 nm radiation for endovenous laser obliteration. *Flebologiya*, 2013, vol. 7, no. 4, pp. 18–24 (in Russ.).

**Borde A.S.** — PhD Student, Department of Biomedical Engineering Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Belikov N.V.** — Cand. Sc. (Eng.), Senior Lecturer, Department of Biomedical Engineering Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Sokolova D.Yu.** — Student, Department of Biomedical Engineering Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — Savrasov G.V., Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Biomedical Engineering Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Please cite this article in English as:**

Borde A.S., Belikov N.V., Sokolova D.Yu. Experimental study of vein heating during endovenous ultrasound obliteration *in vitro*. *Politekhnicheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2021, no. 09(62). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-09-733.html> (in Russ.).