



Původní práce

Endovenózní laserová ablace vena saphena – příznivé klinické výsledky potvrzují teoretické výhody diodového laseru 1940 nm

V. Fabián¹, J. Honěk^{2,3}, V. Horváth³, M. Horváth^{2,3}, M. Šlais¹, M. Vítovec³, O. Stehno³, P. Šedivý³, P. Šebesta³, J. Weiss³, T. Honěk³

¹Fakulta elektrotechnická, České vysoké učení technické v Praze

²Kardiologická klinika, Fakultní nemocnice v Motole a 2. lékařská fakulta Univerzity Karlovy, Praha

³Avicena-chirurgie s.r.o., Nemocnice Malvazinky, Praha

Souhrn

Úvod: Endovenózní laserová ablace (EVLA) je uznávaná alternativa chirurgické léčby varixů, ale optimální laserový generátor a jeho nastavení jsou předmětem diskuse. Účelem sdělení bylo korelovat klinické výsledky s teoretickou výhodou užití laserového diodového generátoru vlnové délky 1940 nm, který generuje záření s vysokou absorpcí tepla v tenké vrstvě koagulované tkáně.

Metody: V období od 1/2010 do 12/2021 byla provedena EVLA celkem u 3529 konsekutivních pacientů s křečovými žilami a sonograficky prokázanou insuficiencí povrchových žil dolních končetin. Postupně jsme užívali tři typy laserových generátorů s vlnovou délkou 1064, 1470, resp. 1940 nm. Všichni pacienti byli prospektivně zařazeni do registru, absolvovali časnou pooperační kontrolu s objektivizací neprůchodnosti žilního segmentu a další kontroly v případě komplikací.

Výsledky: Úspěšnost žilního uzávěru se u všech tří laserů nelišila ($p=0,054$) a přesáhla 98 %. Katetrizační metoda umožnila provést více ablací během jednoho výkonu s trendem 1,08, 1,31 a 1,62. V roce 2021 byl u laseru Tethys 1940 nm počet výkonů na pacienta 1,79. U tohoto laseru bylo, z důvodu vyššího absorpčního koeficientu záření pro vodu, možno snížit celkovou aplikovanou energii na polovinu (8 W, 50–80 J/cm). Pacienti po EVLA tímto laserem měli příznivější pooperační průběh, přestože bylo provedeno více ablací najednou. U 95,6 % pacientů byla provedena jen časná pooperační kontrola ($p<0,001$).

Závěr: Studie prokázala, že všechny použité laserové generátory měly stejnou efektivitu, co se týče uzávěru žilního segmentu. Při užití diodového laseru vlnové délky 1940 nm bylo možno snížit výkon laseru na polovinu. Pacienti měli lepší pooperační průběh, přestože bylo provedeno více výkonů během jedné operace.

Klíčová slova: chronická žilní insuficience, endovenózní laserová ablace, diodový laser 1940 nm

Summary

Original article

Endovenous laser ablation of saphenous veins – favorable clinical results confirm theoretical advantages of the 1940nm diode laser

V. Fabian¹, J. Honek^{2,3}, V. Horvath³, M. Horvath^{2,3}, M. Slais¹, M. Vitovec³, O. Stehno³, P. Sedivy³, P. Sebesta³, J. Weiss³, T. Honek³

¹Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University in Prague

²Department of Cardiology, University Hospital Motol and 2nd Faculty of Medicine, Charles University, Prague

³Avicena–chirurgie s.r.o., Hospital Malvazinky, Prague

Introduction: Endovenous laser ablation (EVLA) is a recognized alternative to surgical treatment of varicose veins, although an optimal laser generator and its settings still remain a matter of debate. The aim of our study was to correlate clinical results with the theoretical advantage of the 1940nm diode laser characterized by high absorption of heat in a thin layer of coagulated tissue.

Methods: From 1/2010 to 12/2021 EVLA was performed in a total of 3529 consecutive patients with varicose veins and ultrasonographically documented superficial venous reflux of lower extremities. Three types of laser were used successively with the wavelengths of 1064 nm, 1470 nm and 1940 nm, respectively. All patients were prospectively enrolled in our registry. An early postoperative follow-up visit was scheduled including an assessment of venous closure; additional visits were performed only in case of complications.

Results: The success of venous closure did not differ ($p=0.054$) between the three laser types and was over 98%. The catheter-based method made it possible to perform multiple ablations in one procedure – the trend was 1.08, 1.31 and 1.62. In 2021 the number of ablations per patient with the laser DL Tethys 1940 nm was 1.79. With this laser it was possible to reduce the total energy applied to one half (8 W, 50–80 J/cm). The postoperative course of patients treated using the 1940nm laser was smoother – no other but the early follow-up visit was needed in 95.6% cases ($p<0.001$).

Conclusion: This study showed that all three types of the near-infrared lasers had an equal closure efficacy. With the 1940nm DL it was possible to decrease the energy to one half. Despite multiple ablations performed in one procedure the postoperative course of the patients was smoother.

Key words: chronic venous insufficiency, endovenous laser ablation, diode laser 1940 nm

Rozhl Chir. 2022;101:395–400

doi:10.33699/PIS.2022.101.8.395–400

ÚVOD

Endovenózní laserová ablace (EVLA) regurgitující veny sapheny u rozvinutých varixů je nejčastěji užívaná termální katetrizační metoda. Dnes je považována za srovnatelnou s klasickou chirurgickou léčbou pro úspěšnost 90–98 %, malý výskyt komplikací a recidiv [1–19]. Přesto je EVLA doprovázena zahříváním okolní tkáně, které vede k bolestem a dermatitidě. Ke snížení těchto komplikací bylo zkoušeno užití laserů různých vlnových délek (810–1940 nm). Důvodem bylo, že vysoká absorpce světla ve vodě (jak v krvi, tak v žilní stěně) vede u vyšších vlnových délek k lepší distribuci tepla při koagulaci [20–26]. Tepelné záření je elektromagnetické vlnění v infračervené oblasti světla (NIR – near infrared). Podle kvantové teorie se světlo šíří ze zdroje jako řada lokalizovaných koncentrací energie, která má částicový, ale i vlnový charakter. Toto pojetí je známé jako dualita částic. Kvantová teorie, která zkoumá světlo jako částicový jev, explicitně obsahuje kmitočet světla f , který je čistě vlnovým pojmem. Částicí světla je foton. Energii fotonů lze vyjádřit jako součin neměnné Planckovy konstanty h a frekvence (kmitočtu) světla. Energie fotonů (kvantum energie) je $E=h \cdot f$, tj. čím větší vlnová délka (tedy menší frekvence), tím nižší energie.

Mechanismus účinku laserového světla na tkáň však není zcela jasný a metoda není standardizována, tj. vlnová délka, rychlost vytahování katétru a výkon laseru [26]. Chirurgovi tak i dnes nezbyvá než ověřit si často jen empirické nastavení laseru v klinické praxi při základních znalostech biomedicínské optiky. Účelem této studie bylo korelovat klinické výsledky s teoretickou výhodou užití laserového diodového generátoru vlnové délky 1940 nm, který generuje záření s vysokou absorpcí tepla v tenké vrstvě koagulované tkáně.

METODA

Ambulantní EVLA veny sapheny v místní (tumescentní) anestezii při léčbě křečových žil užíváme od roku 2010. V období od 1/2010 do 12/2021 bylo ošetřeno celkem 3529 pacientů. Metodiku a výsledky jsme publikovali [27–29].

Přehled laserových generátorů používaných v jednotlivých obdobích, včetně nastavení výkonu a celkového absorpčního tepla (LEED – linear endovenous energy density), je uveden v Tab. 1. Celková energie byla u laseru 1940 nm snížena na polovinu. Data pacientů jsme prospektivně zařadili do registru. Pacienti mají přímý kontakt s chirurgem i pracovištěm, a proto kromě povinné časné kontroly s objektivizací uzávěru žíly pomocí duplexní ultrasonografie (DUS) přicházejí na další kontrolu až v případě obtíží.

Hodnoty spojitých proměnných jsou uváděny jako průměr \pm směrodatná odchylka. K testování normality byl použit Shapiro-Wilk test. Kategorické proměnné byly srovnány pomocí Chí kvadrát testu, spojitě proměnné pomocí ANOVA testu. Hodnota $p < 0,05$ byla považována za statisticky významnou. Statistické zpracování bylo provedeno v programu Prism 6 (Graphpad, La Jolla, CA, USA).

VÝSLEDKY

Laserový uzávěr žíly, patrný již na peroperační DUS jako dezintegrace kontrahované žíly s tvorbou bublin byl stejně úspěšný pro všechny tři laserové generátory (Tab. 2). Rozdíly nebyly statisticky významné ($p=0,054$).

Ve srovnání s lasery 1064 nm i 1470 nm bylo u laseru vlnové délky 1940 nm možno empiricky snížit celkovou aplikovanou energii na polovinu (8 W, 50–80 J/cm), aniž by se změnila efektivita uzávěru. Postupně se při užití diodových laserů podařilo vzhledem ke snížené bolestivosti a celkovému zrychlení procedury zvýšit počet ablací během jednoho výkonu s trendem 1,08, 1,31 a 1,62 výkonu na pacienta (Tab. 2). V posledním roce při užití laseru vlnové délky 1940 nm to bylo 1,79 na jednoho pacienta. Dalším žilním segmentem byla nejčastěji vena saphena na kontralaterální končetině, nebo saphena parva, nebo velké větve.

Počet pacientů s jednou kontrolou (nekomplikovaný průběh) se postupně zvyšoval (Tab. 2). Ve skupině pacientů, kde byl užit laser 1940 nm, to bylo 95,6 % pacientů ($p < 0,001$). U žádného pacienta nedošlo k hospitalizaci. Další kontrola včetně DUS vyloučila další komplikace. Komplikace: rekanalizace, heat induced trombóza a krvácení nepřesáhly součtem 1 % [29].

Tab. 1: Přehled používaných generátorů
Tab. 1: Laser generators used in the study

Období	Vlnová délka (nm)	Typ laseru	Výkon (W)	LEED (J/cm)
2010–2016	1064	Nd:YAG (Fotona, Slovinsko)	15	100–200
2017–2019	1470	DlInGaA (Velas 2, GIGAA, Čína)	15	100
2020–2021	1940	DlAlGaIn (Tethys, GIGAA, Čína)	8 (max 12)	50–80

Vysvětlivky: LEED – lineární endovenózní energetická hustota (linear endovenous energy density)

Tab. 2: Výsledky podle užitého generátoru
Tab. 2: Results according to the generator type used

Typ laseru	Pacienti (N)	Segmenty (N)	Segmentů/pac.	Uzávěr (%)	Jen časná kontrola (%)
1060 nm	1117	1209	1,08	98,8	75,8
1470 nm	1611	2113	1,31	99,5	87,0
1940 nm	801	1305	1,62	99,6	95,6
Celkem	3529	4627	1,31	99,3	86,5

DISKUZE

Fyzikální principy

Výhodou NIR záření je vysoký koeficient absorpce pro vodu (krev, tkáň) a malá efektivní hloubka průniku tkáněmi, což omezuje oblast, ve které se generuje teplo ve tkáni vystavené laserovému záření. Čím vyšší je hodnota absorpčního koeficientu v chromoforu (v tomto případě vody), což je funkce vlnové délky λ , tím větší je množství generovaného tepla, a tím menší je penetrace (zvyšuje se bezpečnost). Nejvyšší hodnotu tohoto koeficientu má diodový laser na vlnové délce 1940 nm. Na této vlnové délce je absorpční koeficient pro vodu přibližně 5× větší než pro vlnovou délku 1470 nm, resp. 999× oproti 1064 nm (viz Tab. 3). Efektivní hloubka průniku ve vodě pro laser 1940 nm, založená na absorpčních a rozptylových procesech, je jen 48 μm , v kontrastu s hodnotou přibližně 3,0 mm pro 1060 nm [20–26]. Absorpční teplo (J/cm), generované v tkáni, je úměrné absorpčnímu koeficientu μA (cm⁻¹) vynásobenému ozáření (výkonem ve W) a je lineárně závislé na době expozice dané posunem laserového vlákna (LEED) [20,24]. Absorpční teplo v joulech odečítáme přímo na generátoru a rychlostí vytahování vlákna určujeme hodnotu expozice na cm.

Pro dostatečnou efektivitu ablace je potřeba dosáhnout teplotu ve tkáni přibližně od 70 do 100 °C (denaturace kolagenu). Z tohoto důvodu je potřeba dodávat dostatek energie, aby se vygenerovaly v ošetřované oblasti dostatečně vysoké teploty a výkon byl efektivní (tj. nedocházelo k rekanalizacím). Pouze podávání relativně vysoké energie na jednotku délky vede k dostatečně vysokým teplotám, které způsobí denaturaci kolagenu. Během endovenózní laserové ablace mohou intraluminální teploty stoupnout na více než 100 °C [6]. Tyto teplotní profily jsou nezávislé na vlnové délce, tj. použití různých vlnových délek neovlivňuje profil endovenózní teploty [28,29]. Na druhou stranu, vzhledem k tomu, že optické a tepelné vlastnosti tkáni jsou v tomto případě stejné, teplota je silně ovlivněna parametry expozice laseru. Povaha a rozsah tepelného poškození tedy závisejí na optických vlastnostech tkáně (rozptyl a absorpce), tepelných vlastnostech tkáně (specifické tepelné vodi-

Tab. 3: Absorpční koeficienty pro vodu v pásmu NIR elektromagnetického spektra

Tab. 3: Absorption coefficients for near-infrared electromagnetic radiation in water

λ (nm)	Laser	$\mu\text{A H}_2\text{O}$ (cm ⁻¹)
1064	Nd:YAG	0,12
1470	InGaAsP diode	24,82
1940	AlGaln diode	119,83

vosti) a také velmi silně na parametrech expozice laseru (typ, výkon, doba expozice). Z uvedeného vyplývá, že při empiricky stanovené hodnotě výkonu 10–15 W a absorpčního tepla 100–200 J/cm pro Nd-YAG laser mohlo dojít během našeho sledování ke snížení na polovinu 8 W a 50–100 J/cm pro diodový laser 1940 nm až na základě příznivých klinických výsledků (méně bolesti, dobrý uzávěr).

Endovenózní laserová ablace

Ligaci sapheny a její stripping nelze provést bez řezů a celkové anestezie. Endovenózní laserová ablace umožňuje ambulantní léčbu, zkracuje rekonvalescenci [17]. Další výhodou je i možnost koagulovat více žil najednou, kratší úseky, operovat obě končetiny, měnit polohu pacienta [29].

Řada dříve publikovaných studií prokázala non-inferioritu EVLA při srovnání se zlatým standardem – chirurgickou vysokou ligaturou a strippingem [5–19,30–34]. Naše první pilotní studie byla zaměřena na krátkodobé výsledky EVLA. Byla pozorována nízká incidence selhání uzávěru a málo komplikací během léčby [27]. Výsledky jsou srovnatelné s dříve publikovanými daty [17–9,30–34]. Střednědobé výsledky, které jsme publikovali, nenaznačují, že by selhání uzávěru žíly bylo ovlivněno jejím větším průměrem [29]. To je v souladu s dříve publikovanými daty [35]. Prerůstání trombózy do safénofemorální junkce (endovenous heat induced thrombosis – EHIT) v 0,3 % odpovídá incidenci známé z literatury [36,37]. EHIT dobře reaguje na ambulantní

léčbu nízkomolekulárním heparinem. Menší komplikace jako bolestivost v průběhu žíly, hematomy a zarudnutí jsou po provedení EVLA dosti běžné (odhadem asi 20 %), ale jistě ne tak závažné, jak je známo z klasické chirurgické léčby [13–14,17]. Úpravami protokolu ve smyslu vícečetné koagulace a správného umístění hrotu laserového vlákna jsme postupně zlepšovali výsledky. Recidiva insuficience z vena saphena accessoria anterior nebo stehenního perforátoru distálně vzniká po každé metodě. Je to vlastně nepravá (anatomická) recidiva vznikající těsně v blízkosti uzávěru. Můžeme ji předejít precizní koagulací od kolene až k junkci. Zavedení hrotu laseru do v. epigastrica je v současnosti běžně označováno jako laserová crosssectomie.

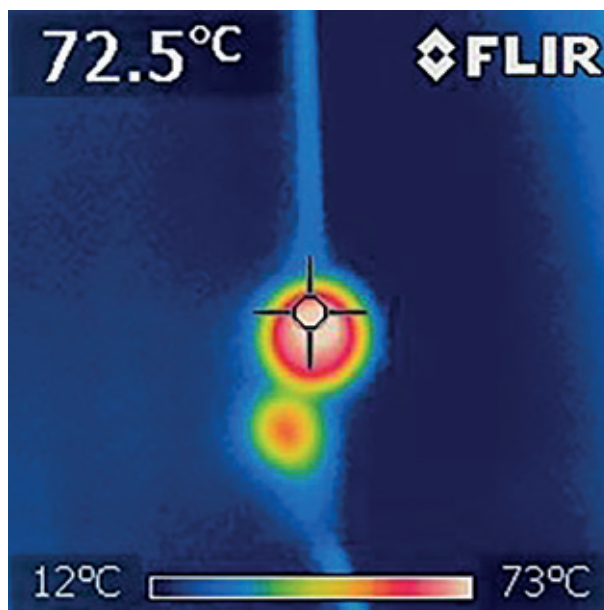
Fyzikální vlastnosti laserového záření se mění v závislosti na vlnové délce a výkonu laserového generátoru. Mohou značně ovlivnit účinnost EVLA. Zdá se, že užití laseru delší vlnové délky vedlo k redukci některých nežádoucích účinků metody, zejména díky menší penetraci a lepší absorpci ve vodě. Zvýšení výkonu laseru bylo doporučováno některými autory při užití generátoru 1060 nm a doporučeno i experimentálně [31–33]. Podle našich výsledků je možné u diodového laseru 1940 nm výkon snížit na polovinu (při stejné rychlosti vytahování je pak celkové množství tepelné energie poloviční). V naší studii při tomto postupu nedošlo ke změně kvality uzávěru žilního segmentu. Teplota okolí se nezvýšila (Obr. 2). Naš experiment na Obr. 1 je dokladem menší penetrace u laseru vlnové délky 1940 nm. Termokamera neodhalila zvýšení teploty kůže při koagulaci povrchně probíhající sapheny (Obr. 2). Tvar hrotu světlovodu je předmětem marketingu. Dle studie Van Gia, et al. byly lepší výsledky u neupraveného konce (bare fiber) světlovodu, který září axiálně světelným konusem [37]. Tento způsob byl užit v naší studii. Po snížení energie jsme nepozorovali zuhelnatění konce vlákna, dříve běžné.

Při hodnocení bolestivosti výkonu jsme opakovaně zjistili, že ve srovnání s chirurgickou metodou jsou obtíže zanedbatelné a hlavním kritériem zůstává hladký pooperační průběh. Jako kritérium jsme určili pouze jedinou časnou pooperační kontrolu spojenou se sonografickou objektivizací uzávěru. Mnoho pacientů mohlo obě metody srovnat – pacienti přicházeli totiž často po neúspěšném strippingu (přetržení žíly na stehně). Pouhá ligace v junkci vede k rychlé recidivě, nejen tvorbou neovaskularizací, ale i obnovením kontinuity.

Limitací studie je její observační charakter. Laserové generátory byly používány konsekutivně, výsledky mohly tedy být rovněž ovlivněny naší větší zkušeností. Jako surrogátní marker komplikací jsme zvolili ukazatel pouze jedné ambulantní návštěvy, ve studii nebyly hodnoceny dotazníky kvality života.

ZÁVĚR

Naše výsledky naznačují, že všechny užití výkonové lasery v infračervené oblasti záření využívající termálního efektu ke koagulaci žilní stěny jsou vhodné

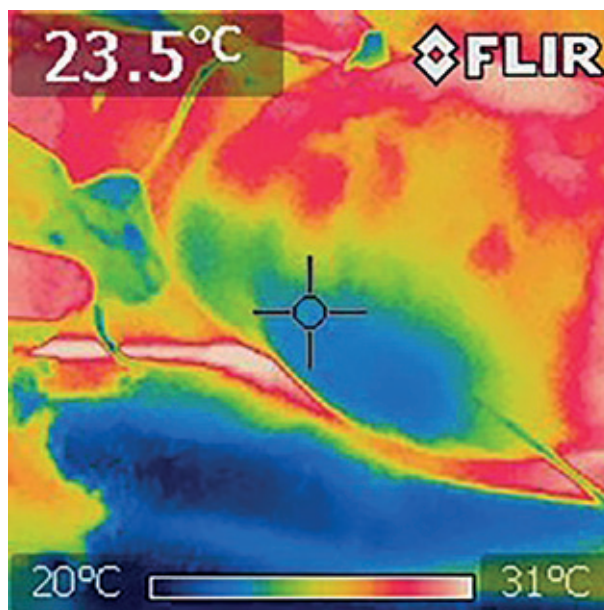


Obr. 1: Absorpce laserového paprsku na hrotu světlovodu v želatině zobrazena termokamerou – srovnání vlnové délky 1470 a 1940 nm

V experimentu je patrná menší penetrace laserového paprsku DL 1940 nm (dolní paprsek).

Fig. 1: Laser beam absorption in jelly visualized by thermal camera – comparison of the wavelengths 1470 nm and 1940 nm

The experiment demonstrated a lower penetration rate of DL 1940 nm (the lower beam).



Obr. 2: U povrchového průběhu sapheny během expozice laseru nejsou známky zvýšené teploty

Fig. 2: No signs of warming of superficial saphenous vein during laser exposure

k endovenózní ablacii. U diodového laseru 1940 nm bylo možno díky větší absorpci tepla v žilní stěně snížit výkon laseru, a tedy celkovou aplikovanou energii na polovinu výchozí hodnoty. Pozorovali jsme zlepšení rekonvalescence měřené počtem pooperačních



Obr. 3: Klinický nález pacienta s varixy velké sapheny před EVLA a za 48 hodin po zákroku
Fig. 3: Clinical finding of varices of the great saphenous vein in a patient before EVLA and 48 hours after the procedure

kontrol. S postupem času bylo prováděno více výko-
nů na jednoho pacienta.

Podpořeno 1. nadačním fondem pro podporu biomedicínského výzkumu

Konflikt zájmů

Autoři článku prohlašují, že nejsou v souvislosti se vznikem tohoto článku ve střetu zájmů a že tento článek nebyl publikován v žádném jiném časopise, s výjimkou kongresových abstrakt a doporučených postupů.

LITERATURA

- Piazza G. Varicose veins. *Circulation* 2014;130:582–587. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.113.008331.
- Evans CJ, Fowkes FG, Ruckley CV, et al. Prevalence of varicose veins and chronic venous insufficiency in men and women in the general population: Edinburgh Vein Study. *J Epidemiol Community Health* 1999;53:149–153. doi:10.1136/jech.53.3.149.
- Tassie E, Scotland G, Brittenden J, et al. Cost-effectiveness of ultrasound-guided foam sclerotherapy, endovenous laser ablation or surgery as treatment for primary varicose veins from the randomized CLASS trial. *Br J Surg*. 2014;101:1532–1540. doi:10.1002/bjs.9595.
- Critchley G, Handa A, Maw A, et al. Complications of varicose vein surgery. *Ann R Coll Surg Engl*. 1997;79:105–110.
- Siribumrungwong B, Noorit P, Wilasrusmee C, et al. A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials comparing endovenous ablation and surgical intervention in patients with varicose vein. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2012;44:214–223. doi:10.1016/j.ejvs.2012.05.017.
- Miller GV, Lewis WG, Sainsbury JR, et al. Morbidity of varicose vein surgery: auditing the benefit of changing clinical practice. *Ann R Coll Surg Engl*. 1996;78:345–349.
- Bootun R, Lane TR, Davies AH. A comparison of thermal and non-thermal ablation. *Reviews in Vascular Medicine* 2016;4:1–8. doi:10.1016/j.rvm.2016.02.001.
- Elias S. Minimally invasive vein surgery: latest options for vein disease. *Mt Sinai J Med*. 2010;77:270–278. doi:10.1002/msj.20186.
- Brittenden J, Cotton SC, Elders A, et al. A randomized trial comparing treatments for varicose veins. *N Engl J Med*. 2014;371:1218–1227. doi:10.1056/NEJMoa1400781.
- Morrison N, Gibson K, McEnroe S, et al. Randomized trial comparing cyanoacrylate embolization and radiofrequency ablation for incompetent great saphenous veins (VeClose). *J Vasc Surg*. 2015;61:985–994. doi:10.1016/j.jvs.2014.11.071.
- Rasmussen LH, Bjoern L, Lawaetz M, et al. Randomised clinical trial comparing endovenous laser ablation with stripping of the great saphenous vein: clinical outcome and recurrence after 2 years. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2010;39:630–635. doi:10.1016/j.ejvs.2009.11.040.
- Darwood RJ, Theivacumar N, Dellagrammaticas D, et al. Randomized clinical trial comparing endovenous laser ablation with surgery for the treatment of primary great saphenous varicose veins. *Br J Surg*. 2008;95:294–301. doi:10.1002/bjs.6101.
- Carradice D, Mekako AI, Mazari FAK, et al. Randomized clinical trial of endovenous laser ablation compared with conventional surgery for great saphenous varicose veins. *Br J Surg*. 2011;98:501–510. doi:10.1002/bjs.7394.
- Christenson JT, Gueddi S, Gemayel G, et al. Prospective randomized trial comparing endovenous laser ablation and surgery

- for treatment of primary great saphenous varicose veins with a 2-year follow-up. *J Vasc Surg.* 2010;52:1234–1241. doi:10.1016/j.jvs.2010.06.104.
15. Rasmussen LH, Lawaetz M, Bjoern L, et al. Randomized clinical trial comparing endovenous laser ablation, radiofrequency ablation, foam sclerotherapy and surgical stripping for great saphenous varicose veins. *Br J Surg.* 2011;98:1079–1087. doi:10.1002/bjs.7555.
 16. Biemans AA, Kockaert M, Akkersdijk GP, et al. Comparing endovenous laser ablation, foam sclerotherapy, and conventional surgery for great saphenous varicose veins. *J Vasc Surg.* 2013;58:727–734. doi:10.1016/j.jvs.2012.12.074.
 17. Carradice D, Mekako AI, Mazari FA, et al. Clinical and technical outcomes from a randomized clinical trial of endovenous laser ablation compared with conventional surgery for great saphenous varicose veins. *Br J Surg.* 2011;98:1117–1123. doi:10.1002/bjs.7615.
 18. Carroll C, Hummel S, Leaviss J, et al. Clinical effectiveness and cost-effectiveness of minimally invasive techniques to manage varicose veins: a systematic review and economic evaluation. *Health Technol Assess* 2013;17:1–141. doi:10.3310/hta17480.
 19. Gloviczki P, Gloviczki ML. Guidelines for the management of varicose veins. *Phlebology* 2012;27:2–9. doi:10.1258/phleb.2012.012s28.
 20. Niemz MH. Laser-tissue interactions, fundamentals and applications. In: *Biological and medical physics, biomedical engineering.* 3rd ed. New York, Springer Berlin Heidelberg 2007.
 21. Hale GM, Querry MR. Optical constants of water in the 200 nm to 200 μm wavelength region. *Appl Opt.* 1973;12(3):555–563. doi:10.1364/AO.12.000555.
 22. Roggan A, Friebel M, Dörschel K, et al. Optical properties of circulating human blood in the wavelength range 400–2500 nm. *J Biomed Opt.* 1999;4(1):36–46. doi.org/10.1117/1.429919.
 23. Bosschaart N, Edelman G, Aalders MC, et al. A literature review and a novel theoretical approach on the optical properties of whole blood. *Lasers Med Sci.* 2014;29(2):453–479. doi:10.1007/s10103-013-1446-7.
 24. Malskat WS, Poluektova AA, van der Geld CW, et al. Endovenous laser ablation (EVLA): a review of mechanisms, modeling outcomes, and issues for debate. *Lasers Med Sci.* 2014;29(2):393–403. doi:10.1007/s10103-013-1480-5.
 25. Viarengo LM, Potério-Filho J, Potério GM, et al. Endovenous laser treatment for varicose veins in patients with active ulcers: measurement of intravenous and perivenous temperatures during the procedure. *Dermatol Surg.* 2007;33(10):1234–1242, discussion 1241–1242. doi:10.1111/j.1524-725.2007.33259.x.
 26. van den Bos RR, van Ruijven PW, van der Geld CW, et al. Endovenous simulated laser experiments at 940 nm and 1470 nm suggest wavelength-independent temperature profiles. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2012;44(1):77–81. doi:10.1016/j.ejvs.2012.04.017.
 27. Honěk T, Horváth M, Horváth V, et al. Catheter-based endovenous laser ablation of saphenous veins in the treatment of symptomatic venous reflux: Early results. *Cor Vasa* 2017;59:525–529. doi:10.1016/j.crvasa.2016.11.002.
 28. Honěk T, Horváth M, Horváth V, et al. Catheter laser ablation of superficial veins of the lower extremities in the symptomatic treatment of venous reflux—comparison of the immediate results of two types of laser generators. *Rozhl Chir.* 2019;98:248–251.
 29. Honěk T, Honěk J, Horváth V, et al. Endovenous laser ablation of saphenous vein—mid-term results confirm permanent closure and possibility to treat more lesions in one procedure. *Rozhl Chir.* 2020;99:299–303.
 30. Galanopoulos G, Lambidis C. Minimally invasive treatment of varicose veins: Endovenous laser ablation (EVLA). *Int J Surg.* 2012;12:134–139. doi:10.1016/j.ijssu.2012.02.013.
 31. van den Bos RR, Kockaert MA, Neumann HA, et al. Technical review of endovenous laser therapy for varicose veins. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2008;35:88–95. doi:10.1016/j.ejvs.2007.08.005.
 32. Proebstle TM, Moehler T, Herdemann S. Reduced recanalization rates of the great saphenous vein after endovenous laser treatment with increased energy dosing: definition of a threshold for the endovenous fluence equivalent. *J Vasc Surg.* 2006;44:834–839. https://doi.org/10.1016/j.jvs.2006.05.052.
 33. Theivacumar NS, Dellagrammaticas D, Beale RJ, et al. Factors influencing the effectiveness of endovenous laser ablation (EVLA) in the treatment of great saphenous vein reflux. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2008;35:119–123. doi:10.1016/j.ejvs.2007.08.010.
 34. Puggioni A, Kalra M, Carmo M, et al. Endovenous laser therapy and radiofrequency ablation of the great saphenous vein: analysis of early efficacy and complications. *J Vasc Surg.* 2005;42:488–493. doi:10.1016/j.jvs.2005.05.014.
 35. Chaar CI, Hirsch SA, Cwenar MT, et al. Expanding the role of endovenous laser therapy: results in large diameter saphenous, small saphenous, and anterior accessory veins. *Ann Vasc Surg.* 2011;25:656–661. doi:10.1016/j.avsg.2011.02.031.
 36. Marsh P, Price BA, Holdstock J, et al. Deep vein thrombosis (DVT) after venous thermoablation techniques: Rates of endovenous heat-induced thrombosis (EHIT) and classical DVT after radiofrequency and endovenous laser ablation in a single centre. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2010;40:521–527. doi:10.1016/j.ejvs.2010.05.011.
 37. Truong VG, Tran VN, Hwang J, et al. Effect of spatial light distribution on the thermal response of vascular tissue. *Biomedical Optics Express* 2018;9(7):3037–3048. doi:10.1364/BOE.9.003037.

doc. MUDr. Tomáš Honěk
 Avicena-chirurgie s.r.o.
 Na Struze 6
 110 00 Praha 1
 e-mail: tomas.honek.cz@gmail.com