

# Pletyzmografia impedancyjna — ocena całkowitego przepływu krwi w przedramieniu

Janusz Siebert, Artur Poliński<sup>1</sup>, Jan Rogowski<sup>2</sup>

I Klinika Chorób Serca Instytutu Kardiologii Akademii Medycznej w Gdańsku

<sup>1</sup> Katedra Elektroniki Medycznej i Ekologicznej Politechniki Gdańskiej

<sup>2</sup> Klinika Kardiologii Akademii Medycznej w Gdańsku

## Impedance plethysmography — forearm blood flow

*Impedance plethysmography application to the measurement of blood flow in upper extremities is presented. The four-electrode impedance plethysmography was used to calculate blood flow in forearm in 16 health people. Calculated blood flow is from 0.024 to 0.0515 with average  $0.0402 \pm 0.008$  ml/100 ml tissue/1 heart cycle. High correlation  $r = 0.97$  was obtained for measurement with different electrode distance. (Folia Cardiol. 1999; 6: 359–362)*

## forearm blood flow, impedance plethysmography

### Wstęp

W ostatniej dekadzie do pomostowania tętnic wieńcowych stosowane są przeszła tętnicze. Jedną z tętnic używanych do tego celu jest tętnica promieniowa. Przed pobraniem tętnicy promieniowej należy sprawdzić wydolność ukrwienia ręki z zakresu pozostałych tętnic. Najczęściej stosowany jest test Allena polegający na uciśnięciu tętnicy promieniowej i obserwacji stanu ukrwienia ręki. Jest to ocena jakościowa [1, 2]. Interesującym wydaje się problem ilościowej oceny ukrwienia przedramienia przed i po pobraniu tętnicy promieniowej do pomostowania tętnic wieńcowych [3]. Metodą, która pozwala rozwiązać ten problem, jest pomiar zmian impedancji przedramienia. Zmienność impedancji elektrycznej badanego obszaru powodowana tętniącym przepływem krwi stanowi istotę pletyzmografii impedancyjnej. Badanie pletyzmograficzne ma charakter nieinwazyjny, pomiary impedancji elektrycznej dokonuje się z zewnątrz obszaru tkankowego. Uzyskiwana ocena obejmuje cały obszar ba-

dany — zawierający wiele naczyń. Nie można zatem wyniku odnosić do pojedynczej tętnicy. Jednak wykorzystując proste modele fizyczne można uzyskać dane o wskaźnikach przepływu krwi w kończynie przydatne w praktyce klinicznej. Usystematyzowana analiza metody została opublikowana w 1950 roku [4]. Podstawy teoretyczne metody analizowali Geselowitz i Mortarelli [5, 6]. Rozważania teoretyczne o poprawności metody przedstawiono w osobnym doniesieniu [7]. W Polsce nad wykorzystaniem metod impedancyjnych do celów diagnostycznych zajmowali się m.in. Pałko i Pawlicki [8–10]. Przy kolejnych badaniach wykonywanych u pacjenta w różnym czasie jest prawdopodobne odmienne umieszczenie elektrod pomiarowych. Próba zastosowania pletyzmografii impedancyjnej do oceny przepływu krwi w kończynie przed i po pobraniu tętnicy promieniowej wymaga określenia, jak zmiana położenia elektrod pomiarowych może wpływać na uzyskane wyniki.

### Cel pracy

Określenie przepływu krwi w przedramieniu u osób zdrowych za pomocą pletyzmografii impedancyjnej oraz porównanie wyników uzyskanych z pomiarów wykonanych zestawami o różnych odległościach elektrod.

Adres do korespondencji: Dr Janusz Siebert  
Międzyuczelniana Pracownia Chorób Serca i Naczyń  
I Klinika Chorób Serca IK AMG  
ul. Dębinki 7a, 80–211 Gdańsk  
Nadesłano: 20.09.1999 r. Przyjęto do druku: 22.12.1999 r.

## Materiał i metody

Zastosowano pletyzmograf impedancyjny do badań oceny przepływu tkankowego krwi w przedramionach. Zbadano 16 zdrowych mężczyzn w wieku 25–40 lat, średnio 32 lata. Zastosowano tetrapolarny układ elektrod. Badania wykonano zmodyfikowanym pletyzmografem impedancyjnym cztero-elektrodowym wykonanym w ramach programu badawczego Akademii Medycznej W-90 [11]. Adaptację systemu pomiarowego wykonano na Politechnice Gdańskiej. Opaskowe aluminiowe elektrody prądowe i opaskowe elektrody pomiarowe rozmieszczono okrężnie wokół przedramienia. W miejscu umieszczenia elektrod mierzono obwody przedramienia oraz odległość między nimi. Na podstawie tych danych obliczano objętość badanego segmentu. Na badanym przedramieniu mocowano dwa zestawy pomiarowe o różnej odległości między elektrodami. Badania wykonywano jednocześnie dwoma zestawami. Stosowano prąd 1mA i 50 kHz. Badania wykonywano w stałej temperaturze otoczenia w pomieszczeniu ekranowanym. Do obliczeń uśredniano wyniki zmian impedancji przedramienia  $\Delta Z$ , uzyskiwane bez stosowania okluzji żylniej, w czasie dwuminutowej rejestracji. Wyliczenia oparto na zależnościach w pletyzmografii impedancyjnej opracowanych przez Nyboera [4]:

$$\Delta V = - \frac{\rho_k L^2 \Delta Z}{Z^2}$$

Gdzie:  $\Delta V$  — zmiana objętości krwi w segmencie [ml];  $\Delta Z$  — zmiana impedancji [ $\Omega$ ];  $Z$  — impedancja segmentu kończyny [ $\Omega$ ];  $L$  — odległość pomiędzy elektrodami napięciowymi [cm];  $r$  — rezystywność kończyny ( $\Omega \cdot \text{cm}$ ).

Analizę wyników wykonano metodą *off-line*. Wyniki kliniczne przedstawiono w postaci wartości średniej  $\pm$  odchylenie standardowe oraz regresji liniowej.

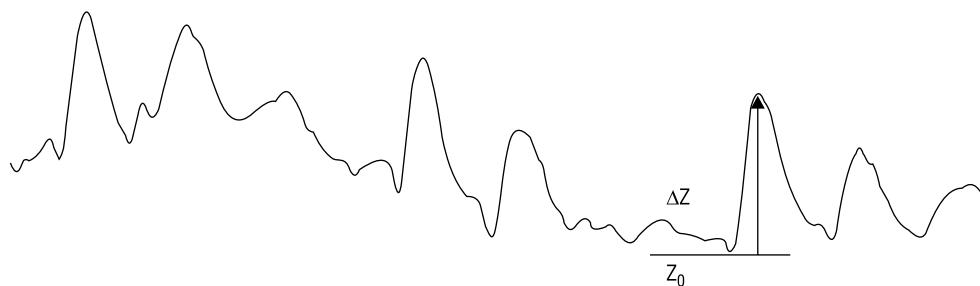
## Wyniki

Kliniczne badania przepływu krwi w przedramionach przeprowadzono u 16 zdrowych osób. Zmiany impedancji przedramienia rejestrowano jednocześnie dwoma zestawami. Przykład uzyskanego zapisu pletyzmogramu impedancyjnego przedstawiono na rycinie 1. Badanie wykonano stosując pomiar wartości zmian impedancji —  $\Delta Z$  w odniesieniu do impedancji podstawowej —  $Z_0$ . Krzywa zmian impedancji zależnych od przepływu krwi jest dobrze widoczna. Zestawy różniły się odstępem elektrod pomiarowych. Oznakowano elektrody jako wewnętrzne i zewnętrzne. Porównanie wyników uzyskanych za pomocą tych dwóch zestawów przedstawiono na rycinie 2. Istnieje ścisła relacja między uzyskanymi wynikami. Została ona opisana równaniem regresji liniowej  $y = 0,929172 X + b$ ; gdzie  $y$  to wartości przepływu tkankowego krwi wyliczone z elektrod wewnętrznych,  $X$  — wyniki uzyskane z elektrod zewnętrznych, stała  $b = 0,1$ . Korelacja między wynikami wyniosła 0,97 przy  $p < 0,00001$ . Wydaje się, że tak wysoka korelacja wskazuje na powtarzalność wyników uzyskiwanych metodą pletyzmografii impedancyjnej przy stosowaniu różnych odległości elektrod pomiarowych. W celu lepszego obrazowania graficznego wyniki przedstawiono od wartości najmniejszych do największych.

W grupie 16 badanych wyliczono przepływ krwi w przedramieniu. Zakres wartości wynosił 0,024–0,052 ml/100 ml tkanki/1 cykl serca, średnio 0,0402 ml (ryc. 3).

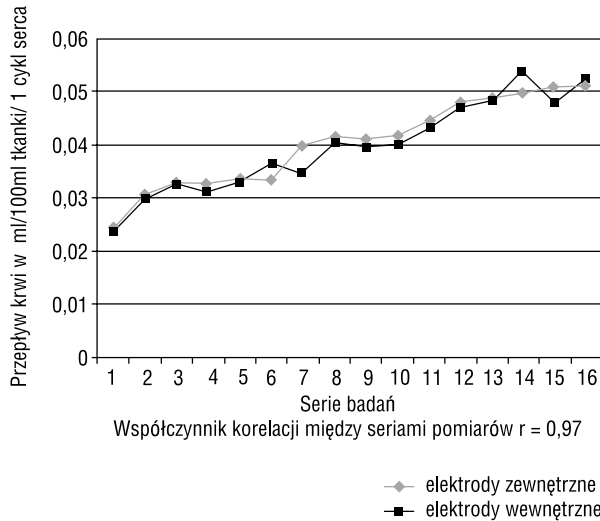
## Omówienie

Rewaskularyzacja serca za pomocą pomostów tętniczych ma ugruntowaną pozycję u chorych z chorobą wieńcową. Pomosty tętnicze charakteryzują się lepszym efektem odległym w porównaniu z pomostami żylnymi. Po dziesięciu latach od ope-



**Ryc. 1.** Przykład zapisu zmian pletyzmogramu impedancyjnego przedramienia prawego osoby zdrowej w wieku 28 lat.  $\Delta Z$  — zmiana impedancji.

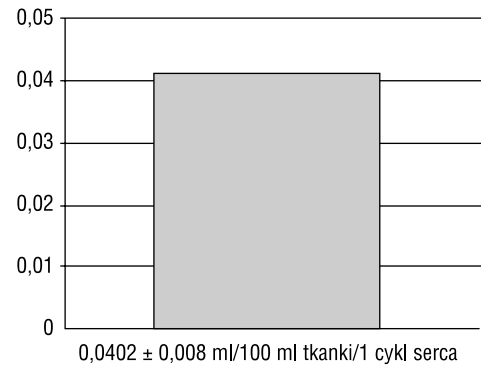
**Fig. 1.** Impedance plethysmographics pattern from right forearm of a healthy individual aged 28.



**Ryc. 2.** Całkowity przepływ krwi w przedramionach 16 zdrowych mężczyzn. Wyniki uzyskano z jednoczesnej rejestracji pletyzmogramu impedancyjnego z dwóch zestawów elektrod pomiarowych.

**Fig. 2.** Forearm blood flow. The four electrode impedance plethysmography was used to calculate blood flow in forearm in 16 health people. The data were obtained simultaneously by two sets of voltage electrodes.

racji drożnych jest tylko około 40–60% pomostów żylnych, natomiast pomosty tętnicze są drożne w 85–95% [12]. W naszym ośrodku rutynowo stosowane są przeszła z tętnic piersiowych wewnętrznych oraz tętnicy promieniowej. Przed pobraniem tętnicy promieniowej oceniane jest ukrwienie ręki za pomocą testu Allena [1, 2]. Jest to jednak metoda jakościowa, nie dająca wglądu w wielkość przepływu krwi przez przedramię. W przeglądzie dostępnego piśmiennictwa nie znaleźliśmy wyników badań oceniających stan ukrwienia przedramienia przed i po pobraniu tętnicy promieniowej do pomostowania tętnic wieńcowych. Skłoniło to nas do przygotowania badań mających na celu ocenę ukrwienia ręki po pobraniu tętnicy promieniowej. W drodze wyboru właściwej techniki do takich badań postanowiliśmy określić przydatność metod impedancyjnych. Technika impedancyjna jest prostą metodą pomiarową, w której uzyskany wynik nie jest uzależniony od doświadczenia badającego, jak jest to obserwowane w technikach dopplerowskich. Pomiar prowadzony jest automatycznie. Zależy jednak od czynników opisanych przez nas w pracy oceniającej samą metodę badawczą [7]. Jednym z czynników mogących zmieniać warunki pomiaru



**Ryc. 3.** Średni przepływ krwi w przedramionach 16 zdrowych mężczyzn. Wyniki uzyskane za pomocą pletyzmografii impedancyjnej.

**Fig. 3.** Forearm blood flow obtained by impedance plethysmography in 16 healthy men.

jest wielkość badanego segmentu. Do takiej sytuacji może dochodzić podczas kontrolnych pomiarów przedramienia u chorego przed i po zabiegu operacyjnym. Zmianę objętości może powodować różne umiejscowienie elektrod zestawu pomiarowego na powierzchni przedramienia. Do zmiany objętości badanego segmentu może dochodzić również w wyniku zmiany masy ciała w kilka miesięcy po zabiegu operacyjnym mimo utrzymania tej samej odległości elektrod pomiarowych.

Przeprowadzone przez nas badania, wykonane w tym samym czasie, obejmujące różne objętości tego samego przedramienia, wykazały bardzo dobrą korelację między wynikami przepływu tkankowego krwi. Obserwacja wskazuje na możliwość poprawnego zastosowania pletyzmografii impedancyjnej do oceny zmian przepływu tkankowego krwi u chorych przed i po pobraniu tętnicy promieniowej. Metoda może być stosowana do dalszych badań klinicznych.

Do badań przepływu krwi w kończynach stosowane są techniki dopplerowskie, pletyzmografii powietrznej, wodnej oraz *strain gauge*. Wielkości przepływów krwi w przedramionach wyliczane tymi metodami są porównywalne z wynikami uzyskanymi za pomocą pletyzmografii impedancyjnej [13–15]. W odróżnieniu od technik dopplerowskich obrazujących przepływ przez pojedyncze naczynie, pletyzmografia pozwala na wyliczenie całkowitego przepływu krwi przez kończynę.

## Wnioski

1. W grupie 16 zdrowych osób przepływ krwi wynosił  $0,0402 \pm 0,008$  ml/100 ml tkanki przedramienia w czasie jednego cyklu serca.
2. Serie wyników przepływu krwi w przedramieniu uzyskane z dwóch rozstawów elektrod pomiarowych pletyzmografu impedancyjnego są porównywalne i wykazują dobrą korelację z wysokim współczynnikiem  $r = 0,97$ .

## Streszczenie

### Pletyzmografia impedancyjna — przepływ krwi w przedramieniu

*W pracy przedstawiono zastosowanie metody pletyzmografii impedancyjnej do pomiaru przepływu krwi w kończynach górnych człowieka. Zastosowano czteroelektrodową pletyzmografę impedancyjną do wyznaczenia zakresu przepływu tkankowego krwi w przedramionach 16 osób zdrowych. Badania wykonano jednocześnie dwoma zestawami pomiarowymi. Wyliczono, że przepływ krwi w przedramieniu wynosi  $0,024-0,0515$ , średnio  $0,0402 \pm 0,008$  ml/100 ml tkanki/1 cykl serca. Wykazano dobrą korelację,  $r = 0,97$ , między seriami wyników uzyskanych z zestawów pomiarowych o różnych odstępach elektrod. (Folia Cardiol. 1999; 6: 359–362)*

### przepływ krwi, przedramię, pletyzmografia impedancyjna

## Piśmiennictwo

1. Husum B., Palm T. Arterial dominance in the hand. Br. J. Anaesth. 1978; 50: 913–916.
2. Pola P., Serricchio M., Flore R., Manasse E., Favuzzi A., Posati G.F. Safe removal of the radial artery for myocardial revascularisation: a Doppler study to prevent ischemia complications to the hands. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 1996; 112: 737–744.
3. Ciria-Llorens G., Gomez-Cia T., Talegon-Melendez A. Angiologic observations following radial artery flap elevation: a case report. Surg. Radiol. Anat. 1998; 20: 377–381.
4. Nyboer J. Electrical impedance plethysmography: a physical and physiologic approach to peripheral vascular study. Circulation 1950; 2:811–821.
5. Geselowitz D.B. An application of electrocardiographic lead theory to impedance plethysmography. IEEE Trans. Biomed. Eng. 1971; 18: 38–41.
6. Mortarelli J.R. A generalization of the Geselowitz relationship useful in impedance plethysmographic field calculations. IEEE BME 1980; 27: 665–667.
7. Siebert J., Poliński A. Badania modelowe zastosowania pletyzmografii impedancyjnej do badania przepływu tkankowego krwi w kończynach. Folia Cardiologica 1999.
8. Pałko T., Pawlicki G., Białokoz F. Reograf tetrapolarny. Patent PRL.
9. Pawlicki W.G. Reoangiografia elektroimpedancyjna kończyn. Postępy Fizyki Medycznej 1986; 21: 1–57.
10. Pałko T., Pawlicki G.W., Węglarz J. Measurement of the complex electrical bio-impedance using a new multifrequency device. Proceedings IX international conference of the electrical bio-impedance, Heidelberg 1995; 44–46.
11. Siebert J. Program badawczy W-90. Akademia Medyczna w Gdańsku.
12. Lytle B.W., Loop F.D., Cosgrove D.M. Long-term (5 to 12 years) serial studies of IMA and SV coronary bypass graft. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 1985; 89, 248-58.
13. Joyner M.J., Lennon R.L., Wedel D.J., Rose S.H., Shepherd J.T.: Blood flow to contracting human muscles: influence of increased sympathetic activity. J. Appl. Physiol. 1990; 68(4): 1453–1457.
14. Roberts D.H., Tsao Y., Breckenbridge A.M. The reproducibility of limb blood flow measurements in human volunteers at rest and after exercise by using mercury-in-silastic strain gauge plethysmography under standardized conditions. Clinical Science, 1986; 70: 635–638.
15. Tschakovsky M.E., Shomaker J.K., Hugson R.L. Beat-by-beat forearm blood flow with Doppler ultrasound and strain-gauge plethysmography. J Appl Physiol 1995; 79: 713–719.