

# Monitoring and assessment of effectiveness of videoscopic lumbar sympathectomy in patients with primary Raynaud's phenomenon and hyperhidrosis by means of laser Doppler flowmetry\*

## Zastosowanie metody laserowej przepływometrii dopplerowskiej do monitorowania i oceny skuteczności zabiegu wideoskopowej sympatektomii lędźwiowej u pacjentów z pierwotnym fenomenem Raynauda i nadpotliwością\*

Stanisław Przywara, Jacek Wroński, Piotr Terlecki, Tomasz Zubilewicz, Wojciech Kobusiewicz, Witold Żywicki, Jerzy Michalak

Department of Vascular Surgery and Angiology, University School of Medicine, Lublin, Poland (Katedra i Klinika Chirurgii Naczyń i Angiologii AM w Lublinie)

\*This article received The Węglowski Prize at the V<sup>th</sup> Conference of Polish Angiological Society in 2002  
Praca otrzymała nagrodę im. prof. R. Węglowskiego na V Zjeździe Polskiego Towarzystwa Angiologicznego w 2002

---

### Abstract

**Background.** The aim of the study was to apply the laser Doppler flowmetry method to monitor the course of videoscopic lumbar sympathectomy, and for objective evaluation of its short and long-term effects in patients with primary Raynaud's phenomenon and hyperhidrosis.

**Material and methods.** Twenty-one patients were included in the study and underwent unilateral, video-assisted lumbar sympathectomy. Skin blood flow and skin temperature were monitored on the plantar surface of both feet by means of laser Doppler flowmetry.

Additionally, to evaluate the reactivity of microcirculation, the test of transcutaneous electrical nerve stimulation was applied.

There were 4 measurements conducted: 1 day before sympathectomy, 2 hours, 24 hours and 1 month after. During surgery, skin blood flow was monitored continuously.

**Results.** Stimulation of sympathetic trunk evoked short-term decrease of skin blood flow. Following coagulation and segmental resection resulted in continuous elevation of blood flow values on the side of the denervated limb. The improvement in skin perfusion was stable and maintained one month after sympathectomy. The assessment of the microcirculation reactivity during transcutaneous electrical nerve stimulation showed a maximal vasodilatation in the skin of denervated extremity, pointing to the effectiveness of the procedure. Unilateral sympathectomy increased, however, not so spectacularly, skin blood flow, temperature and the level of resting vasodilatation on the contralateral, non-operated foot. This finding proves the bilateral influence of one-sided sympathectomy on the skin microcirculation, probably through the central neural control mechanisms and thermoregulatory reactions.

**Conclusions.** Laser Doppler flowmetry is a useful and precise tool for monitoring the course of video-assisted lumbar sympathectomy. It allows a functional identification of sympathetic trunk structures and gives the possibility to objectively assess the effects of sympathectomy in patients with primary Raynaud's phenomenon and hyperhidrosis.

**Key words:** laser Doppler flowmetry, videoscopic lumbar sympathectomy

---

Address for correspondence (Adres do korespondencji):

Dr med. Stanisław Przywara, Katedra i Klinika Chirurgii Naczyń i Angiologii AM w Lublinie  
ul. Staszica 11, 20–081 Lublin, Poland  
tel./fax: +48 (0 81) 532 57 07

## Streszczenie

**Wstęp.** Celem pracy było zastosowanie metody laserowej przepływometrii dopplerowskiej do monitorowania i oceny skuteczności zabiegu wideoskopowej sympatektomii lędźwiowej u pacjentów z pierwotnym fenomenem Raynaud'a i nadpotliwością.

**Materiał i metody.** Badaniem objęto 21 chorych, u których wykonano jednostronną wideoskopową sympatektomię lędźwiową. Przepływ skórny i temperaturę skóry rejestrowano na podszwowej powierzchni obu stóp przy użyciu laserowego dopplerowskiego przepływomierza. Do oceny reaktywności mikrokrążenia skórno-ego zastosowano dodatkowo test przezskórnej, elektrycznej stymulacji nerwowej. Przeprowadzono 4 pomiary: dzień przed sympatektomią, 2 godziny, 24 godziny oraz miesiąc po operacji. W trakcie operacji zmiany przepływu skórno-ego monitorowano w sposób ciągły.

**Wyniki.** Drażnienie pnia współczulnego wywoływało krótkotrwały i przejściowy spadek przepływu skórno-ego krwi, natomiast po koagulacji i przecięciu pnia współczulnego po stronie operowanej obserwowano stałą tendencję do wzrostu perfuzji i temperatury skóry stopy. Poprawa ukrwienia skóry miała charakter trwały i utrzymywała się w miesiąc po zabiegu. Podczas oceny reaktywności mikrokrążenia skórno-ego w teście przezskórnej stymulacji nerwowej wykazano maksymalną wazodylatację w skórze współczulnie odnerwionej kończyny, co świadczy o skuteczności zabiegu. Jednostronna sympatektomia zwiększała również, choć w znacznie mniejszym stopniu, przepływ skórny, temperaturę skóry oraz stopień spoczynkowej wazodylatacji naczyń mikrokrążenia w stopie po stronie nieoperowanej, co wskazuje na obustronny wpływ zabiegu na obwodowe mikrokrążenie skórno-ego, prawdopodobnie poprzez centralne mechanizmy kontroli nerwowej i reakcje termoregulacyjne.

**Wnioski.** Laserową przepływometrię dopplerowską można uznać za precyzyjną metodę monitorowania przebiegu wideoskopowej sympatektomii lędźwiowej. Pozwala ona na czynnościową identyfikację struktur pnia współczulnego i umożliwia obiektywną ocenę skuteczności sympatektomii lędźwiowej u pacjentów z pierwotnym fenomenem Raynauada i nadpotliwością.

**Słowa kluczowe:** laserowa przepływometria dopplerowska, wideoskopowa sympatektomia lędźwiowa

## Introduction

Chemical thoracic- or lumbar-surgical sympathectomy remains the surgical method of choice in the treatment of patients with primary Raynaud's phenomenon and hyperhidrosis.

In clinical practice, the effectiveness of sympathetic denervation is usually assessed by comparative results of physical examination and subjective patient's reports.

During the procedure, intraoperative, anatomical identification of sympathetic trunk is still the most frequent and only method the sympathectomy is based on. However, this way is highly dependent on the surgeon's experience and presence of regular anatomy. In some cases, it may not be sufficient for proper surgical performance and successful postoperative result, especially regarding the methods with restricted visual control such as chemical or videoscopic sympathectomy.

For many years, we have been applying our own method of videoscopic lumbar sympathectomy by means of the video-assist, without insufflation of retroperitoneal space [1].

To monitor the course of videoscopic lumbar sympathectomy and for objective evaluation of its short and

## Wstęp

Chirurgiczna lub chemiczna sympatektomia w odcinku piersiowym i lędźwiowym jest operacyjną metodą z wyboru w leczeniu chorych z pierwotnym fenomenem Raynauada i nadpotliwością.

Zwykle w praktyce klinicznej ocena skuteczności odnerwienia współczulnego opiera się na porównawczym, subiektywnym badaniu przedmiotowym i określeniu stopnia ustąpienia objawów chorobowych wskazywanych przez pacjenta. Również podczas samego zabiegu nie stosuje się innych sposobów identyfikacji pnia współczulnego, poza metodą anatomiczną, której poprawność w dużej mierze zależy od doświadczenia osoby wykonującej zabieg i prawidłowych stosunków anatomicznych. Może to mieć wpływ na ostateczny wynik leczenia, zwłaszcza w przypadku metod małoinwazyjnych i z ograniczonym polem widzenia, takich jak sympatektomia wideoskopowa czy chemiczna.

W ośrodku autorów niniejszej pracy od wielu lat stosuje się własną metodę wideoskopowej sympatektomii lędźwiowej z użyciem wideoasysty, bez insuflacji przestrzeni zaotrzewnowej [1].

long-term effects, we applied the method of laser Doppler flowmetry to register a functional influence of the procedure on peripheral skin microcirculation. Additionally, we recorded the response of skin microcirculation to provocative test of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) to evaluate the results of sympathectomy in dynamic aspect.

### Material and methods

Total number of 21 patients (14 women and 7 men) with primary Raynaud's phenomenon (10 patients: 8 women and 2 men) and hyperhidrosis (11 patients: 7 women and 4 men) were included in the study. Their average age was 32.7 years (range 18–37 years). All patients with primary Raynaud's phenomenon presented with symmetrical episodes of finger and toe ischemia, associated with cyanosis and hypersensitivity to cold. Patients with trophic skin lesions were excluded from the study. Patients with hyperhidrosis reported uncomfortable and excessive sweating of hands and feet and conditional, limited tolerance to cold associated with cyanosis.

The study was conducted according to the Declaration of Helsinki.

The video-assisted, unilateral, lumbar sympathectomies were conducted in epidural analgesia without the insufflation of retroperitoneal space.

Skin incision ran transversely, in midclavicular line, on the margin of rectus muscle. The length of incision was about 3–4 cm. Subcutaneous tissue, oblique and transverse abdominal muscles and transverse fascia were dissected according to the Pearl's method. Then peritoneum was retracted, exposing the medial margin of iliopsoas muscle and antero-lateral side of vertebral column (on the right side, ureter and vena cava were identified as well). Insertion of Tiemann's retractors created a space, enabling introduction of endoscope. Under TV guidance, the sympathetic trunk was exposed between the iliopsoas muscle and vertebral column. The segment of sympathetic trunk, containing sympathetic ganglia L2–L3 was localized and excised with diathermy. Fascia, muscles and subcutaneous tissue were sutured with interrupted stitches. Intracuticular, continuous suture ended the procedure [1].

To monitor the course of operation and its therapeutic effectiveness, the Laser Doppler Flowmeter DRT 4 (Moor Instruments Ltd/UK) was used.

The Laser Doppler Flowmeter DRT 4 enables continuous and simultaneous registration of the skin perfusion and temperature. The method of laser Doppler flowmetry is already applied in many fields of medicine. Laser light is directed towards the skin via a glass optical

W celu monitorowania przebiegu wideoskopowej sympatektomii lędźwiowej i obiektywizacji bezpośrednich i długoterminowych wyników leczenia tą metodą, obserwowano jej wpływ na zmiany przepływu krwi w obwodowym mikrokrążeniu skórny. Do oceny perfuzji skóry wykorzystano laserowy przepływomierz dopplerowski w połączeniu z prowokacyjnym testem przezskórnej, elektrycznej stymulacji nerwowej (TENS).

### Material i metody

Badaniem objęto 21 chorych (14 kobiet i 7 mężczyzn) z pierwotnym fenomenem Raynauada (10 osób: 8 kobiet i 2 mężczyzn) i nadpotliwością stóp (11 pacjentów: 7 kobiet i 4 mężczyzn). Średni wiek badanych wynosił 32,7 roku (18–37 lat). W wywiadzie u wszystkich chorych z pierwotnym fenomenem Raynauada od kilku lat występowały symetryczne napadowe niedokrwienia palców stóp i dłoni, połączone z sinicą i nadwrażliwością na zimno. Z badania wykluczono osoby ze zmianami troficznymi skóry. U żadnego z badanych nie znaleziono uchwytnej, organicznej przyczyny schorzenia. Chorzy z nadpotliwością zgłaszali nadmierną potliwość stóp i związany z tym duży dyskomfort oraz zależną od warunków zewnętrznych zmniejszoną tolerancję zimna z towarzyszącym zasinieniem palców.

Badanie przeprowadzono zgodnie z zasadami Deklaracji Helsińskiej.

Zabieg jednostronnej sympatektomii lędźwiowej wykonano za pomocą metody wideoskopowej, w znieczuleniu przewodowym nadoponowym. Nie zastosowano insuflacji przestrzeni zaotrzewnowej.

Cięcie skórne wykonywano poprzecznie w linii środkowo-obojęzycznej na brzegu mięśnia prostego brzucha. Długość cięcia, w zależności od grubości tkanki podskórnej wynosiła 3–4 cm. Po przecięciu tkanki podskórnej i rozpreparowaniu metodą Pearl'a mięśni skośnych i poprzecznego brzucha, przecinano powieź poprzeczną. Następnie odwarstwiano otrzewną, odsłaniając brzeg przyśrodkowy mięśnia biodrowo-lędźwiowego i powierzchnię przednio-boczną kręgosłupa (a po stronie prawej także żyłę główną dolną i moczowód). Po wprowadzeniu haków urologicznych typu Tiemanna, w tak wytworzonej przestrzeni operacyjnej umieszczano endoskop. Pod kontrolą toru wizyjnego rozpreparowywano przestrzeń między brzegiem przyśrodkowym mięśnia biodrowo-lędźwiowego a kręgosłupem, odsłaniając pień współczulny. Następnie przy użyciu endoskopowego haczyka koagulacyjnego unoszono i wyosabniano pień wraz ze zwojami L2–L3. Za pomocą koagulacji odcinano pień powyżej L2 i poniżej L3. Operację kończono, wykonując pojedyncze szwy warstwowe i ciągły szew śródskórny [1].

fiber. A fraction of the light is reflected off the skin surface, but the majority enters the tissue, where it undergoes a complex process of scattering and absorption. The light scattered back from moving red blood cells undergoes a frequency shift according to the Doppler effect. The backscattered light, both Doppler shifted and unshifted, is collected by a fibre-optic system and directed onto a photodetector. There, it is transformed to a photocurrent, which is analysed in the processor. The output of the processor is a voltage related to blood flux [2, 3].

Laser Doppler probes were positioned on the plantar surface of both feet and secured by double sided, adhesive discs. This position enabled easy access to the probes during measurements and simultaneously protected against artefacts which might have been induced by movements of the operation team. The localization of each probe was precisely determined and maintained during every measurement. The specially constructed edge of the probe maintained a constant distance between the probe surface and direction of laser beam. Light fibres were attached to the skin to avoid artefacts caused by accidental movement.

All measurements were conducted at about the same time of a day, in a thermostatically controlled surgery room, with constant temperature ( $23 \pm 1^\circ\text{C}$ ), after a 20 min acclimatization period, in supine position.

We evaluated the changes of blood flow in skin microcirculation and skin temperature: the day before, during, 2 hours, 24 hours and 1 month after the surgery.

The periods of 5 minutes recordings with a stable skin blood flow were considered in the analysis. The period of surgical procedure was continuously monitored to observe the changes in skin perfusion during stimulation and coagulation of the lumbar sympathetic trunk ganglia.

The obtained data were analyzed with PC software DRTSOFT (Moor Instruments Ltd, UK). The primary results were expressed as the mean values, in arbitrary units.

Due to interindividual variability of resting parameters, data were subsequently transformed to the percentage format.

To evaluate the influence of lumbar sympathectomy on the reactivity of peripheral skin microcirculation, the provocation test of transcutaneous, electrical nerve stimulation was applied before surgery and in postoperative measurements.

TENS is a well-established procedure evoking vasodilatation of skin blood vessels in the mechanism of axon reflex. It is a response of skin microcirculation to nociceptive stimulus. Transmitted antidromically and me-

W celu monitorowania przebiegu operacji i obiektywnej oceny jej skuteczności, zastosowano laserowy przepływomierz dopplerowski DRT 4 (Moor Instruments Ltd., Wielka Brytania), umożliwiający ciągły i równoczesny pomiar skórniego przepływu krwi i temperatury skóry. Laserową przepływometrię dopplerowską od kilkunastu lat wykorzystuje się w różnych dziedzinach medycyny. Wiązka światła laserowego przesyłana jest do skóry poprzez światłowód. Niewielka jej część ulega odbiciu od powierzchni skóry, większość penetruje tkankę, gdzie podlega złożonemu procesowi rozpraszania i absorpcji. Częstotliwość światła odbitego od poruszających się krwinek czerwonych zmienia się zgodnie ze zjawiskiem Dopplera. Częstotliwość światła odbitego od elementów statycznych tkanki pozostaje niezmienną. Całość odbitego od tkanki światła jest zbierana przez optodę i przesyłana do fotodetektora. Zawarta w świetle informacja jest przetwarzana w fotoprąd, a następnie filtrowana i analizowana w mikroprocesorze. Napięcie wyjściowe z mikroprocesora odpowiada przepływowi krwi w jednostce objętości tkanki [2, 3].

Sondy laserowo-temperaturowe umieszczano na podeszwy powierzchni obu stóp przy użyciu obustronnie przyklejonych dysków. Taka lokalizacja sond umożliwiała łatwy dostęp do miejsca pomiarowego podczas operacji oraz zabezpieczała sondy i światłowody przed poruszeniem przez członków zespołu operacyjnego. Dokładnie określono pozycję sondy u każdego z chorych i stosowano taką samą pozycję przy każdym pomiarze. Specjalnie skonstruowany plastikowy uchwyt sondy umożliwiał zachowanie stałej odległości pomiędzy optodą a skórą podczas każdego pomiaru, a także zachowanie stałego kierunku wiązki laserowej przesyłanej do tkanki.

W celu uniknięcia artefaktów wywoływanych ruchem kończyn starannie zabezpieczano i umocowywano kable światłowodowe.

Optody wykalibrowano w specjalnym płynie kalibracyjnym zawierającym mikrosfery poruszające się ruchami Browna.

Wszystkie pomiary przeprowadzano o tej samej porze dnia, po 20-minutowej adaptacji. Chory pozostawał w pozycji leżącej, w klimatyzowanej sali operacyjnej o stałej temperaturze otoczenia  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ .

Zmiany w przepływie skóry i jej temperaturze rejestrowano dzień przed operacją, w trakcie jej trwania, 2 godziny i 24 godziny oraz miesiąc po zabiegu.

Do oceny kwalifikowano 5-minutowe okresy stabilnego przepływu krwi. Okres operacji monitorowano w sposób ciągły w celu rejestracji zmian w ukrwieniu skóry podczas drażnienia i koagulacji zwojów pnia współczulnego.

diated by nonmyelinated C-fibres leads to transient increase of skin perfusion [4–6]. TENS was evoked by Peripheral Nerve Stimulator HSE Neurostim 50, delivering a series of 16 pulses, each of 150 Volts, 0.75 ms in duration, at a frequency of 2 Hz.

An indifferent anodal electrode was positioned 5 cm proximal to the test side. The cathode was taped onto the skin approximately 5 mm from the laser probe.

The vasodilator response was expressed as the difference between blood flow during TENS and resting perfusion.

A transcutaneous electrical nerve stimulation test was conducted three times: one day before surgery, 24 hours and one month after the sympathectomy.

Due to high interindividual variation of resting skin blood flow and its dependence on variable conditions, the absolute values obtained in every measurement, and differences between them, were expressed as percentages. The resting values recorded before the operation were treated as 100%. Similarly, an increase in skin perfusion evoked by TENS, was calculated as a percentage. Changes in the skin temperature were given in °C.

To evaluate the statistical significance of the observed differences, we applied the paired *t*-Student test.

The results were considered to be statistically significant when  $p < 0.05$ .

## Results

The measurements of skin perfusion and its temperature conducted before the surgery didn't show any statistically significant differences between both feet (Fig. 1, 2).

TENS in preoperative recordings evoked similar, short-term increase of perfusion on the plantar surface of both feet. The average 52.7% rise of blood flow was statistically significant ( $p < 0.005$ ) when compared to resting values (Fig. 3).

Introduction of epidural analgesia led bilaterally to slight increase of skin blood flow.

During the procedure, dissection of sympathetic trunk produced transient and reversible drop in skin perfusion on the operated side. The following coagulation and segmental resection of sympathetic trunk resulted in continuous elevation of blood flow values on the side of denervated limb. These were an average of 37.2% higher at the end of the procedure, when compared to preoperative recordings ( $p < 0.05$ ). Skin perfusion on the contralateral foot was stable. The temperature of both feet did not change significantly (Fig. 1, 2).

Two hours after the surgery, the skin blood flow was still increasing. Perfusion on the sympathectomized side was an average of 27.3% higher than that recorded at

Otrzymane wyniki zanalizowano przy użyciu oprogramowania DRTsoft (Moor Instruments Ltd., Wielka Brytania).

Pierwotne wyniki wyrażono jako wartości średnie, w jednostkach arbitralnych.

Z powodu różnic osobniczych w spoczynkowych parametrach przepływu krwi otrzymane dane przekształcono w wartości procentowe.

W celu określenia wpływu sympatektomii lędźwiowej na reaktywność obwodowego mikrokrążenia skórniego przed zabiegiem i w kolejnych pomiarach pooperacyjnych stosowano TENS.

Test TENS to dobrze znana procedura prowokacyjna wywołująca rozszerzenie naczyń skórnych w mechanizmie odruchu aksonalnego. Jest to odpowiedź mikrokrążenia skórniego na bodziec nocyceptywny. Przewodzona antydromowo przez bezmielinowe włókna C, prowadzi do przejściowego wzrostu przepływu krwi w skórze [4–6].

Do przezskórnej stymulacji nerwowej użyto stymulatora nerwów obwodowych HSE Neurostim 50, który wytwarza serie impulsów o napięciu 150 V, czasie trwania 0,75 ms i częstotliwości 2 Hz. Obojętną anodę umieszczono 5 cm proksymalnie od miejsca pomiaru. Katodę przymocowano do skóry w odległości 5 mm od sondy laserowej. Wazodylatoryjną reakcję mikrokrążenia obliczono jako różnicę pomiędzy przepływem skórnym krwi podczas stymulacji a perfuzją w spoczynku.

Pomiary odpowiedzi mikrokrążenia skórniego na TENS wykonywano 3-krotnie: dzień przed operacją, 24 godziny i miesiąc po zabiegu.

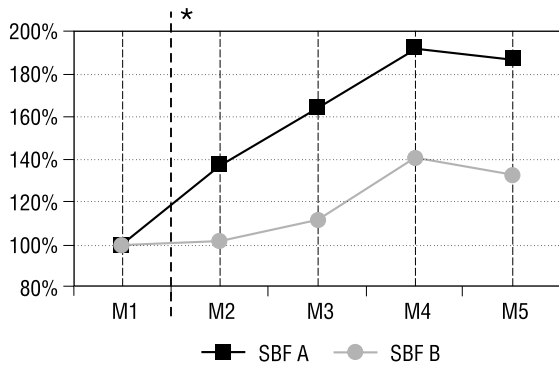
Ze względu na dużą zmienność międzyosobniczą w spoczynkowym przepływie krwi w mikrokrążeniu skórny oraz jego zależność od różnych czynników egzogenicznych i endogennych, uzyskane w pomiarach różnice w wartościach absolutnych przeliczono na wartości procentowe. Wartość 100% odpowiadała wartościom spoczynkowym przepływu krwi zarejestrowanym dzień przed operacją.

Podobnie wzrost perfuzji skóry wywołany przez TENS wyrażono w procentach, a zmiany temperatury skóry w °C.

Do obliczenia statystycznej istotności obserwowanych różnic w przepływie skórny i temperaturze skóry pomiędzy kolejnymi pomiarami wykorzystano test *t*-Studenta dla prób powiązanych. Za poziom istotności statystycznej przyjęto  $p < 0,05$ .

## Wyniki

W wynikach pomiarów wykonanych dzień przed operacją nie zaobserwowano statystycznie istotnych różnic pomiędzy obiema kończynami w spoczynkowej perfuzji skóry oraz jej temperaturze (ryc. 1, 2).



**Figure 1.** A — foot on the side of sympathectomy, B — foot on non-operated side, \* — lumbar sympathectomy, M1 — preoperative measurement, M2 — measurement at the end of surgery, M3 — measurement 2 hours after sympathectomy, M4 — measurement 24 hours after sympathectomy, M5 — measurement 1 month after sympathectomy, SBF — skin blood flow, ST — skin temperature

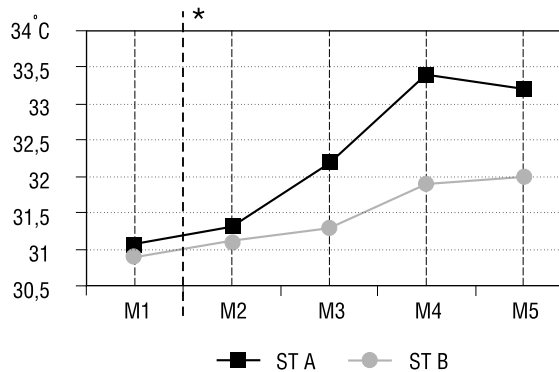
**Rycina 1.** A — stopa po stronie operowanej, B — stopa po stronie nieoperowanej, \* — zabieg sympatektomii lędźwiowej, M1 — pomiar przedoperacyjny, M2 — pomiar pod koniec zabiegu, M3 — pomiar 2 godziny po zabiegu, M4 — pomiar 24 godziny po zabiegu, M5 — pomiar 1 miesiąc po zabiegu, SBF — skórný przepływ krwi, ST — temperatura skóry

the end of the procedure. Local temperature rose an average of 1.1°C, when compared to preoperative measurements. Both differences were statistically significant ( $p < 0.05$ ). On the opposite side, the blood flow values and skin temperature increased minimally (Fig. 1, 2).

Twenty-four hours after the sympathectomy, further significant increases ( $p < 0.005$ ) in skin perfusion and skin temperature were observed on the operated side (27.7% and 1.2°C respectively). The values of blood flow and skin temperature also increased significantly ( $p < 0.05$ ) on the contralateral foot (41.3% and 1°C respectively) (Fig. 1, 2).

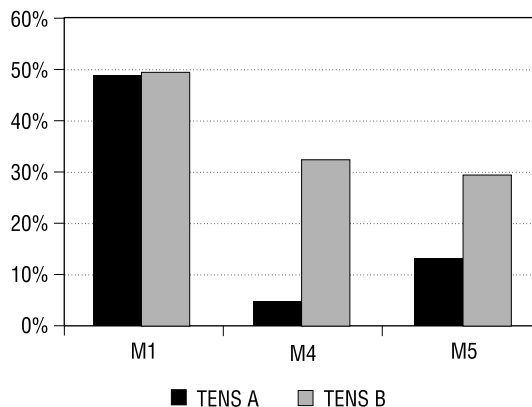
Transcutaneous electrical nerve stimulation conducted 24 hours after the sympathectomy did not evoke typical reaction of skin microcirculation on the operated side, which could clearly be observed before the procedure. On the contralateral side, the response to TENS was preserved. However, the relative increase of skin perfusion (34% average,  $p < 0.005$ ) during stimulation was reduced when compared to preoperative recordings (Fig. 3).

One month after surgery, skin blood flow and skin temperature were respectively 87.3% and 2.1°C higher on the side of lumbar sympathectomy, when compared to the measurements performed before the procedure. On the opposite side, skin perfusion and its temperature remained respectively 32.2% and 1.1°C increased in relation to preoperative recordings (Fig. 1, 2).



**Figure 2.** A — foot on the side of sympathectomy, B — foot on non-operated side, \* — lumbar sympathectomy, M1 — preoperative measurement, M2 — measurement at the end of surgery, M3 — measurement 2 hours after sympathectomy, M4 — measurement 24 hours after sympathectomy, M5 — measurement 1 month after sympathectomy, SBF — skin blood flow, ST — skin temperature

**Rycina 2.** A — stopa po stronie operowanej, B — stopa po stronie nieoperowanej, \* — zabieg sympatektomii lędźwiowej, M1 — pomiar przedoperacyjny, M2 — pomiar pod koniec zabiegu, M3 — pomiar 2 godziny po zabiegu, M4 — pomiar 24 godziny po zabiegu, M5 — pomiar 1 miesiąc po zabiegu, SBF — skórný przepływ krwi, ST — temperatura skóry



**Figure 3.** TENS — transcutaneous electrical nerve stimulation  
**Rycina 3.** TENS — przezskórná elektryczná stymulacja nerwowa

Przezskórná stymulacja nerwowa w pomiarze przedoperacyjnym wywoływała podobny, krótkotrwały wzrost przepływu krwi w skórze podeszwy powierzchni obu stóp. Wzrost ten w porównaniu z przepływem spoczynkowym był istotny statystycznie ( $p < 0,005$ ) i wynosił średnio na obu stopach 52,7% (ryc. 3).

Zastosowanie przewodowego znieczulenia nadoponowego powodowało niewielki wzrost przepływu krwi na obu stopach. W trakcie zabiegu wypreparowanie pnia współczulnego wywoływało zmiany w ukrwieniu skóry po stronie operowanej, o charakterze krótkotrwałego spadku przepływu krwi. Koagulacja i przecięcie pnia

All these differences were statistically significant ( $p < 0.05$ ).

TENS performed one month after the sympathectomy produced an average of 12.8% ( $p < 0.05$ ) relative increase of skin blood flow on the operated side. There was no significant difference in response to TENS on the contralateral side, when compared to measurements performed 24 hours after the procedure (Fig. 3).

## Discussion

In the skin microcirculation, supplying arterioles, precapillary arterioles, precapillary sphincters and especially arteriovenous shunts are innervated by post-ganglionic sympathetic fibres. The external layer of smooth muscles in these vessels remains under constant, vasoconstricting sympathetic tone [6, 7]. High correlation between sympathetic tonus and skin blood flow was already reported in the literature. Evidence exists, that in constant conditions, circadian changes in skin blood flow monitored by laser Doppler flowmetry precisely mirror daily fluctuations of sympathetic activity [8, 9].

In many studies, the influence of pharmacological or surgical sympathectomy on skin microcirculation was investigated. Generally, sympathectomy — abolishing vasoconstrictor tone — leads to vasodilatation of skin blood vessels and thus increases skin blood flow [10–12]. Usually, physical examination and patients' reports are used to evaluate the results of surgery. Sometimes, changes in skin temperature, as well as in transcutaneous oxygen pressures, are the parameters applied for objective evaluation. However, they seem to be unsuitable for intraoperative monitoring of the sympathectomy due to the latency of their variations. Laser Doppler flowmetry enables sensitive, direct measurements of microcirculatory blood flow, and any change in perfusion is registered immediately.

Therefore, we stated that laser Doppler flowmetry with laser-/temperature probes positioned on the plantar surface of the feet would be a precise method for functional identification of sympathetic trunk ganglia and monitoring of the video-assisted lumbar sympathectomy. Additionally, it was presumed that the therapeutic effects of this procedure could be assessed in an objective way.

During video-assisted lumbar sympathectomy, small skin incision and indirect — *via* video camera — observation of surgical area, sometimes may result in problems of sympathetic trunk identification, especially in the case of less experienced surgeons. Sympathetic ganglia can be mistaken for other anatomical structures such as lymphatic vessels and nodes. There are even some reports in the literature regarding accidental injuries of the iliolumbar nerve or ureter [1].

współczulnego objawiały się stałą, istotną statystycznie ( $p < 0,05$ ) tendencją do wzrostu przepływu krwi po stronie operowanej, średnio o 37,2% w momencie zakończenia zabiegu. Na stopie po stronie przeciwnej przepływ miał charakter stabilny. Temperatura skóry obu stóp nie ulegała istotnym zmianom (ryc. 1, 2).

W 2. godzinie po operacji obserwowano dalszy wzrost przepływu krwi w obwodowym mikrokrążeniu skórny po stronie, po której wykonywano sympatektomię lędźwiową. Perfuzja skóry była średnio wyższa o 27,3% w porównaniu z wynikiem pomiaru wykonanego w momencie zakończenia operacji. Różnica ta była istotna statystycznie ( $p < 0,05$ ). Zarejestrowano również istotny statystycznie ( $p < 0,05$ ) wzrost temperatury skóry, średnio o 1,1°C w porównaniu z wartością pomiaru wykonanego dzień przed zabiegiem. Po stronie przeciwnej przepływ skórny i temperatura skóry wzrosły nieznacznie, a różnice nie były istotne statystycznie (ryc. 1, 2).

W 24 godziny po sympatektomii obserwowano dalszy wzrost perfuzji (o 27,7%;  $p < 0,005$ ) i temperatury skóry stopy (o 1,2°C;  $p < 0,005$ ) po stronie operowanej. Wartości przepływu skórny i temperatury skóry na drugiej stopie były również istotnie wyższe statystycznie ( $p < 0,005$ ) w porównaniu z wynikami pomiarów wykonanych w dniu przed operacją — odpowiednio o 41,3% i 1°C (ryc. 1, 2).

Przeprowadzona w 24. godzinie TENS nie powodowała znamienego, przejściowego wzrostu ukrwienia skóry w stopie po stronie, po której wykonywano sympatektomię lędźwiową, wywoływała natomiast ponownie istotny statystycznie ( $p < 0,005$ ) wzrost skórny przepływu krwi po stronie nieoperowanej. Relatywny średni wzrost perfuzji (o 34,5%) w trakcie stymulacji był jednak niższy niż w dniu przed zabiegiem (ryc. 3).

Miesiąc po zabiegu przepływ skórny i temperatura skóry po stronie, po której wykonywano sympatektomię lędźwiową były wyższe w porównaniu z wartościami pomiarów przeprowadzonych przed operacją — odpowiednio o 87,3% i o 2,1°C. Perfuzja skóry na stopie po stronie nieoperowanej była wyższa o 32,2%, a jej temperatura o 1,1°C niż w dniu przed zabiegiem (ryc. 1, 2).

Wszystkie różnice w pomiarach przeprowadzonych miesiąc po sympatektomii były znamienne statystycznie ( $p < 0,05$ ).

Miesiąc po zabiegu obserwowano niewielką, chociaż istotną statystycznie ( $p < 0,05$ ), odpowiedź mikrokrążenia skórny na TENS po stronie, po której wykonywano sympatektomię lędźwiową. Średni wzrost skórny przepływu krwi podczas stymulacji wynosił 12,8%. Po stronie

In our study, recording skin microvascular responses during stimulation and coagulation of some structures in the area of sympathetic trunk allowed the functional identification of its ganglia. In all cases, dissection in the area of sympathetic trunk and its mechanical stimulation led to a decrease of skin blood flow on the operated side. The decrease of blood flux was short in time and transient, pointing to a neural type of reaction. This type of microvascular reaction was functionally confirming the accurate anatomical identification of the sympathetic trunk.

The skin temperature did not follow short time variations of skin blood flow, probably due to the high thermal capacity of the skin.

After the coagulation and segmental resection of the sympathetic trunk, the permanent, increasing trend in skin perfusion associated with gradual elevation of the skin temperature was observed on the sympathectomized extremity.

High values of skin perfusion and temperature, compared to the pre-surgery period, were present at 2 and 24 hours, and even 1 month, after the sympathectomy, pointing to high effectiveness of this type of treatment. The permanent improvement in skin perfusion accompanied by increase of its temperature seems to be an adaptive response regulated by neural and thermoregulatory mechanisms.

Observed, simultaneous changes in skin perfusion and local temperature on the contralateral foot correspond with other reports in literature.

In the field of balneology for instance, warm bathing of one of the extremities evokes vasodilatation of skin blood vessels and associated increase in skin temperature on the contralateral side. Similar phenomena are observed during carbon dioxide baths. Conversely, cooling of one of the hands evokes significant reduction of skin blood flow simultaneously on both upper limbs [13, 14].

Certainly, neural interlinks and contralateral projections in the sympathetic trunk and segmental centres are involved in these kind consensual reactions.

The additional explanation can be found in thermoregulatory mechanisms. There exists direct relationship between the skin temperature, blood flow and core temperature. Phasic dependence between these parameters shows that peripheral skin circulation influences central mechanisms of thermoregulation [8, 9].

Thus, one side sympathectomy disregulates a balance in peripheral thermal status. It leads to centrally (hypothalamus centres) mediated thermoregulatory reactions [15]. This way, the organism establishes a new thermal homeostasis.

nieoperowanej reakcja na TENS nie różniła się istotnie od rejestrowanej w 24. godzinie po zabiegu (ryc. 3).

## Dyskusja

W mikrokrążeniu skórnym tętniczki doprowadzające, tętniczki przedwłosowate, zwieracze przedwłosowate oraz szczególnie połączenia tętniczo-żylnie są unerwione przez pozazwojowe włókna współczulne. Zewnętrzna warstwa mięśniówki tych naczyń charakteryzuje się stałym, neurogennym napięciem, związanym z ciągłym napływem impulsów ze współczulnego układu nerwowego [6, 7]. Istnieją doniesienia o wysokiej korelacji pomiędzy tonusem układu współczulnego a perfuzją skóry. W stałych warunkach pomiaru całodobowy rytm skórnego przepływu krwi precyzyjnie odzwierciedla 24-godzinne zmiany w napięciu części współczulnej autonomicznego układu nerwowego [8, 9].

W wielu badaniach analizowano wpływ chemicznej lub chirurgicznej sympatektomii na mikrokrążenie skórne. Sympatektomia, znosząc naczynioskurczowy tonus, prowadzi do rozszerzenia naczyń łożyska skórnego, co zwiększa perfuzję skóry [10–12]. Ocena skuteczności zabiegu opiera się zwykle, poza subiektywnym badaniem fizykalnym i wywiadem z pacjentem, na analizie zmian temperatury skóry lub różnic w przezskórnej prężności tlenu. Porównywanie różnic w zakresie ostatnich dwóch parametrów ze względu na dużą latencję w zmienianiu się ich wartości wydaje się jednak niezbyt użyteczne w przypadku czynnościowej identyfikacji pnia współczulnego podczas operacji. Laserowa przepływometria dopplerowska jest metodą, dzięki której można ocenić przepływ krwi w mikrokrążeniu skórnym w sposób bezpośredni i ciągły, co pozwala na natychmiastowe uchwycenie najmniejszych zmian w perfuzji skóry.

Autorzy przyjęli więc, że laserowy przepływomierz dopplerowski z sondami umieszczonymi na podeszwowej powierzchni stóp będzie odpowiednim narzędziem do pośredniej, czynnościowej identyfikacji zwojów pnia współczulnego i monitorowania przebiegu sympatektomii lędźwiowej wykonywanej metodą wideoasysty. Autorzy uznali, że dzięki zastosowaniu metody laserowej przepływometrii dopplerowskiej będzie można zobiektywizować skuteczność i trwałość efektów zabiegu.

Podczas zabiegu sympatektomii lędźwiowej przeprowadzanej w wideoasystyście niewielkie nacięcie skóry oraz pośrednia obserwacja pola operacyjnego poprzez wideokamerę może czasem powodować trudności w identyfikacji lędźwiowego odcinka pnia współczulnego, szczególnie w wypadku mniej doświadczonych osób przeprowadzających zabieg lub patologicznych stosunków anatomicznych. Współczulne zwoje lędźwiowe mogą być trudne do odróżnienia od innych struktur ana-



Due to high interindividual variations of resting skin circulation and its dependence on many external variables [16], the additional provocation test of transcutaneous electrical nerve stimulation was applied to obtain standardized and comparable results.

The assessment of the skin microcirculation reactivity during TENS provided information about the influence of sympathectomy on the function of microcirculation and dilatatory reserve of vascular bed.

Short-term and transient increase of blood flow, registered before surgery on both feet during stimulation, shows intact capacity of the skin microcirculation for vasodilatation and reactive improvement of skin perfusion. This justifies some attempts of application of TENS in the treatment of symptoms [17]. The absence of typical response to TENS after the sympathectomy on the operated side suggests a maximal vasodilatation of skin blood vessels, due to total sympathetic denervation.

Partial recovery of vasodilatation during TENS one month after the surgery may point to the process of neoangiogenesis or gradual restoration of sympathetic neural control on the operated side. The latter may explain, at least in part, the reappearance of symptoms in some patients after the sympathectomy.

In comparison to preoperative measurements, reduced response to TENS recorded on the opposite foot points to increased resting vasodilatation. This also confirms the influence of unilateral sympathectomy on contralateral lower limb.

## Conclusions

1. Intraoperative application of laser Doppler flowmeter enables precise and functional identification of the sympathetic trunk structures during video-assisted lumbar sympathectomy.
2. Laser Doppler flowmetry combined with the provocation test of transcutaneous electrical nerve stimulation allows objective assessment of the results of lumbar sympathectomy in patients with primary Raynaud's phenomenon and hyperhidrosis.

## References

1. Wroński J (1998) Lumbar sympathectomy performed by means of videoscopy. *Cardiovasc Surg*, 6 (5): 453–456.
2. Nilsson GE, Tenland T, Oberg PA (1980) Evaluation of laser Doppler flowmeter for measurement of tissue blood flow. *IEE Trans Biomed Eng*, 27: 12–19.
3. Przywara S (1997) Laserowa dopplerowska przepływometrija. *Acta Bioopt Inform Medic*, 2–4, 3: 111–114.
4. Westerman RA, Widdop RE, Hannaford J (1988) Laser Doppler velocimetry in the measurement of neurovascular function. *Australas Phys Eng Sci Med*, 11 (2): 53–66.

tomicznych tej okolicy, np. węzłów chłonnych. W literaturze istnieją także doniesienia o przypadkowym uszkodzeniu nerwu biodrowo-lędźwiowego lub moczowodu podczas zabiegu sympatektomii lędźwiowej [1].

W niniejszej pracy monitorowanie reakcji łożyska naczyniowego skóry podczas drażnienia i koagulacji struktur w okolicy pnia współczulnego umożliwiło precyzyjną, czynnościową identyfikację jego zwojów.

Preparowanie w okolicy pnia współczulnego oraz jego mechaniczne drażnienie powodowało we wszystkich przypadkach obniżenie perfuzji skóry po stronie operowanej, nie wpływając na jej temperaturę. Spadek w skórnym przepływie krwi był natychmiastowy, krótkotrwały i przejściowy, co wskazywało na reakcję o charakterze nerwowym. Zaobserwowanie takiej współczulnej reakcji wazokonstrykcyjnej naczyń mikrokrążenia potwierdzało w sposób czynnościowy prawidłowość identyfikacji anatomicznej pnia.

Brak zmian w temperaturze tkanki związany jest z dużą pojemnością termiczną skóry.

Po koagulacji i resekcji segmentu pnia współczulnego po stronie operowanej obserwowano stałą tendencję przepływu krwi do wzrostu w mikrokrążeniu skórnym i związany z nią stały wzrost temperatury skóry, co świadczyło o śródoperacyjnej skuteczności zabiegu.

Wysokie wartości przepływu krwi i temperatury skóry w porównaniu z okresem przedoperacyjnym utrzymywały się 2 godziny, 24 godziny, a nawet miesiąc po zabiegu, wskazując na wysoką efektywność sympatektomii.

Stabilna poprawa perfuzji skóry i towarzyszący jej wzrost temperatury tkanki wydaje się być sumą reakcji nerwowych, a także termoregulacyjnych mechanizmów adaptacyjnych.

Obserwowane przez autorów niniejszej pracy równoczesne zmiany w przepływie krwi i temperaturze skóry na kontralateralnej stronie są zgodne z wynikami innych grup badawczych.

W leczeniu balneologicznym ogrzewanie jednej kończyny wywołuje rozszerzenie naczyń skórnym po stronie przeciwnej, czemu towarzyszy wzrost temperatury skóry. Podobne zjawisko można obserwować podczas terapii za pomocą kąpieli w wodzie wzbogacanej dwutlenkiem węgla. Natomiast oziębienie jednej dłoni wywołuje równoczesny, znaczący spadek perfuzji skóry w obu rękach [13, 14].

Z pewnością istnienie włókien nerwowych łączących oba pnie współczulne, a także obecność centralnych, kontralateralnych projekcji w układzie wegetatywnym tłumaczy występowanie tego typu reakcji konsensualnych.

Dodatkowego wyjaśnienia tych zjawisk można poszukiwać w mechanizmach termoregulacyjnych. Istnieje dobrze udokumentowany związek pomiędzy skórnym przepływem krwi, temperaturą skóry a wewnętrzną temperaturą ciała. Fazowa zależność mię-

5. Janig W, Lisney SJ (1989) Small diameter myelinated afferents produce vasodilatation but not plasma extravasation in rat skin. *J Physiol Lond*, 415: 477–486.
6. Trzebski A (1990) Fizjologia autonomicznego układu nerwowego. In: Traczyk WZ (eds.) *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej*. 2<sup>nd</sup> Ed. PZWL, Warszawa, 350–351.
7. Jawień A (1998) Mikrokrążenie. In: Noszczyk W (eds.) *Chirurgia tętnic i żył obwodowych*. 1<sup>st</sup> Ed. PZWL, Warszawa, 40–52.
8. Przywara S, Lux M, Muhry F, Moser M, Lehofer M, Hildebrandt G et al (1997) Dobowe zmiany aktywności układu współczulnego ocenione przy pomocy laserowej dopplerowskiej przepływometrii. *Problemy Nauki, Dydaktyki i Lecznictwa*, 1: 191–196.
9. Smolander J, Harma M, Lindqvist A, Kolari P, Laitinen LA (1993) Circadian variation in peripheral blood flow in relation to core temperature at rest. *Eur J Appl Physiol*, 67: 192–196.
10. Lantsberg L, Goldman M, Khoda J (1996) Should chemical sympathectomy precede below knee amputation? *Int Surg*, 81 (1): 85–87.
11. Lantsberg L, Goldman M (1990) Lower limb sympathectomy assessed by laser Doppler blood flow and transcutaneous oxygen measurements. *J Med Eng Technol*, 14 (5): 182–183.
12. Boccalon H (1985) Flowmeter monitoring following lumbar sympathectomy. *J Mal Vasc*, 10 (Suppl. A): 88–93.
13. Rosen L, Ostergen J, Roald OK, Strandén E, Fagrell B (1989) Bilateral involvement and the effect of sympathetic blockade on skin microcirculation in the sympathetic dystrophies. *Microvasc Res*, 37: 289–297.
14. Muhry F, Przywara S, Moser M, Hildebrandt G, Kenner T (1999) The effects of carbon dioxide baths on the skin microcirculation at different times of the day. *Physikalische Medizin, Rehabilitationsmedizin, Kurortmedizin*, 9/3: 79–84.
15. Loewy A, Spyer MK (1990) *Central regulation of autonomic functions*. Oxford University Press, Oxford, 44–61.
16. Bircher A, De Boer EM, Agner T (1994) Guidelines for measurement of cutaneous blood flow by laser Doppler flowmetry. *Contact Dermatitis*, 30: 65–72.
17. Robaina FJ, Rodriguez JL, de Vera JA, Martin MA (1989) Transcutaneous electrical nerve stimulation and spinal cord stimulation for pain relief in reflex sympathetic.

dzy tymi parametrami wskazuje, że obwodowe krążenie skórne istotnie wpływa na centralne mechanizmy termoregulacyjne [8, 9].

Można uznać, że jednostronna sympatektomia zaburza równowagę termiczną na obwodzie ciała. Prowadzi to do centralnie (podwzgórzowo) sterowanych reakcji termoregulacyjnych [15]. W ten sposób organizm stara się ustalić nową, termiczną homeostazę.

Ze względu na dużą zmienność osobniczą spoczynkowego przepływu krwi w mikrokrążeniu skórnym i jego zależność od wielu czynników endo- i egzogennych [16] oraz w celu standaryzacji uzyskanych wyników zastosowano dodatkowo TENS jako procedurę prowokacyjną.

Określenie reaktywności obwodowego mikrokrążenia skórniego przed zabiegiem i po nim podczas TENS dostarczyło informacji o jego wpływie na rezerwę naczyniową mikrokrążenia, pozwalając na jego ocenę w aspekcie czynnościowo-dynamicznym.

Obserwowany w dniu przed operacją krótkotrwały i przejściowy wzrost skórniego przepływu krwi podczas przezskórnej stymulacji nerwowej na obu stopach wskazuje na zachowaną zdolność łożyska naczyniowego do wazodylatacji i czynnościowego wzrostu perfuzji u chorych z pierwotnym fenomenem Raynauda i nadpotliwością. Uzasadnia to próby objawowego leczenia pacjentów za pomocą TENS [17]. Brak charakterystycznej odpowiedzi na TENS po sympatektomii lędźwiowej na stopie po stronie operowanej wskazuje na stan maksymalnego rozszerzenia naczyń mikrokrążenia po odnervieniu współczulnym. Powrót niewielkiego stopnia wazodylatacji podczas TENS miesiąc po zabiegu może wskazywać na proces neoangiogenezy lub stopniowego powracania kontroli współczulnej nad naczyniami mikrokrążenia. Drugie spostrzeżenie mogłoby przynajmniej częściowo tłumaczyć obserwowaną nieraz wznowę objawów u chorych po sympatektomii.

Typowa, choć zredukowana w porównaniu z wynikami pomiarów wykonanych przed operacją, reakcja na TENS po stronie nieoperowanej świadczy o wzroście spoczynkowej wazodylatacji mikrokrążenia po zabiegu. Potwierdza to wpływ jednostronnej sympatektomii lędźwiowej równocześnie na obie kończyny dolne.

## Wnioski

1. Zastosowanie laserowego przepływomierza dopplerowskiego do monitorowania przebiegu operacji sympatektomii lędźwiowej metodą videoasysty umożliwia precyzyjną, czynnościową identyfikację struktur pnia współczulnego.
2. Laserowa przepływometria dopplerowska w połączeniu z prowokacyjnym testem przezskórnej stymulacji nerwowej pozwala na obiektywną ocenę skuteczności zabiegu sympatektomii lędźwiowej u chorych z pierwotnym fenomenem Raynauda i nadpotliwością stóp.