

Robert Liana, Marek Chudański, Irena Ponikowska

Katedra i Zakład Balneologii i Medycyny Fizykalnej *Collegium Medicum* Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu

Badania nad standaryzacją laserowej przepływometrii dopplerowskiej — normy własne

Standardization of laser Doppler flowmetry — own standards

STRESZCZENIE

WSTĘP. Celem badania nad laserową przepływometrią dopplerowską było opracowanie własnych norm swoistych parametrów mikrokrążenia. Mimo że metoda znana jest w Polsce od kilkunastu lat, nie ma wiarygodnych norm, do których można byłoby odnieść parametry zaburzonego przepływu włóscinkowego.

MATERIAŁ I METODY. Zbadano 40 młodych osób (80 pomiarów), 27 mężczyzn i 13 kobiet, w wieku 22–39 lat (średnia wieku 24,6 roku; SD = 7,1). Grupę badaną stanowili zdrowi ochotnicy, głównie studenci. Młody wiek badanych pozwolił wykluczyć wpływ czynników patologicznych na funkcję mikrokrążenia. Dokonano analizy metodologicznej oraz zweryfikowano poszczególne parametry. U każdego badanego przeanalizowano 9 parametrów mikrokrążenia w spoczynku i w czasie kontrolowanego niedokrwienia oraz w okresie po jego ustąpieniu. Pomiarów dokonano aparaturą wyposażoną w 1 sondę i oprogramowanie PIM II firmy Perimed (Szwecja). Pomiarów wykonano na obu kończynach dolnych, na szczycie paluchów, po wcześniejszym odpoczynku badanego.

WYNIKI. Średnie wartości badanych parametrów

z odchyleniami standardowymi oraz zakresy uzyskanych wartości przedstawiono w tabeli w dalszej części pracy.

WNIOSKI. Stwierdzono, że spośród badanych 9 parametrów mikrokrążenia istotnie statystycznie okazały się: przepływ spoczynkowy (RF), zero biologiczne (BZ), maksymalna reakcja przekrwienia (MAX), czas maksymalnej reakcji przekrwiennej (TM), czas równy połowie hiperemii (TH) oraz wskaźnik BZ/RF. Normy wyznaczone dla metody wybranej przez autorów mają zastosowanie w przypadku oceny mikronaczyń jednopunktowym skanerem laserowym i będą służyły porównaniu wyników z grupą chorych na cukrzycę. (*Diabet. Prakt.* 2009; 10, 2: 58–64)

Słowa kluczowe: laserowa przepływometria dopplerowska, mikrokrążenie, standaryzacja

ABSTRACT

INTRODUCTION. The aim of this investigation was to designate own standards of microcirculation parameters. Despite of lack of credible standards in polish science we assessed nine microcirculation parameters in healthy subject.

MATERIAL AND METHODS. There were analyzed 40 young people (80 measurements), 27 men and 13 women were involved, mean age was 24.6 (SD 7.1). The subject fold up healthy volunteers main students. There was made methodology analyzes and investigated particular parameters. In everyone was designated 9 parameters in the rest, during occlusion test and after finishing it. We used one pointed scanner PIM II version, Perimed, Sweden. We investigated 2 limbs in everyone on the top of big toe.

Adres do korespondencji: mgr Robert Liana
Katedra i Zakład Balneologii i Medycyny Fizykalnej
CM UMK w Toruniu
ul. Leśna 3, 87-720 Ciechocinek
tel.: (054) 283 39 15, faks: (054) 283 39 45
e-mail: robert_liana@wp.pl
Diabetologia Praktyczna 2009, tom 10, 2, 58–64
Copyright © 2009 Via Medica
Nadesłano: 03.04.2009

Przyjęto do druku: 23.04.2009

RESULTS. In the table are mean values parameters with standard deviation and range of the norms.

CONCLUSIONS. Among 9 designated parameters statistical powerful was: RF, BZ, maximal hyperemia MAX, TM, TH and BZ/RF indicator.

Designated standards for one pointed scanner method can be use in practice and diagnostic and are reference to patients with microcirculatory disturbances. (Diabet. Prakt. 2009; 10, 2: 58–64)

Key words: laser Doppler flowmetry, microcirculation, standardization

Wstęp

Laserowa przepływometria dopplerowska jest uznana na świecie metodą oceny mikrokrążenia. Jednak nie ma opracowanych norm badanych parametrów w Polsce. Wyniki badań zaburzeń mikrokrążenia u chorych nie mają odniesienia do osób zdrowych. W niniejszej publikacji przedstawiono metodykę badania laserową przepływometrią dopplerowską oraz jej praktyczne zastosowanie w praktyce lekarskiej.

Anatomia i fizjologia

Mikrokrążenie to część układu sercowo-naczyniowego znajdująca się między układem tętniczym a żylnym. Kryteria podziału poszczególnych naczyń są różne — mogą się opierać na średnicy naczyń, na podziale fizjologicznym (wzrost ciśnienia i biogenna redukcja światła), według frakcji i rozmiarów, według podziału alfa-numerycznego (A1–A4 lub A5).

Na mikrokrążenie składają się naczynia o średnicy mniejszej niż 150 μm (wg Gryglewskiej i wsp. [1]; wg de Mul i wsp. [2] — mniejsze niż 0,1 mm), nazywane kapilarami. Elementy tętnicze i żyłne są połączone za pomocą tak zwanych metarterioli (kanały preferencyjne), od których odchodzi sieć naczyń włosowatych. Zawierają one tak zwane zwieracze przedwłośniczkowe, które regulują wielkość przepływu przez dane włośniczki. Zwieracze prekapilarne znajdują się w miejscu odejścia kapilar od arterioli i metarterioli, regulując liczbę otwartych włośniczek i przepływ przez nie krwi. Małe tętniczki, arteriole i metarteriole odpowiadają zaś za opór przedwłośniczkowaty [3]. Kolejnym elementem łączącym część odprowadzającą jednostki mikrokrążenia jest przetoka tętniczo-żylna. Natomiast zespolenie tętniczo-żylna (naczynia przeciekowe, *shunts*) bezpośrednio łączy tętniczki (arteriole) z żyłką (wenulą), z pominięciem sieci naczyń włosowatych [4]. Naczynia pozawłosowate, a więc wenule i małe żyłki, tworzą opór pozawłosowaty, regulujący odpływ krwi

z kapilar i decydujący o kapilarnym ciśnieniu hydrostatycznym. Skurcz mięśni gładkich ściany zespolenia (nadzór ma układ autonomiczny) powoduje zamknięcie światła zespolenia i napływ krwi do naczyń włosowatych [4]. Głównymi funkcjami mikrokrążenia są dostarczenie substancji odżywczych, wymiana dyfuzyjna gazów i metabolitów między krwią a tkankami oraz procesy termiczne i humoralne [1, 5].

Mechanizm autoregulacji

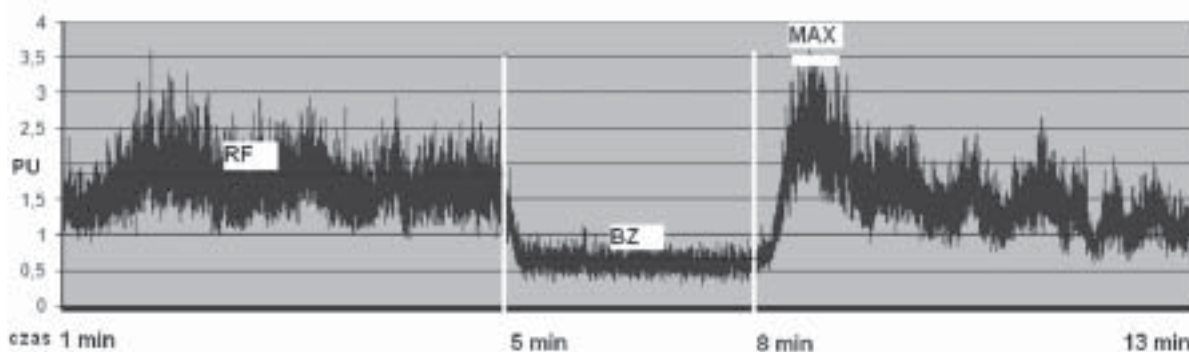
Dyfuzja stanowi podstawę wymiany pomiędzy krwią a wodną przestrzenią pozanaczyniową (zgodnie z gradientem ciśnień między częścią tętniczą a żylną). Przepływ skórny jest regulowany neurogenie (udział w tym procesie mają pozazwojowe włókna układu współczulnego) i zależy od zmian temperatury otoczenia, koncentracji ważnych substancji, takich jak tlen, oraz innych, związanych z metabolizmem. Produkty metabolizmu i niedotlenienie powodują czynność wazodylatacyjną, czyli rozkurcz zwieraczy przedwłośniczkowych w celu poprawy przepływu skórnego. Kluczową rolę w mechanizmie autoregulacji odgrywa śródbłonek (endotelium). Za pośrednictwem licznych mediatorów, uwalnianych pod wpływem czynników mechanicznych (wzrost prędkości i przepływu krwi, uszkodzenie ściany naczynia), odpowiada on za czynność naczynioruchową mikrokrążenia. Wyróżnia się 2 grupy mediatorów uczestniczących w procesie autoregulacji; należą do nich czynniki naczyniorozszerzające, jak tlenek azotu i prostacyklina, oraz obkurczające (EDCF2 i endotelina EDCF1) [1–4].

Materiał i metody

Grupę badaną stanowiło 40 osób, w tym 27 mężczyzn i 13 kobiet. Średnia wieku wynosiła 24,6 roku (odchylenie standardowe = 7,18). Uczestnicy badania byli zdrowymi ochotnikami. Młody wiek badanych pozwolił wykluczyć wpływ czynników patologicznych na funkcję mikrokrążenia. Dokonano analizy metodologicznej oraz zweryfikowano poszczególne parametry. Wszystkie procedury badania wykonano w Katedrze i Zakładzie Balneologii i Medycyny Fizykalnej, po uzyskaniu zgody Komisji Bioetycznej.

Aparatura

Założeniem badania była rejestracja odbitej fali od erytrocytów w małej objętości tkanki (około 1 mm^3). Wykorzystano punktowy skaner laserowy o mocy 1 mW w wersji PIM II firmy Perimed (Szwecja). Metoda laserowej przepływometrii dopplerowskiej została opracowana w 1964 roku przez Yeba i Cumminsa, a w 1980 roku Nillson przedstawił pierwszy przepływomierz Periflux PF-1 (Perimed) [6].



Rycina 1. Wykres graficzny zapisu czynnościowego testu okluzyjnego

Zaletami tej metody diagnostycznej są jej powtarzalność, czułość oraz nieinwazyjność. Niestety, opracowanie metodologii badania i interpretacja wyników wymagają dokładnego zrozumienia metody pomiarowej. Laserowe przyrządy doplerowskie są skalowane w jednostkach względnych, a ocena ukrwienia ma charakter porównawczy.

Na dobrze wykonaną próbę z minimalizacją błędów składa się więc wiele czynników, jak temperatura, oświetlenie czy pozycja pacjenta [7]. Do badań wykorzystano skaner laserowy o długości fali 670 nm (bliska podczerwień). Penetracja monochromatycznego światła laserowego wynosi około 1 mm w głąb tkanki. Zastosowano częstotliwość próbkowania 20 Hz z pełnym zakresem perfuzji do 10 V.

Procedura badawcza

Pomiaru dokonywano na obu kończynach dolnych, na szczycie paluchów. Jest to najbardziej reprezentatywny punkt pomiarowy. Obowiązywały pozycja leżąca na plecach oraz 15-minutowy odpoczynek pacjenta przed badaniem. Stopa badanej kończyny była unieruchomiona specjalną łuską stabilizującą. U każdego badanego wykonano test czynnościowy w postaci kontrolowanego ucisku 1/3 dalszej uda mankietem o szerokości 12 cm. Rejestrowano zapis spoczynkowy (RF, *rest flow*) w ciągu 5 min, następnie dokonano okluzji na udzie (BZ, *biological zero*) przez 3 min i rejestracji 5-minutowej reakcji przekrwiennej. Wartość ciśnienia u pacjenta była dobierana według aktualnego ciśnienia skurczowego + 50 mm Hg. Całkowity czas badania obu kończyn wynosił 26 min, z wyłączeniem czynności przygotowawczych.

Analiza zapisu

W analizie graficznej wyznaczono 9 parametrów mikrokrążenia, opierając się zarówno na polskich [8], jak i zagranicznych doniesieniach naukowych.

Przed obliczeniem parametrów mikrokrążenia (ryc. 1) pomiary były konwertowane do programu Excel, z zachowaniem jednostek perfuzyjnych (PU, *perfuzion unit* = 10 mV), zgodnie z oryginalnymi ustawieniami fabrycznymi, natomiast czasy reakcji przekrwiennej podano w sekundach. Zapis spoczynkowy reprezentowano graficznie zapisem przed dokonaniem okluzji (ryc. 1). Biologiczne zero (BZ — 3-minutowa rejestracja przy użyciu stopera) wyznaczono z obniżonej wartości graficznej wykresu dokonanego podczas okluzji. Reakcja przekrwienia cechowała się swoistym nadstrzałem (ryc. 1) uznanym za wartość szczytową zapisu (MAX). Wyznaczono także odpowiednie czasy reakcji przekrwiennej, w tym czas od momentu zaprzestania okluzji do zaobserwowania zmian ukrwienia (TL, *time of latency*), czas od chwili zaprzestania okluzji do chwili powrotu ukrwienia do wartości do RF (TR, *time of recovery*), czas maksymalnego przepływu (TM, *time of peak flow*), czas połowy hiperemii (TH, *half time of hyperaemia*) oraz wyznaczono 2 wskaźniki (tab. 1).

Analiza statystyczna

Dokonano analizy statystycznej oraz wyznaczono wartości średnie z odchyleniami standardowymi. Dla 9 analizowanych parametrów mikrokrążenia dla obu kończyn dolnych wykorzystano test U Manna-Whitneya w celu zbadania, czy analizowane próby się różnią. Przyjęto poziom istotności $\alpha = 0,05$. Aby sprawdzić korelację między pomiarami w obu kończynach, wyznaczono współczynniki korelacji *r* Pearsona.

Wyniki

W tabeli 2 przedstawiono parametry mikrokrążenia dla kończyn dolnych z wartościami średnimi oraz odchyleniem standardowym. W tabeli 3 podano średnie wartości parametrów z odchyleniami

Tabela 1. Wyznaczone parametry badań mikrokrążenia laserową metodą dopplerowską [9]

RF	Średnia wartość ukrwienia podczas zapisu spoczynkowego
BZ	Średnia wartość odczytów podczas okluzji
MAX	Wartość ukrwienia podczas szczytowego poziomu reakcji przekrwiennej
TL	Czas od momentu zaprzestania okluzji do zaobserwowania zmian ukrwienia
TR	Czas od chwili zaprzestania okluzji do chwili powrotu ukrwienia do wartości do RF
TM	Czas maksymalnego przepływu — czas od zaprzestania okluzji do chwili rejestracji maksymalnej reakcji przekrwiennej
TH	Czas od chwili zaprzestania okluzji do chwili osiągnięcia wartości (MAX + RF)/2
Wskaźnik BZ/RF	Wskaźnik wyrażający stosunek wartości przepływu zerowego do przepływu spoczynkowego
Wskaźnik MAX – RF/RF	Wskaźnik wyrażający stosunek różnicy przepływu maksymalnego i przepływu spoczynkowego do przepływu spoczynkowego

RF (*rest flow*) — przepływ spoczynkowy; BZ (*biological zero*) — zero biologiczne; MAX — maksymalna wartość hiperemii; TL — *time of latency*; TR — *time of recovery*; TM (*time of peak flow*) — czas maksymalnego przepływu; TH (*half time of hyperaemia*) — czas połowy hiperemii

Tabela 2. Dziewięć parametrów mikrokrążenia dla obu kończyn dolnych z wartościami średnimi i SD

Parametr	Średnia wartość badanych	Odchylenie standardowe badanych	U	p
RF (L)	0,94	0,61	504,500	0,000
BZ (L)	0,64	0,33	590,500	0,000
MAX (L)	2,11	1,21	471,000	0,000
TL (L)	0,27	0,23	1065,500	0,814
TR (L)	0,43	0,29	1094,000	0,985
TM (L)	0,62	0,42	603,500	0,000
TH (L)	0,96	0,66	681,500	0,002
BZ/RF (L)	0,73	0,18	719,000	0,004
MAX – RF/RF (L)	1,38	0,90	1020,000	0,562
RF (P)	0,81	0,54	337,000	0,000
BZ (P)	0,61	0,34	439,000	0,000
MAX (P)	1,81	0,90	324,000	0,000
TL (P)	0,26	0,20	999,500	0,462
TR (P)	0,39	0,20	829,000	0,042
TM (P)	0,67	0,36	660,000	0,001
TH (P)	0,90	0,49	612,500	0,000
BZ/RF (P)	0,80	0,15	511,000	0,000
MAX – RF/RF (P)	1,57	0,97	853,500	0,065

RF (*rest flow*) — przepływ spoczynkowy; BZ (*biological zero*) — zero biologiczne; MAX — maksymalna wartość hiperemii; TL — *time of latency*; TR — *time of recovery*; TM (*time of peak flow*) — czas maksymalnego przepływu; TH (*half time of hyperaemia*) — czas połowy hiperemii; L — kończyna dolna lewa, P — kończyna dolna prawa, U — test U Manna-Whitneya

Tabela 3. Zakresy norm wyznaczonych parametrów mikrokrążenia

	RF (PU)*	BZ (PU)*	MAX (PU)*	TL(s)	TR(s)	TM(s)*	TH(s)*	RF/BZ (PU)*	MAX – RF /RF (PU)
Normy	0,86	0,62	1,95	0,25	0,4	0,64	0,92	0,75	1,48
Zakres	0,86 ± 0,57	0,62 ± 0,33	1,95 ± 1,05	0,25 ± 0,2	0,4 ± 0,24	0,64 ± 0,39	0,92 ± 0,57	0,75 ± 0,16	1,48 ± 0,93

*p < 0,004, PU (*perfuzion unit*) — jednostki perfuzyjne, s — sekundy; RF (*rest flow*) — przepływ spoczynkowy; BZ (*biological zero*) — zero biologiczne; MAX — maksymalna wartość hiperemii; TL — *time of latency*; TR — *time of recovery*; TM (*time of peak flow*) — czas maksymalnego przepływu; TH (*half time of hyperaemia*) — czas połowy hiperemii

Tabela 4. Macierz korelacji badanej grupy dla poszczególnych parametrów mikrokrążenia (L — kończyna dolna lewa, P — kończyna dolna prawa, p — poziom istotności). Interpretacja: uzyskano wysokie korelacje między parametrami RF, BZ, MAX obu kończyn

	RF (P)	BZ (P)	MAX (P)	TL (P)	TR (P)	TM (P)	TH (P)	BZ/RF (P)	MAX – RF/ /RF (P)
RF (L)	0,7280 p = 0,000	0,7032 p = 0,000	0,5421 p = 0,000	-0,1222 p = 0,435	-0,2434 p = 0,116	-0,2417 p = 0,118	-0,3552 p = 0,019	-0,3643 p = 0,016	-0,3446 p = 0,024
BZ (L)	0,8092 p = 0,000	0,8421 p = 0,000	0,6379 p = 0,000	-0,0809 p = 0,606	-0,1129 p = 0,471	-0,1474 p = 0,345	-0,2861 p = 0,063	-0,2454 p = 0,113	-0,2721 p = 0,078
MAX (L)	0,5621 p = 0,000	0,5648 p = 0,000	0,5407 p = 0,000	0,0621 p = 0,692	0,0152 p = 0,923	-0,0216 p = 0,891	-0,1419 p = 0,364	-0,2811 p = 0,068	-0,1656 p = 0,288
TL (L)	-0,1592 p = 0,308	-0,1874 p = 0,229	-0,2336 p = 0,132	-0,1454 p = 0,352	-0,2373 p = 0,125	-0,1377 p = 0,379	-0,1428 p = 0,361	-0,1256 p = 0,422	-0,1325 p = 0,397
TR (L)	-0,2500 p = 0,106	-0,2666 p = 0,084	-0,2856 p = 0,063	-0,0911 p = 0,561	-0,1212 p = 0,439	-0,0721 p = 0,646	-0,1317 p = 0,400	-0,0319 p = 0,839	-0,0894 p = 0,568
TM (L)	-0,1652 p = 0,290	-0,1699 p = 0,276	-0,1674 p = 0,283	-0,0557 p = 0,723	-0,1159 p = 0,459	0,0773 p = 0,622	0,0003 p = 0,998	-0,0827 p = 0,598	-0,1317 p = 0,400
TH (L)	-0,0713 p = 0,650	-0,0803 p = 0,609	0,0450 p = 0,775	0,0524 p = 0,739	0,0098 p = 0,950	0,1073 p = 0,494	0,1439 p = 0,357	-0,0464 p = 0,768	0,0601 p = 0,702
BZ/RF (L)	-0,2700 p = 0,080	-0,1882 p = 0,227	-0,1636 p = 0,295	-0,0329 p = 0,834	0,1227 p = 0,433	0,1252 p = 0,424	0,1692 p = 0,278	0,4253 p = 0,004	0,3398 p = 0,026
MAX–RF/RF (L)	-0,1845 p = 0,236	-0,1477 p = 0,345	0,0197 p = 0,900	-0,0889 p = 0,571	0,0094 p = 0,952	0,1683 p = 0,281	0,2690 p = 0,081	0,1484 p = 0,342	0,3391 p = 0,000

RF (*rest low*) — przepływ spoczynkowy; BZ (*biological zero*) — zero biologiczne; MAX — maksymalna wartość hiperemii; TL — *time of latency*; TR — *time of recovery*; TM (*time of peak flow*) — czas maksymalnego przepływu; TH (*half time of hyperaemia*) — czas połowy hiperemii

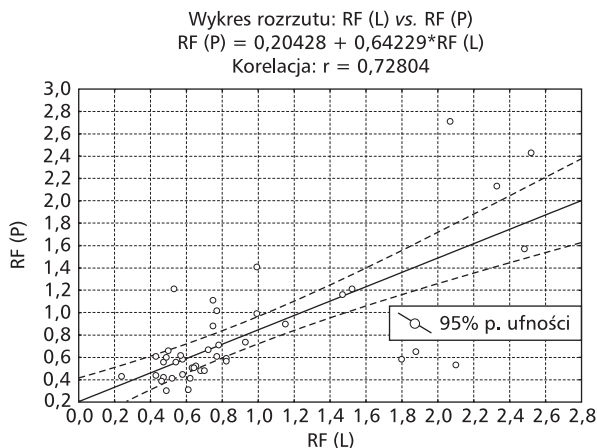
standardowymi, stanowiące zakres normy. Uzyskane normy są uśrednieniem wartości z obu kończyn. Sprawdzone także, jaka jest siła związku między badanymi zmiennymi w odniesieniu do obu kończyn dolnych grupy badanej. Wyznaczono wartości współczynnika korelacji r , stosując macierz lewej i prawej kończyny dolnej w odniesieniu do badanych parametrów (tab. 4). W odniesieniu do uzyskanych istotnych wartości zmiennych zinterpretowano wyniki w postaci krzywych. Uzyskano zależności liniowe między uzyskanymi wynikami w obu kończynach (ryc. 2–4).

Dyskusja

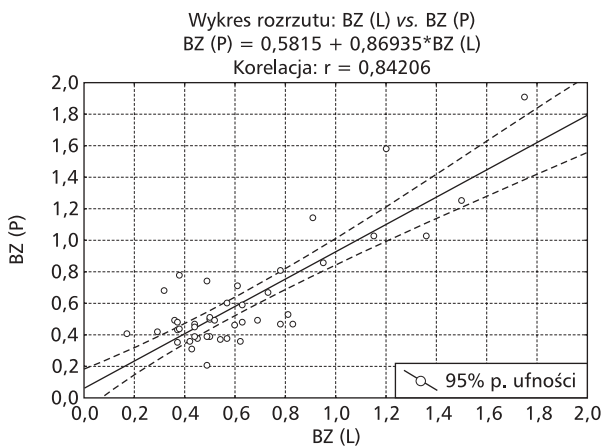
Przeprowadzone badania pozwoliły na wybór parametrów, które mają istotne znaczenie praktyczne w ocenie mikrokrążenia. Spośród 9 badanych zmiennych nie wszystkie uzyskały istotność statystyczną, co pozwala wybrać te najbardziej reprezentatywne do celów diagnostycznych. Zarówno w lewej, jak i prawej kończynie dolnej znaczącą istotność statystyczną ($p = 0,000$) uzyskały parametry RF, BZ, MAX, TM, TH oraz wskaźnik BZ/RF. Świadczy to o tym, że uzyskane wyniki nie są przypadkowe.

Potwierdzają to inni autorzy, którzy również koncentrowali się na zapisie spoczynkowym RF oraz zapisie podczas okluzji BZ [8, 10–16]. Przyjętą przez autorów metodykę czynnościowego testu okluzyjnego oparto na doświadczeniach ośrodka warszawskiego [8]. Jednak prace zespołów zagranicznych różnią się między sobą co do czasu trwania zapisu spoczynkowego, odpowiednio: 2 min [17], 5 min [11], 10 min [16] lub 15 min [2, 12], czasu okluzji, odpowiednio: 1 min [14], 2 min [18, 19], 3 min [8, 10–14, 16, 20], 4 min [15] oraz metodyki pomiaru, odpowiednio: okluzja nad kostkami [16, 18, 19], okluzja na udzie [2, 8, 12, 15, 16, 20]. Kwestią sporną jest dobór wielkości ucisku. Wydaje się, że wartość 50 mm Hg powyżej aktualnego ciśnienia skurczowego jest dobozem optymalnym do uzyskania pełnej reakcji przekrwiennej. Zakres wartości w przedziale 30–100 mm Hg powyżej ciśnienia skurczowego był wykorzystywany w projektach badawczych w większości ośrodków [8, 11, 15, 16, 19, 20].

Zdaniem Fagrella czas potrzebny do osiągnięcia maksymalnej wartości szczytowej po okluzji jest wartością mającą największe znaczenie w ocenie funkcji mikrokrążenia [21]. Również w materiale



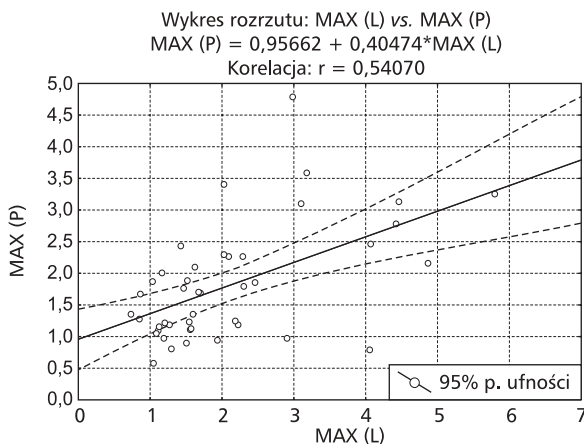
Rycina 2. Wykres rozrzutu parametru RF dla lewej i prawej kończyny dolnej w badanej grupie. Wykres rozrzutu parametru RF między kończyną prawą a lewą ma dodatnią korelację liniową. Wartość współczynnika korelacji jest bardzo wysoka ($r = 0,72$), co świadczy o dużym powiązaniu zmiennych



Rycina 3. Wykres rozrzutu parametru BZ dla lewej i prawej kończyny dolnej w badanej grupie. Wykres rozrzutu parametru BZ między kończyną prawą a lewą ma dodatnią korelację liniową. Wartość współczynnika korelacji jest bardzo wysoka ($r = 0,84$), co świadczy o dużej współzależności zmiennych

autorów parametr TM uzyskał istotność statystyczną. Według Moralesa i wsp. [12] TR jest najbardziej charakterystycznym parametrem. Zdaniem autorów TL i TR nie mają większego znaczenia praktycznego, co wcześniej zasugerowano w doniesieniu wstępnym [9].

Ciekawym wnioskiem jest fakt, że istnieje silny związek między prawą a lewą kończyną dolną. Świadczą o tym wysokie korelacje statystyczne. Brak cech choroby w prawej kończynie jest współzależny z kończyną lewą, co jest logiczne, gdyż u młodych



Rycina 4. Wykres rozrzutu parametru MAX dla lewej i prawej kończyny dolnej w badanej grupie. Wykres rozrzutu parametru MAX między kończyną prawą a lewą ma dodatnią korelację liniową. Wartość współczynnika korelacji jest wysoka ($r = 0,54$)

osób zostały wykluczone zaburzenia naczyniowe. Może mieć to bardzo ciekawe przełożenie u chorych na cukrzycę, gdyż w obrazie przedklinicznym mikrokrążenia mogą być zauważalne zmiany o charakterze symetrycznym, mimo braku deficytów angiopatycznych.

Dokonano standaryzacji metodyki laserowej przepływowmetrii dopplerowskiej w ośrodku autorów i wyznaczono zakresy norm. Będą one służyły jako matryca do porównywania parametrów mikrokrążenia z chorymi między innymi na cukrzycę. Należy jednak zaznaczyć, że wypracowane normy służą jedynie ocenie mikronaczyń jednopunktowym skanem laserowym w wersji PIM II, jaki jest dostępny w klinice autorów.

W niniejszej pracy wykazano przydatność laserowej przepływowmetrii dopplerowskiej w ocenie czynnościowego stanu mikrokrążenia. Potwierdzają to inni autorzy [22, 23]. Okazuje się, że ta metoda diagnostyczna z powodzeniem może być wykorzystywana w celach naukowych i praktycznych. Wymaga ona jednak dobrego przygotowania teoretycznego i opanowania techniki badania. W przyszłości warto byłoby zyskać pełniejszą wiedzę o stanie czynnościowym mikronaczyń, dołączając drugą metodę — oksymetrię przeskorną.

Wnioski

W niniejszej pracy przedstawiono metodykę badania laserową przepływowmetrią dopplerowską. Ma ona służyć praktycznej ocenie mikrokrążenia. Wyznaczone parametry zostały opracowane w gru-

pie młodych osób, u których fizjologiczne mechanizmy mikrocyrkulacji nie są zaburzone.

1. Stwierdzono, że spośród badanych 9 parametrów mikrokrążenia istotne statystycznie okazały się: RF, BZ, MAX, TM, TH oraz wskaźnik BZ/RF.
2. Wyznaczone normy dla metody wybranej przez autorów mają zastosowanie w przypadku oceny mikronaczyń jednopunktowym skanerem laserowym i będą służyły do porównania wyników z grupą chorych na cukrzycę

PIŚMIENNICTWO

1. Gryglewska B., Nęcki M., Grodzicki T. Mikrokrążenie a nadciśnienie tętnicze. *Nadciśnienie Tętnicze* 2001; 4: 229–234.
2. de Mul F. M., Morales F., Smith A.J., Graff R. A model for post-occlusive reactive hyperemia as measured with laser-Doppler perfusion monitoring. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 2005; 2: 184–189.
3. Konturek S. *Fizjologia człowieka. Układ krążenia*. Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2003; 211–225.
4. Żabski M., Zejc D., Ziąja J., Długaj M. Anatomia i rola mikrokrążenia. W: Ziąja K. (red.). *Mikrokrążenie — zarys chorób układu włosniczowego*. Alfa-Medica-Press, Bielsko-Biała 1997; 13–22.
5. Walewski J., Tatoń J., Kuczerowski R., Buraczewska B., Czech A. Badania mikrokrążenia w zespole wczesnej stopy cukrzycowej za pomocą dopplera laserowego. *Pol. Merk. Lek.* 1997; 7: 18–20.
6. Wróblewski T., Gross R., Pruszyński J., Kłaczko A. Postępy w diagnostyce chorób naczyń obwodowych. *Laser Doppler przepływomierz*. *Post. Nauk Med.* 1994; 7: 97–99.
7. Maniewski R., Liebert A. Pomiary ukrwienia skóry metodą laserowo-dopplerowską — zalety i ograniczenia metody. W: Nałęcz M. (red.). *Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna, X Krajowa Konferencja Naukowa, Polska Akademia Nauk, Warszawa 1997*.
8. Karnafel W., Juskowa J., Maniewski R., Liebert A., Jasik M., Zbiec A. Microcirculation in the diabetic foot as measured by multichannel laser Doppler instrument. *Med. Sci. Monit.* 2002; 8: 137–144.
9. Liana R., Chudański M., Ulrich W., Ponikowska I. Ocena mikrokrążenia laserową przepływometrią dopplerowską u chorych z wieloletnią cukrzycą — doniesienie wstępne. *Diabetol. Prakt.* 2008; 5: 195–200.
10. Mlacak B. Evaluation of blood flow disturbances in type 2 diabetic patients by laser Doppler flowmetry. *Lijec Vjesn.* 2005; 127: 215–219
11. Głowania A. Przepływometria laserowo-dopplerowska w ocenie mikrokrążenia skóry — aspekty biofizyczne i metodologiczne badania. *Med. Metabol.* 2002; 4: 71–82.
12. Morales F., Graff R., Smit A.J. i wsp. How to assess post-reactive hyperaemia by means of laser Doppler perfusion monitoring: application of a standardized protocol to patients with peripheral arterial obstructive disease. *Microvasc. Res.* 2005; 69: 17–23.
13. Ostergen J., Schops P., Fagrell B. Evaluation of a laser Doppler multiprobe for detecting skin microcirculatory disturbances in patients with obliterative arteriosclerosis. *Int. Angiol.* 1988; 7: 37–41.
14. Jorreskog G., Brismar K., Fagrell B. Pronounced skin capillary ischemia in the feet of diabetic patients with bad metabolic control. *Diabetologia* 1998; 41: 410–415.
15. Ciecierski M., Piotrowicz R., Jawień A. Skin microcirculation in the diabetic type 2 patients. *Acta Angiol.* 2001; 3/4: 69–78.
16. Jasik M., Karnafel W., Liebert A. i wsp. Wczesne zaburzenia mikrokrążenia u chorych ze świeżo wykrytą cukrzycą typu 1 oceniane metodą laserowo-dopplerowską. *Diabetol. Pol.* 2002; 9: 110–114.
17. Wahlberg E., Jorreskog G., Olofsson P., Swedenborg J., Fagrell B. The influence of reactive hyperemia and leg dependency on skin microcirculation in patients with peripheral arterial occlusive disease (PAOD), with and without diabetes. *VASA* 1990; Band 19, Heft 4: 301–305.
18. Ray S.A., Buckenham T.M., Belli A.M., Taylor R.S., Dormandy J.A. The association between laser Doppler reactive hyperaemia curves and the distribution of peripheral arterial disease. *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 1999; 17: 245–248.
19. Wilson S.B., Jennings P.E., Belch J.J.F. Detection of microvascular impairment in type 1 diabetics by laser Doppler flowmetry. *Clin. Physiol.* 1992; 12: 195–208.
20. Matsubara J., Narumi J., Nagasue M., Sakamoto S., Yuasa K., Shimizu T. Postocclusive reactive hyperemia during vascular reconstruction. *Int. J. Angiol.* 1998; 7: 222–227.
21. Fagrell B. Microcirculatory methods for the clinical assessment of hypertension and ischemia. *Ann. Biomed. Eng.* 1986; 14: 163–173.
22. Rosi M., Cupisti A., Perrone L., Mariani S., Santoro G. Acute effect of exercise-induced leg ischemia on cutaneous vasoreactivity in patients with stage II peripheral artery disease. *Microvasc. Res.* 2002; 64: 14–20.
23. Ubbink T. Toe blood pressure measurement in patients suspected of leg ischaemia; a new laser doppler device compared with photoplethysmography. *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2004; 27: 629–634.