

# Ocena przydatności reokardiografii impedancyjnej w monitorowaniu stanu hemodynamicznego pacjentów z ciężkim uszkodzeniem lewej komory

## Evaluation of impedance rheocardiography suitability in hemodynamic monitoring of patients with serious left ventricle injury

Brygida Przywara-Chowaniec<sup>1</sup>, Lech Poloński<sup>2</sup>, Maciej Gawlikowski<sup>3</sup>,  
Tadeusz Pustelny<sup>3</sup>, Justyna Nowak-Gawlikowska<sup>4</sup>

<sup>1</sup> II Oddział i Klinika Kardiologii, Śląski Uniwersytet Medyczny, ul. Śląski Uniwersytet Medyczny, ul. Skłodowskiej-Curie 10, 41 800 Zabrze, tel. +48 (0) 32 271 10 10, e-mail: bpzabrze@gmail.com

<sup>2</sup> III Oddział i Klinika Kardiologii, Śląski Uniwersytet Medyczny, ul. Szpitalna 2, 41-800 Zabrze

<sup>3</sup> Katedra Optoelektroniki, Politechnika Śląska, 44-100 Gliwice, ul. Krzywoustego 2

<sup>4</sup> Szpital Specjalistyczny nr 1, ul. Żeromskiego 7, 41-902 Bytom

### Streszczenie

Reokardiografia impedancyjna, będąca nieinwazyjną metodą oceny stanu hemodynamicznego pacjenta, zdobywa w ostatnich latach uznanie jako cenne uzupełnienie badań echokardiograficznych i monitorowania inwazyjnego. W prezentowanej pracy porównano wartości wybranych parametrów hemodynamicznych monitorowanych metodą reokardiografii z referencyjną metodą termodylucji. Badania przeprowadzono w czasie wstępnej diagnostyki przed zabiegiem transplantacji serca w grupie 22 chorych, hospitalizowanych z powodu niewydolności krążenia w przebiegu kardiomiopatii rozstrzeniowej.

**Słowa kluczowe:** reografia impedancyjna, reokardiografia, monitorowanie hemodynamiczne

### Abstract

The rheocardiography is a non-invasive method of patient's hemodynamic state assessment. Recently it has been recognized as a valuable complement of echocardiography and invasive monitoring. In this paper the selected hemodynamic parameters measured by rheocardiography were compared with reference (thermodilution). The examinations were as a pre-diagnostic to heart transplantation (HTX) performed on 22 patients hospitalized because of circulatory insufficiency in course of dilated cardiomyopathy.

**Key words:** impedance rheography, rheocardiography, hemodynamic monitoring

### Wstęp

Podstawową metodą badawczą, pozwalającą określić wydolność mięśnia sercowego, jest technika inwazyjna, która pomimo udokumentowanych ograniczeń uważana jest za najbardziej obiektywną i dokładną metodę monitorowania hemodynamicznego [1]. Najnowsze badania nie wykazały zwiększenia ryzyka śmiertelności ani powikłań, związanych z zastosowaniem procedur katetyzacji tętnicy płucnej cewnikiem Swana-Ganza [2]. Badanie inwazyjne jest obciążające dla

pacjenta, co stało się przyczyną poszukiwania nowych, nieinwazyjnych technik monitorowania hemodynamicznego. Należą do nich wciąż udoskonalane metody ultrasonograficzne – echokardiografia 2D i 3D oraz pomiary dopplerowskie. Znane są również inne metody badawcze, dotyczące głównie pomiaru rzutu minutowego serca: metoda konturowa, fotoelektryczna analiza gazów oddechowych, a także, zdobywająca uznanie kliniczne, metoda reokardiografii impedancyjnej [3, 4]. Szersze badania tej ostatniej rozpoczynają się w 1966 roku od prac Kubick'a, dotyczących możliwości elektrycznego pomiaru rzutu jednostkowego i minutowego serca [5].

Fizyczną podstawą tej metody badawczej jest pomiar zmian impedancji elektrycznej za pomocą zestawu elektrod: aplikacyjnych (przez które zmienny prąd elektryczny o częstotliwości z zakresu 20-100 kHz, typowo 83 kHz, wprowadzany jest do badanego obszaru ciała) i pomiarowych. Pulsacyjny przepływ krwi, szczególnie przez duże naczynia, powoduje niewielkie zmiany mierzonej impedancji, a szczytowa wartość przepływu PF obliczana jest ze wzoru (1):

$$PF = \frac{\rho \cdot L^2}{Z_0^2} \cdot \left( \frac{dZ}{dt} \right)_{\max} \quad (1)$$

gdzie:  $\rho$  – oporność właściwa krwi,  $L$  – odległość pomiędzy elektrodami,  $Z_0$  – impedancja bazowa

Wartość impedancji bazowej  $Z_0$  zależna jest głównie od zawartości płynu w klatce piersiowej, a monitorowanie zmian tego parametru pozwala między innymi na różnicowanie przyczyn duszności. Z prac wielu autorów wynika, że zmiany impedancji bazowej wyprzedzają pojawianie się zaburzeń w badaniu klinicznym, radiologicznym i pomiarze centralnego ciśnienia żylnego [6-10, 21].

### Cel

Pomimo nieinwazyjności, niskiego kosztu badania, udoskonalanej aparatury i możliwości wczesnej diagnostyki metoda reokardiografii impedancyjnej nie jest rozpowszechniona klinicznie, czego efektem jest mała liczba prac weryfikujących jej przydatność diagnostyczną.

Celem prezentowanych badań było porównanie wartości wybranych parametrów hemodynamicznych mierzonych metodą reokardiografii z wynikami monitorowania inwazyjnego u chorych z ciężką kardiomiopatią rozstrzeniową.

## Materiał i metodyka badań

### Materiał

Badania przeprowadzono w grupie 22 chorych (6 kobiet, 16 mężczyzn, średnia wieku  $42 \pm 4$  lata), hospitalizowanych w II Klinice Kardiologii w Zabrze z powodu niewydolności krążenia w przebiegu kardiomiopatii rozstrzeniowej w czasie wstępnej diagnostyki przed transplantacją serca [21]. Badaniom poddano wyłącznie chorych z najbardziej zaawansowaną niewydolnością krążenia: 18 pacjentów z IV grupy i 4 z III grupy czynnościowej NYHA (*The New York Heart Association*). Z badań wykluczono chorych z wadą zastawki aortalnej oraz wadami wrodzonymi serca.

### Procedura badań

U wszystkich chorych, w dniu przyjęcia do szpitala, wyznaczono metodą radioizotopową frakcję wyrzutową, która wynosiła 10-35% (średnio  $27\% \pm 6\%$ ). Podczas hospitalizacji dokonywano cyklicznych badań hemodynamicznych metodami: reokardiografii, echokardiografii i metodą inwazyjną. Badania wykonywano około godziny 10, po minimum 30-minutowym odpoczynku, w czasie spokojnego oddychania. W pierwszej kolejności pacjentów poddawano diagnostyce inwazyjnej, następnie przez 5 minut rejestrowano krzywą reokardiograficzną, a potem wykonywano badanie echokardiograficzne.

**Badanie reokardiograficzne** wykonywano za pomocą monitora AVL 2001 HDM. Elektrody rozmieszczone były w następujący sposób:

- pierwsza para elektrod pomiarowych: po bokach podstawy szyi,
- druga para elektrod pomiarowych: prostopadle do osi długiej mostka, bocznie od wyrostka mieczykowatego w linii pachowej środkowej,
- elektrody aplikacyjne: równoległe do elektrod pomiarowych, 5 cm powyżej elektrod górnych i 5 cm poniżej elektrod dolnych.

Rejestrowane były następujące parametry hemodynamiczne (uśrednione z 16 cykli pracy serca): wskaźnik sercowy CI, wskaźnik objętości wyrzutowej SI, frakcja wyrzutowa FE, wskaźnik objętości końcoworozkurczowej EDI, wskaźnik oporu naczyniowego SVRI, przewodność płynu w klatce piersiowej TFC, średnie ciśnienie tętnicze MAP.

**Badanie inwazyjne** prowadzono cewnikiem Swana-Ganza o rozmiarze 7F, wprowadzanym do pnia tętnicy płucnej przez lewą bądź prawą żyłę podobojczykową. Monitorowanie prowadzono od 1 do 3 dni, przeprowadzając pomiary co 2-4 godziny. Rejestrowano ciśnienie w tętnicy płucnej: skurczowe PAP<sub>S</sub>, rozkurczowe PAP<sub>D</sub>, średnie PAP. Ponadto dokonywano pomiarów rzutu minutowego metodą termodylucji, używając znacznika o temperaturze pokojowej (sól fizjologiczna). W badaniach wykorzystano aparaturę diagnostyczną typu 4510A (*American Edwards Lab*).

## Wyniki

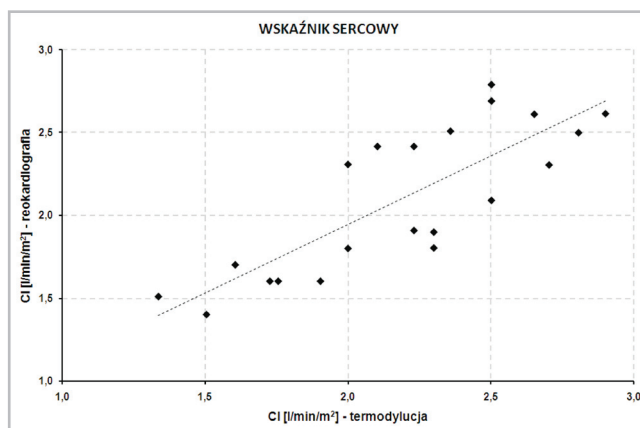
Średnie wartości wskaźnika sercowego CI i wskaźnika objętości wyrzutowej SI w przypadku metody reokardiograficznej i referencyjnej metody termodylucji wyniosły odpowiednio [21]:

- **CI:**  $2,0 \pm 0,4$  l/min/m<sup>2</sup> i  $2,2 \pm 0,4$  l/min/m<sup>2</sup>
- **SI:**  $22,58 \pm 7,00$  ml/m<sup>2</sup> i  $23,74 \pm 6,40$  ml/m<sup>2</sup>

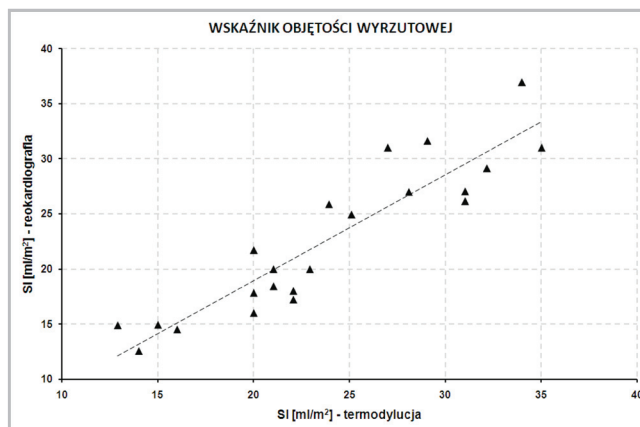
Wartości CI oraz SI mierzonych metodą reokardiograficzną w porównaniu z metodą referencyjną zostały przedstawione na rys. 1 i 2. Średnie wartości CI i SI oraz wartości współczynników regresji R i korelacji liniowej Pearsona r<sup>2</sup> w badanej grupie pacjentów zostały zestawione w tabeli 1.

Tabela 1 Rezultaty – zestawienie

		Metoda reografii impedancyjnej	Metoda referencyjna (termodylucja)
CI [l/min/m <sup>2</sup> ]	średnio	2,00±0,4	2,20±0,4
	R	0,829	
	r <sup>2</sup>	0,663	
SI [ml/m <sup>2</sup> ]	średnio	22,58±7,0	23,74±6,4
	R	0,961	
	r <sup>2</sup>	0,839	



Rys. 1 Korelacja wskaźnika sercowego mierzonych metodą badaną z metodą referencyjną



Rys. 2 Korelacja wskaźnika objętości wyrzutowej mierzonych metodą badaną z metodą referencyjną

## Dyskusja

Wiele prac poświęconych klinicznym zastosowaniom reografii impedancyjnej wykazało poprawność wyników badań hemodynamicznych uzyskiwanych tą metodą. Autorzy zastrzegają jednak, że dotyczy to tylko wyselekcjonowanych grup chorych [11-13]. Zostało wykazane, że duża zgodność wyników z metodą termodylucji obserwowana jest szczególnie w grupie chorych z prawidłową pojemnością minutową serca [14, 15]. Zwiększenie niepewności pomiaru następowało w przypadkach małych wartości rzutu minutowego, niedomykalności zastawek, nadciśnienia tętniczego i dla współistniejących przecieków wewnątrzsercowych. Należy jednak pamiętać, że wspomniane wyżej czynniki są uważane za podstawowe źródła niepewności w pomiarze rzutu minutowego metodą termodylucji [1, 16].

Materiał badawczy prezentowany w niniejszej pracy obejmował grupę chorych z najcięższym uszkodzeniem lewej komory, a w 44% przy-

padkach w badaniu echokardiograficznym stwierdzono obecność fali zwrotnej przez zastawkę mitralną, obejmującą średnio 18% powierzchni lewego przedsionka. Pomimo to uzyskano znaczącą korelację wyników badań hemodynamicznych z referencyjną metodą termodylucji (patrz: tabela 1), co wydaje się nie potwierdzać tezy o istotnym wpływie wad serca na wartość metrologiczną metody reokardiograficznej [21].

Doniesienia literaturowe wskazują, że podstawowymi źródłami niepewności w pomiarach reokardiograficznych są: zmiany impedancji klatki piersiowej i jej przekroju poprzecznego, mała dokładność w oszacowaniu rezystancji właściwej krwi, zaburzenia rytmu serca i związana z tym trudność w interpretacji reogramu oraz zakażenia ogólnoustrojowe z wysoką temperaturą [17]. Większą dokładność metody uzyskiwano, wprowadzając do obliczeń objętość klatki piersiowej wyznaczaną z aktualnych pomiarów jej długości, a nie z równań Sramka lub Sramka-Bernsteina. W niektórych pracach wykazano, że rezystancja właściwa krwi jest stała dla HCT (*hematocrit*) w zakresie 22-66% i wynosi 135  $\Omega \cdot \text{cm}$  [18]. Jednak inne źródła podają, że rezystancja ta jest istotnie zależna od poziomu hematokrytu, co definiowane jest wzorem (2) [19]. Przyjmuje się, że niekorzystny wpływ zaburzeń rytmu serca na charakter krzywej reograficznej (powodującej trudności w jej numerycznej analizie i interpretacji) objawia się dla HR > 150 BPM [20].

$$\sigma = \frac{\sigma_p}{0,93 - 1,2 \cdot HCT} \quad (2)$$

gdzie: p – oporność właściwa osocza, HCT – poziom hematokrytu

W analizie statystycznej nie bez znaczenia jest również dokładność pomiaru referencyjnego. Uznaje się, że poprawnie przeprowadzone badanie CO metodą termodylucji cechuje się niepewnością rzędu 10% (dla znacznika o temperaturze pokojowej) [1, 16]. W badanej grupie pacjentów nie występowały czynniki istotnie zwiększające niepewność wyników metody referencyjnej.

## Wnioski

Przeprowadzone badania wykazały kliniczną przydatność metody reokardiograficznej w monitorowaniu hemodynamicznym pacjentów z ciężkim uszkodzeniem lewej komory. Wartości względnej niepewności pomiaru wybranych parametrów hemodynamicznych oraz obserwowane statystycznie korelacje z referencyjną metodą termodylucji wskazują, że właściwym obszarem zastosowania metody reografii impedancyjnej jest długoterminowe monitorowanie zmian stanu hemodynamicznego pacjenta, natomiast pomiar bezwzględnych wartości parametrów hemodynamicznych jest ograniczony [21]. ■

## Literatura

1. P.R. Lichtental: *Cardiopulmonary Care*, Edwards Lifescience, 2002.
2. D. Payen, E. Gayat: *Which general intensive care unit patients can benefit from placement of the pulmonary artery catheter?*, *Critical Care*, vol. 10, suppl. 3, 2006, s. 7.
3. O. Godie, L. Friedl, A. Hannekum: *Accuracy of beat-to-beat cardiac output monitoring by pulse contour analysis in hemodynamical unstable patients*, *Med. Sci. Monit.* vol. 7(6), 2001, s. 1344-1350.
4. P. Peyton, B. Thompson: *Agreement of an inert gas rebreathing device with thermodilution and the direct oxygen Fick method in measurement of pulmonary blood flow*, *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, vol. 18(5-6), 2005, s. 373-378.
5. W.G. Kubicek i in.: *Development and evaluation of an impedance cardiac output system*, *Aerospace Med.*, vol. 37, 1966, s. 1208-1212.
6. J.R. Berman i in.: *Transthoracic electrical impedance as a guide to intravascular overload*, *Arch. Surg.*, vol. 102, 1971, s. 61-64.
7. J.C. Denniston, L.E. Baker: *Measurement of pleural effusion by electrical impedance*, *J. Appl. Physiol.*, vol. 38, 1975, s. 851-857.
8. M. Pomerantz, P. Delgado, B. Eiseman: *Clinical evaluation of transthoracic electrical impedance as a guide to intrathoracic fluid volumes*, *Ann. Surg.*, vol. 171, 1970, s. 686.
9. V. Russel, J.R. Michael, J.R. Warbasse: *Quantitative evaluation of a non-invasive measure of thoracic fluid volume*, *Am. Heart J.*, vol. 1, 1973, s. 83-93.
10. G.A. Water i in.: *Bioelectric impedance. New developments and clinical application*, *Arch. Surg.*, vol. 4, 1971, s. 541-547.
11. B. Balestra i in.: *Esophageal electrodes allow precise assessment of cardiac output by bioimpedance*, *Crit. Care Med.*, vol. 20, 1992, s. 62-67.
12. J. Mehlsen i in.: *Reliability of impedance cardiography in measuring central hemodynamics*, *Clin. Physiol.*, vol. 11, 1991, s. 579-588.
13. J.C. Miller, S.M. Horvath: *Impedance cardiography*, *Psychophysiology*, vol. 15, 1987, s. 80-91.
14. C. Jewkes i in.: *Non-invasive measurement of cardiac output by thoracic electrical bioimpedance: a study of reproducibility and comparison with thermodilution*, *Br. J. Anaesth.*, vol. 67, 1991, s. 788-794.
15. C. Jewkes, F. Verhoeff: *Noninvasive cardiac output measurement by bioimpedance: is it reliable?*, *Br. J. Anaesth.*, vol. 63, 1989, s. 619.
16. T. Nishikawa, S. Doshi: *Errors in the measurement of cardiac output by thermodilution*, *Canadian Journal of Anesthesia*, vol. 40(2), 1993, s. 142-153.
17. K.C. Huang i in.: *Stroke volume measurements by electrical bioimpedance and echocardiography in healthy volunteers*, *Crit. Care Med.*, vol. 18, 1990, s. 1274-1278.
18. A.W. Quail i in.: *Thoracic resistivity for stroke volume calculation in impedance cardiography*, *J. Appl. Physiol.*, vol. 50, 1981, s. 191-195.
19. G. Pawlicki: *Podstawy inżynierii medycznej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 1997.
20. A. Sherwood: *Methodological guidelines for impedance cardiography*, *Psychophysiology*, vol. 27, 1990, s. 1-23.
21. B. Przywara-Chowaniec: *Wartość reokardiografii impedancyjnej w ocenie stanu hemodynamicznego i efektów farmakoterapii chorych z ciężkim uszkodzeniem funkcji lewej komory*, rozprawa doktorska, Śląska Akademia Medyczna, 1993.

otrzymano / received: 25.09.2009 r.  
zaakceptowano / accepted: 27.10.2009 r.