

Metody oceny funkcji naczyń — pletyzmografia

Jolanta Neubauer-Geryk, Leszek Bieniaszewski

Zakład Fizjologii Klinicznej, Katedra Nadciśnienia Tętniczego i Diabetologii Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego

Zmniejszony przepływ narządowy jest współodpowiedzialny za powikłania sercowo-naczyniowe. *Strain-gauge plethysmography* to nieinwazyjna metoda oceny obwodowego przepływu krwi. Istnieje możliwość oceny zarówno odpływu żylnego, jak i napływu tętniczego. Metoda ta znalazła zastosowanie w badaniach wielu stanów patologicznych, obejmujących zarówno część tętniczą, jak i żylną układu naczyniowego. Stosuje się ją między innymi w diagnostyce zakrzepicy żył głębokich, przewlekłej niewydolności żylniej, zespołu pozakrzepowego oraz w ocenie hemodynamicznych zmian i efektów po angioplastyce, a także do oceny wpływu leków na obwodowe krążenie krwi. W piśmiennictwie szeroko omówiono przedziały wartości prawidłowych oraz ich zmiany w niektórych stanach, takich jak nadciśnienie tętnicze czy otyłość.

Choroby Serca i Naczyń 2009, 6 (4), 184–187

Słowa kluczowe: obwodowy przepływ krwi, pletyzmografia typu strain-gauge, funkcja naczyń

Zmniejszony przepływ narządowy wiąże się ze zwiększeniem zachorowalności i śmiertelności z powodu chorób układu sercowo-naczyniowego. Ilościowe badanie przepływu krwi zarówno jest warunkiem określenia stopnia ukrwienia tkanek i narządów, jak i pozwala na prawidłowe wnioskowanie o mechanizmach regulacji krążenia w warunkach fizjologicznych oraz patologicznych [1–6].

Znaczenie łożyska naczyniowego w obrębie mięśni dla wywoływania oporu obwodowego — a w konsekwencji dla rozwoju nadciśnienia samoistnego — spowodowało zainteresowanie badaczy zależnościami między przepływem krwi w tym obszarze a niektórymi cechami morfologicznymi i czynnościowymi organizmu.

Idealna metoda oceny obwodowego przepływu krwi u człowieka powinna być nieinwazyjna i nie-

uciążliwa dla badanych. Powinna dostarczać dokładnych, powtarzalnych wyników w wielokrotnych pomiarach, dokonanych w tych samych warunkach. Metoda taka powinna pozwalać na rejestrację przepływu w sposób ciągły i bezpośredni. Pletyzmografię wodną uważa się za badanie referencyjne w ocenie dokładności pomiaru innych metod, służących do oceny przepływu krwi przez naczynia obwodowe (tab. 1).

W ostatnich latach do pomiaru przepływu krwi przez naczynia stosuje się urządzenia wykorzystujące zmiany oporności elastycznego czujnika w czasie jego odkształcania wywołanego napływem krwi (ang. *strain-gauge plethysmography*) [1]. Po raz pierwszy metodę tę omówił od strony teoretycznej oraz zademonstrował Whitney w 1953 roku [7]. W tabeli 1 przedstawiono cechy tej metody w zestawieniu z cechami pletyzmografii wodnej oraz niektórych innych metod nieinwazyjnych, służących do oceny przepływu obwodowego krwi.

Mimo że dokładność pomiaru pojemności układu żylnego za pomocą pletyzmografii typu *strain-gauge* jest nieco mniejsza niż w prawidłowo wykonanym badaniu z zastosowaniem pletyzmografii wodnej to —

Adres do korespondencji:

dr n. med. Jolanta Neubauer-Geryk
Zakład Fizjologii Klinicznej
Katedra Nadciśnienia Tętniczego i Diabetologii
Gdański Uniwersytet Medyczny
ul. Dębinki 7c, 80–952 Gdańsk
tel.: 0 58 349 23 40, faks: 0 58 349 23 41
e-mail: jolaneub@amg.gda.pl

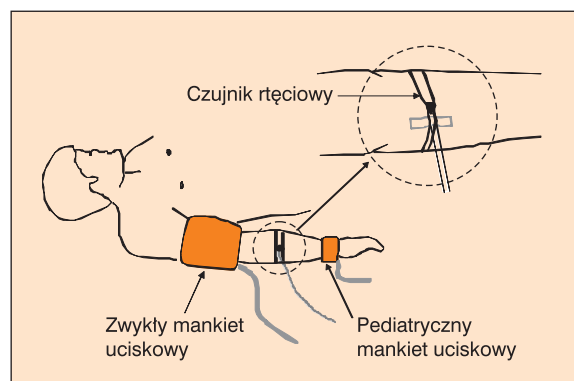
Tabela 1. Porównanie metod oceny przepływu krwi w kończynach (opracowano na podstawie [8])

Metoda	Dokładność	Komfort badania dla pacjenta	Prostota badania
Pletyzmografia wodna (<i>water plethysmography</i>)	+++	+++	++
Pletyzmografia strain-gauge (<i>strain-gauge plethysmography</i>)	+++	+++	+++
Wskaźnik rozcieńczenia (<i>dilution indicator</i>)	+++	+	+
Kalorymetria zewnętrzna (<i>external calorimetry</i>)	++	+++	++
Pomiar temperatury skóry (<i>skin temperature</i>)	++	++++	++++
Pulsacja objętościowa (<i>volume pulsation</i>)	+	+++	++
Wskaźnik klirensu (<i>clearance indicator</i>)	++	++	++
Doppler (<i>Doppler</i>)	+	++++	+++

ze względu na możliwość oceny między innymi szybkiego napływu tętniczego i zdecydowanie większą łatwość wykonania badania — metoda ta zastąpiła pletyzmografię wodną [7, 9].

Pletyzmografia typu *strain-gauge* to dobra i dokładna technika pomiarowa zmian objętości kończyn lub palców. Istnieje ponadto możliwość oceny zmian objętości bardzo krótkich segmentów kończyny oraz jednoczesnych zapisów z różnych części tej samej kończyny. Czujniki kończynowe znalazły zastosowanie w ocenie napływu tętniczego, pojemności żyłnej oraz odpływu żylnego. Natomiast czujniki palcowe służą do pomiaru ciśnienia na palcu oraz oceny napływu tętniczego. Oba typy czujników można wykorzystać do zapisu fali tętna. Pletyzmografia typu *strain-gauge* pozwala zmierzyć zmiany objętości badanego segmentu ciała w przeliczeniu na 100 cm³ oraz na minutę [10].

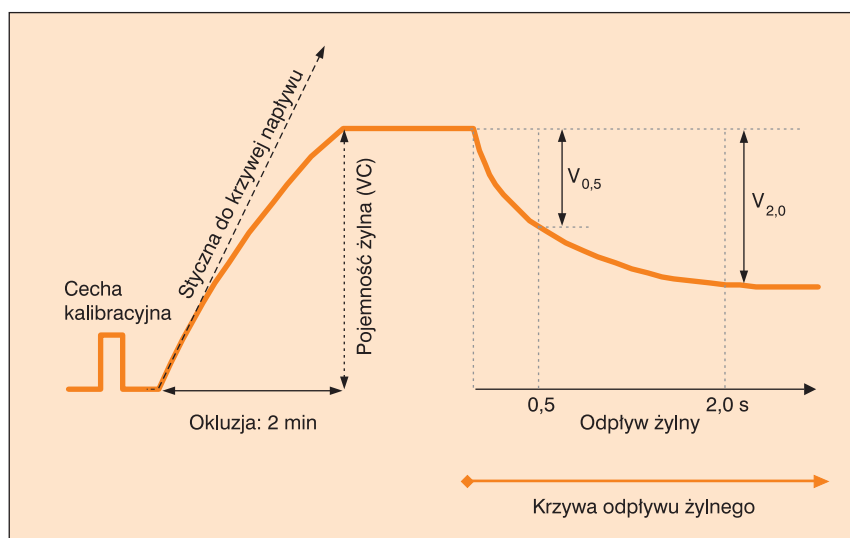
Zasada pomiarowa wykorzystana w pletyzmografii *strain-gauge* polega na założeniu, że oporność elastycznego czujnika otaczającego kończynę zmienia się proporcjonalnie do zmian obwodu badanej części kończyny. Zatrzymanie odpływu żylnego (będącego następstwem uciśnięcia żył przez napęczniony powietrzem mankieta sfigmomanometru do wartości ciśnienia nieutrudniającego napływu tętniczego) powoduje zwiększenie objętości przedramienia, dystalnie od mankieta, proporcjonalne do wielkości napływu tętniczego. Zastosowanie mankieta nadgarstkowego, wypełnianego powietrzem do ciśnienia 240 mm Hg, pozwala na ocenę dynamiki zmian przepływu przez przedramię z wyłączeniem trudnego do oceny ukrwienia obszaru dłoni (ryc. 1).



Rycina 1. Pletyzmografia typu *strain-gauge* (objaśnienia w tekście). Opracowano na podstawie instrukcji pletyzmografu typu EC 5R (Hokanson, Bellevue, USA) [10]

Badania wykonuje się po 10 minutach adaptacji do odpowiedniej pozycji ciała. Pacjent nie powinien palić tytoniu. Wykonywanie badania na czczo jest bardzo istotnym elementem procedury, ponieważ z piśmienictwa wiadomo, że po obfitym posiłku wzrasta znacznie zarówno przepływ przez podudzie, jak i przez przedramię (o 40–60%) oraz zwiększają się pojemność żylna (VC, *venous capacity*) — o 25–40% i maksymalny odpływ żylny (VO, *venous outflow*) — o 20–25%.

Trzydzieści sekund przed początkiem rejestracji łączy się krążenie w obszarze dłoni (przez wytworzenie ciśnienia ok. 240 mm Hg w umieszczonym na nadgarstku mankiecie pediatorycznym). Okluzji układu żylnego przedramienia dokonuje się, wytwarzając w mankiecie sfigmomanometru umieszczonym na ramieniu ciśnienie 50 mm Hg w czasie w czasie 0,5 sekundy za pomocą szybkiej pompy. Po 2 minutach rejestracji gwałtownie uwalnia się powietrze z obu mankieta, kontynuując rejestrację sygnału z pletyzmografu przez dalsze 30 sekund (ryc. 2).



Rycina 2. Schemat krzywej pletyzmograficznej; VC — *venous capacity*

Badanie **szybkiego napływu tętniczego** (FBF, *fast blood flow*) przeprowadza się najczęściej w pozycji leżącej, z zastosowaniem mankietu szybkiego napełniania, po uprzednim odcięciu krążenia w obszarze dłoni. Analizuje się kilka (zwykle 10) cykli pomiarowych, trwających po 5 sekund każdy, przedzielonych 15-sekundowymi przerwami. Indeksy przepływu krwi są obliczane jako średnia z wartości uzyskanych z poszczególnych pomiarów. Wskaźniki przepływu krwi przez przedramię wyznacza się metodą graficzną z krzywej pletyzmograficznej. Należą do nich parametry opisujące krążenie żylna: VC, VO, oraz indeks $V_{0,5-2,0}$ (zmiana odpływu żylnego między 0,5 a 2 s od momentu zwolnienia blokady układu żylnego) [11]. Do parametrów opisujących krążenie tętnicze należą: napływ tętniczy (AI, *arterial inflow*), obliczany jako współczynnik kierunkowy linii stycznej do krzywej pletyzmograficznej w początkowym okresie okluzji żylny, oraz FBF, wyznaczany na podstawie współczynnika kierunkowego linii wyznaczonej przez punkty krzywej pletyzmograficznej, odpowiadające 2. i 4. ewolucji serca.

Metoda oceny FBF charakteryzuje się większą precyzją niż ocena AI wyznaczana z pełnej krzywej pletyzmograficznej, w przypadku której dokładność w dużej mierze zależy od dokładności wyznaczenia stycznej do krzywej, czyli tangensa kąta nachylenia tej linii [12]. Wielkość wskaźników tętniczych w grupie zdrowych mężczyzn w wieku 16–58 lat (mediana

41 lat) wynosi odpowiednio: dla AI — 3,64 (2,98–4,72) $\text{cm}^3/100 \text{ cm}^3/\text{min}$, dla FBF — 2,65 (2,13–3,15) $\text{cm}^3/100 \text{ cm}^3/\text{min}$ [13].

W piśmiennictwie stwierdza się, że u osób z prawidłowymi wartościami ciśnienia napływ tętniczy jest znacznie większy [5, 14], a wartość minimalnego oporu naczyniowego jest niższa niż u pacjentów z nadciśnieniem tętniczym [15].

Longhini i wsp. [15] nie stwierdzili korelacji między minimalnym oporem naczyniowym a średnimi wartościami z 24-godzinnego pomiaru ciśnienia tętniczego w grupie osób z prawidłowym ciśnieniem; taka korelacja ujawniła się u osób z nadciśnieniem dopiero po korekcie do wieku badanych.

Na podstawie badań przeprowadzonych w grupie mężczyzn z prawidłowymi wartościami ciśnienia tętniczego stwierdzono znamiennej korelację między FBF a ciśnieniem skurczowym określanym zarówno dla okresu 24 godzin, jak i oddzielnie dla okresów snu i czuwania [12].

Wielkość napływu tętniczego (FBF) nie różniła się znacznie między podgrupami wyodrębnionymi ze względu na wartość wskaźnika masy ciała (BMI, *body mass index*) [13]. Stwierdzono istnienie znamiennej korelacji między zmniejszeniem masy ciała a zmianami w napływie tętniczym przedramienia. Z badań Nestela i wsp. [16] wynika, że parametry charakteryzujące otyłość (zwiększone: masa ciała, BMI, obwód pasa) wprawdzie korelowały ze zmianami w oporze

Tabela 2. Porównanie metod pletyzmograficznych (na podstawie [17])

Metoda	Strain-gauge	Impedancyjna	Pojemnościowa	Objętościowa
Zmienność (%)	6–28	4–14	8	14
Dokładność (%)	85*	98†	ND	78‡
Korelacja	0,80–0,95	0,98†	0,94†	0,86‡
Prostota badania	++++	++/+++	++++	+

*W porównaniu z pletyzmografią objętościową; †w porównaniu z pletyzmografią *strain-gauge*; ‡w porównaniu z metodą klirensu ksenonu (Xe^{131}); ND — niedostępne

obwodowym spowodowanymi podaniem noradrenaliny, ale podstawowy przepływ krwi (FBF) nie korelował z parametrami otyłości. W badaniach własnych [13], w populacji mężczyzn, autorzy niniejszej pracy nie stwierdzili zależności między wskaźnikami antropometrycznymi a FBF. Jednak u mężczyzn z BMI większym lub równym $27,2 \text{ kg/m}^2$ wykazali odwrotną zależność między FBF a bezwzględną tłuszczową masą ciała ocenianą cyrklem antropometrycznym.

W piśmiennictwie są doniesienia o korelacji między zmniejszeniem masy ciała a zmianami w AI przedramienia. Potwierdzają to wyniki badań własnych autorów [13], w których stwierdzono odwrotnie proporcjonalną zależność AI i bezwzględnej beztłuszczowej masy ciała, zaś w podgrupie otyłych wykazano wprost proporcjonalną zależność między FBF a procentowym udziałem tkanek nietłuszczowych w budowie ciała.

Strain-gauge plethysmography (tab. 2) [17] jest ogólnie przyjętą, dokładną i prostą metodą przydatną do badania mechanizmów regulacji naczyniowej [1, 2] oraz określania oporu naczyniowego [1, 3, 4, 14, 15]. Metodę tę stosuje się w badaniach wielu stanów patologicznych, obejmujących zarówno część tętniczą, jak i żylną układu naczyniowego. Stosuje się ją między innymi w diagnostyce zakrzepicy żył głębokich [11], przewlekłej niewydolności żylną [6], zespołu pozakrzepowego oraz w ocenie hemodynamicznych zmian i efektów po angioplastyce, jak również do oceny wpływu leków na krążenie obwodowe krwi [1, 2–5, 9].

PIŚMIENICTWO

1. Altenkirch H.U., Fransson L., Koch G. Assessment of arterial and venous circulation in upper and lower extremities by venous occlusion strain gauge plethysmography. Normal values and reproducibility. *VASA* 1989; 18: 140–145.

2. Benjamin N., Calver A., Collier J., Robinson B., Vallance P., Webb D. Measuring forearm blood flow and interpreting the responses to drugs and mediators. *Hypertension* 1995; 25: 918–923.
3. Hayoz D., Weber R., Pechere A., Burnier M., Brunner H.R. Heterogenous vascular response to vasopressin: radial artery versus forearm blood flow. *J. Hypertens.* 1997; 15: 35–41.
4. Sakai K., Imaizumi T., Masaki H., Takeshita A. Intra-arterial infusion of insulin attenuates vasoreactivity in human forearm. *Hypertension* 1993; 22: 67–73.
5. Stein C.M., Nelson R., Deegan R., He H., Wood M., Wood A.J.J. Forearm beta adrenergic receptor-mediated vasodilation is impaired, without alteration of forearm norepinephrine spillover, in borderline hypertension. *J. Clin. Invest.* 1995; 96: 579–585.
6. Struckmann J.R., Vissing S.F., Hjortso E. Ambulatory strain-gauge plethysmography and blood volume scintimetry for quantitative assessment of venous insufficiency. *Clin. Physiol.* 1992; 12: 277–285.
7. Whitney R.J. The measurement of volume changes in human limbs. *J. Physiol.* 1953; 121: 1–27.
8. Roddie I.C., Wallace W.F.M. Methods for the assessment of the effects of drugs on the arterial system in man. *Br. J. Clin. Pharmacol.* 1979; 7: 317–323.
9. Kety S.S. Measurement of regional circulation by the local clearance of radioactive sodium. *Am. Heart J.* 1949; 38: 321–328.
10. Hokanson D.E. EC5R plethysmograph. Manual. Bellevue, Stany Zjednoczone 1995.
11. Cramer M., Beach K.W., Strandness D.E.J. The detection of proximal deep vein thrombosis by strain gauge plethysmography through the use of an outflow/capacitance discriminant line. *Bruit* 1983; 7.
12. Neubauer J., Bieniaszewski L., Kruszewski P., Świerblewska E., Juzwa W., Krupa-Wojciechowska B. Zależności pomiędzy ciśnieniem tętniczym a wskaźnikami opisującymi przepływ krwi przez przedramię. *Nadciśnienie Tętnicze* 1998; 2: 218–227.
13. Neubauer-Geryk J. Pletyzmograficzna ocena przepływu krwi przez kończynę górną u zdrowych mężczyzn w zależności od wybranych czynników antropometrycznych. Rozprawa doktorska. Akademia Medyczna w Gdańsku, Gdańsk 2001.
14. Carberry P.A., Shepard A.M.M., Johnson J.M. Resting and maximal forearm skin blood flows are reduced in hypertension. *Hypertension* 1992; 20: 349–355.
15. Longhini C.S., Scorzoni D., Bazzanini F. i wsp. The structural arteriolar changes in diabetes mellitus and essential hypertension. *Eur. Heart J.* 1997; 18: 1135–1140.
16. Nestel P.J., Yamashita T., Sasahara T. i wsp. Control of the forearm microcirculation: interactions with measures of obesity and noradrenaline kinetics. *Clin. Sci. (Colch.)* 1998; 95: 203–212.
17. Corbally M.T., Brennan M.F. Noninvasive measurement of regional blood flow in man. *Am. J. Surg.* 1990; 160: 313–321.