

Kardiografia impedancyjna – nowoczesne narzędzie terapii monitorowanej chorób układu krążenia

Impedance cardiography – a modern tool for monitoring therapy of cardiovascular diseases

Paweł Krzesiński, Grzegorz Gielerak, Jarosław Kowal

Wojskowy Instytut Medyczny, Warszawa

Kardiologia Pol 2009; 67: 65–71

Wstęp

Ocena funkcji hemodynamicznej układu krążenia od lat stanowi istotne wyzwanie badawcze i kliniczne. Ograniczeniem większości metod diagnostycznych stosowanych w codziennej praktyce klinicznej jest ich wybiórczy charakter: techniki elektrokardiograficzne oceniają funkcję elektryczną serca, badania obrazowe (echokardiografia, rezonans magnetyczny, tomografia komputerowa) jego morfologię i funkcję hemodynamiczną, ABPM (ang. *ambulatory blood pressure monitoring*) – całodobowy zapis ciśnienia tętniczego. Jednym z najczęściej ocenianych parametrów hemodynamicznych jest pojemność minutowa serca (ang. *cardiac output*, CO), do której oszacowania wykorzystuje się zarówno metody inwazyjne (metoda Ficka, termodylucja, cewnikowanie serca), mało inwazyjne (angiografia radioizotopowa, cyfrowa angiografia subtrakcyjna, tomografia komputerowa), jak i nieinwazyjne (echokardiografia dwuwymiarowa i dopplerowska, rezonans magnetyczny, fotoakustyczna ocena gazów oddechowych, kardiografia i pletyzmografia impedancyjna). Ich wartość diagnostyczna jest zróżnicowana, a dostępność większości ograniczona wysokimi kosztami oraz koniecznością wykonywania w wyspecjalizowanych ośrodkach.

Zdecydowanie najprostszą techniką monitorowania hemodynamicznego wydaje się kardiografia impedancyjna (ang. *impedance cardiography*, ICG; *thoracic electrical bioimpedance*, TEB), która umożliwia ocenę zarówno CO, jak i innych parametrów hemodynamicznych, takich jak zawartość płynu w klatce piersiowej (ang. *thoracic fluid content*, TFC), systemowy opór naczyniowy (ang. *systemic vascular resistance*, SVR) czy też częstotliwość pracy serca (ang. *heart rate*, HR). Choć jest uznawana za metodę nowatorską, to

warto zauważyć, że zjawisko zależności pomiędzy zmiennością impedancji klatki piersiowej a cyklem serca stwierdzono już we wczesnych latach 30. XX wieku (1932 r., Atzler i Lehman) [1]. W 1944 r. Nyboer wykorzystywał zjawisko oporności elektrycznej tkanek do oceny przepływu krwi w obrębie klatki piersiowej i kończyn [1–3], a w 1966 r. Kubicek opracował dla NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) praktyczną metodę monitorowania objętości wyrzutowej i pojemności minutowej serca, którą zastosowano u uczestników programu kosmicznego Apollo [1, 4]. W latach 80. XX wieku, dzięki pracy zespołów Bernsteina i Sramka, opracowano technikę tetrapolarną wykorzystującą osiem elektrod umieszczonych na bocznych powierzchniach szyi i tułowia, która jest obecnie powszechnie stosowana w dostępnych urządzeniach pomiarowych [4, 5].

Kardiografia impedancyjna – opis metody

Kardiografia impedancyjna opiera się na zjawisku zmienności impedancji (oporności) danego segmentu ciała związanej z przepływem krwi w dużych naczyniach tętniczych. W czasie skurczów mięśnia sercowego w obrębie klatki piersiowej dochodzi do synchronicznie powtarzających się zjawisk związanych z przemieszczaniem krwi z jam serca do aorty – objętość komór serca maleje, prędkość i objętość wyrzucanej z serca krwi wzrasta, aorta i naczynia płucne rozszerzają się [1]. Każda tkanka ustroju człowieka charakteryzuje się oporem elektrycznym (impedancją) zależnym od jej gęstości, temperatury, składu atomowego. Tkanki klatki piersiowej takie jak mięśnie, kości, płuca, tkanka tłuszczowa, wykazują wysoką oporność (R wynosi 200–5000 Ω -cm), podczas gdy krew dobrze przewodzi prąd elektryczny (R osocza = 65 Ω -cm, krwi pełnej = 130 Ω -cm). W porównaniu z inny-

Adres do korespondencji:

lek. med. Paweł Krzesiński, Wojskowy Instytut Medyczny, ul. Szaserów 128, 00-909 Warszawa, tel.: +48 22 681 76 66, faks: +48 22 681 66 94, e-mail: pakrzesinski@interia.pl

Praca wpłynęła: 11.08.2008. Zaakceptowana do druku: 22.10.2008.

Tabela I. Związek podstawowych parametrów kardioimpedancyjnych ze wskaźnikami charakteryzującymi funkcję układu krążenia

| | |
|-------------------------------|--|
| Kurczliwość mięśnia sercowego | wskaźnik prędkości (VI, $1 \cdot 1000^{-1} \cdot s^{-1}$) wskaźnik akceleracji (ACI, $1 \cdot 100^{-1} \cdot s^{-2}$) wskaźnik czasu skurczu (STR, %) czas wyrzutu lewej komory (LVET, ms) okres przedwyrzutowy (PEP, ms) wskaźnik Heather (HI, $\Omega \cdot s^{-2}$) |
| Stan nawodnienia | zawartość płynu w klatce piersiowej (TFC, $1 \cdot k\Omega^{-1}$) impedancja całkowita (ZO, $k\Omega$) |
| Opór naczyniowy | systemowy opór naczyniowy (SVR, $dyn \cdot s \cdot cm^{-5}$) |
| Praca serca jako pompy | pojemność minutowa serca (CO, $l \cdot min^{-1}$) objętość wyrzutowa (SV, ml) praca lewej komory (LCW, $kg \cdot m$) |
| Szywność naczyń | całkowita podatność tętnic (TAC, $ml \cdot mmHg^{-1}$) systemowy opór naczyniowy (SVR, $dyn \cdot s \cdot cm^{-5}$) ciśnienie tętna (PP, mmHg) |
| Ciśnienie tętnicze | skurczowe i rozkurczowe ciśnienie tętnicze (SBP, DBP, mmHg) średnie ciśnienie tętnicze (MAP, mmHg) ciśnienie tętna (PP, mmHg) |

rozwińnięcie skrótów w tekście

mi tkankami krew krążąca w układzie naczyniowym charakteryzuje się zatem relatywnie niską impedancją, a jej zmienność w czasie umożliwia ocenę wielu istotnych parametrów hemodynamicznych związanych z przepływem krwi w danym segmencie ciała (Tabela I). Niskonapięciowe prądy (2–4 mA) o częstotliwości 20–100 Hz stosowane w kardiografii impedancyjnej są bezpieczne i nieodczuwalne dla człowieka [3, 4, 6].

Opierając się na podstawach fizycznych metody impedancyjnej, na użytek badań klinicznych wprowadzono parametr określany mianem „zawartość płynu w klatce piersiowej” (ang. *thoracic fluid content*, TFC), stanowiący w ujęciu matematycznym odwrotność impedancji klatki piersiowej (ZO). Odzwierciedla on ilość płynu wewnątrz- i zewnątrzkomórkowego i charakteryzuje się stosunkowo wysoką czułością – zmiana jego wartości o ok. 10% może wskazywać na retencję płynów i przewodnienie. Analiza cyklicznej

zmienności impedancji klatki piersiowej pozwala określić szereg parametrów związanych z przepływem objętościowym krwi w okresie skurczu lewej komory, takich jak objętość wyrzutowa (ang. *stroke volume*, SV) i CO. Równoczesne zestawienie krzywej impedancyjnej i elektrokardiogramu (EKG) umożliwia ponadto ocenę HR i innych wskaźników charakteryzujących funkcję elektromechaniczną serca, takich jak: okres przedwyrzutowy lewej komory (ang. *pre-ejection period*, PEP), czas wyrzutu lewej komory (ang. *left ventricular ejection time*, LVET) oraz wskaźnik czasu skurczu (ang. *systolic time ratio*, STR), który jest ilorazem okresu przedwyrzutowego do czasu wyrzutu lewej komory (PEP/LVET). Na podstawie analizy krzywych możliwe jest również wyliczenie wartości wskaźników kurczliwości lewej komory, takich jak: wskaźnik prędkości (ang. *velocity index*, VI) – zależny od obciążenia wstępnego i obrazujący szczytowy przepływ krwi w aorcie, wskaźnik akceleracji (ang. *acceleration index*, ACI) – opisujący szczytowe przyspieszenie przepływu krwi w aorcie, oraz dobrze korelujący z funkcją inotropową serca wskaźnik Heather (ang. *Heather index*, HI), stanowiący iloraz maksymalnej wielkości fali wyrzutowej serca do czasu od szczytu załamka Q w EKG do szczytu fali ICG. Z kolei równoczesny pomiar skurczowego i rozkurczowego ciśnienia tętniczego (ang. *systolic blood pressure*, SBP; *diastolic blood pressure*, DBP) umożliwia wyliczenie parametrów hemodynamicznych związanych z podatnością dużych naczyń tętniczych oraz w sposób pośredni opisujących funkcję śródbłonna naczyniowego, takich jak: systemowy opór naczyniowy (ang. *systemic vascular resistance*, SVR), ciśnienie tętna (ang. *pulse pressure*, PP), całkowita podatność tętnic (ang. *total artery compliance*, TAC) [1, 3, 6, 7]. Wyniki pomiarów przeprowadzonych w warunkach klinicznych wskazują, że podstawowe parametry hemodynamiczne określane metodą kardiografii impedancyjnej mają istotne znaczenie przy podejmowaniu decyzji o wyborze farmakoterapii. Znajomość mechanizmów działania poszczególnych leków oraz ich wpływu na hemodynamikę układu krążenia pozwala zindywidualizować terapię na podstawie wyników pomiarów dokonywanych techniką ICG (Tabela II). Umożliwia to optymalny dobór leków i zmniejszenie ryzyka wystąpienia ich działań niepożądanych.

Tabela II. Wpływ wybranych grup leków na parametry hemodynamiczne [8]

| | SVR | HR | CO | SV | TAC |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Diuretyki | ↓ lub N | ↑ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ACE-I i ARB | ↓ | N | ↑ | ↑ | ↓ |
| beta-blokery | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↑ lub N |
| alfa-blokery | ↑ | N | N lub ↑ | N lub ↓ | N lub ↑ |
| Ca-blokery | ↓ | N lub ↓ | ↑ lub N | ↓ lub N | ↓ |
| naczyniorozszerzające | ↓ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| alfa- i beta-blokery | ↓ lub N | ↓ lub N | ↓ lub N | ↓ lub N | N lub ↑ |

ACE-I – inhibitory konwertazy angiotensyny, ARB – antagoniści receptora angiotensyny, N – wpływ neutralny, rozwińnięcie pozostałych skrótów w tekście

W celu określenia wartości diagnostycznej ICG jako metody alternatywnej względem technik inwazyjnych w kilku badaniach klinicznych dokonano ich bezpośredniego porównania. W badaniu przeprowadzonym przez Yunga i wsp. [9] u chorych z nadciśnieniem płucnym okazało się, że wyniki ICG dobrze korelowały z pomiarami dokonanymi metodami inwazyjnymi (ICG vs metoda Ficka oraz ICG vs termodylucja, odpowiednio: $r=0,85$ i $r=0,80$), a korelacje te były równie silne jak pomiędzy metodami inwazyjnymi (termodylucja vs metoda Ficka, $r=0,89$). Również inni badacze [5, 10, 11] zaobserwowali, że wyniki otrzymane za pomocą współczesnych technik impedancyjnych dobrze korelują z pomiarami metodą Ficka oraz termodylucji i co bardzo istotne, wykazują znacznie lepszą powtarzalność w kolejnych badaniach.

Należy jednak pamiętać, że ICG nie jest metodą pozbawioną ograniczeń. Wartość diagnostyczna badania jest wątpliwa w następujących sytuacjach klinicznych: tachykardia $>250/\text{min}$, istotne zaburzenia rytmu serca (np. migotanie przedsionków), ciężka niedomykalność aortalna, wysokie ciśnienie tętnicze (MAP >130 mmHg), kontrapulsacja wewnątrzortalna, ciężki wstrząs septyczny, bardzo niski lub wysoki wzrost, ciężka otyłość lub znaczne niedożywienie, stan po sternotomii, zwłaszcza przez pierwsze 12 godz. po zabiegu operacyjnym. Badania powinno się ponadto unikać u chorych z wszczepionym układem stymulującym serca, wyposażonym w funkcję zmiany częstotliwości rytmu w zależności od wentylacji minutowej, z uwagi na ryzyko zakłócenia pracy urządzenia [2, 4].

Należy również zachować ostrożność w pochopnej interpretacji otrzymanych wyników. Spośród parametrów hemodynamicznych tylko część obliczana jest bezpośrednio na podstawie krzywych EKG i ICG (np. TFC, PEP, LVET, VI, ACI), pozostałe stanowią zaś matematyczne pochodne wyżej wymienionych, obliczane z uwzględnieniem wartości ciśnienia tętniczego i z góry przyjętych stałych wskaźników. Badanie wykonywane jest zwykle w relatywnie krótkim czasie (10–15 min), najczęściej w spoczynku i pozycji leżącej. Nie pozwala zatem określić funkcji układu krążenia w innych warunkach, kiedy to reakcja hemodynamiczna może mieć zupełnie odmienną charakterystykę. Być może problem ten rozwiążą urządzenia przenośne, umożliwiające całodobowe monitorowanie wymienionych parametrów. Nie należy również zapominać, że analiza przepływu krwi w dużych naczyniach oraz jamach serca pozwala jedynie na pośrednią ocenę perfuzji najważniejszych narządów ustroju, takich jak mózgowie, nerki czy wątroba.

Zastosowanie kliniczne kardiografii impedancyjnej

Niewydolność serca

Niewydolność serca (ang. *heart failure*, HF) jest schorzeniem o złożonej patogenezie i przewlekłym, postępującym przebiegu. Zazwyczaj jej pierwotną przyczyną jest upośledzenie kurczliwości mięśnia sercowego. Postępują-

ca niewydolność serca jako pompy oraz wynikające z niej dysfunkcje narządowe (nerki, wątroba) wiążą się z tendencją do retencji wody, zastojem krwi w krążeniu małym oraz układzie żylnym i w efekcie wzrostem obciążenia wstępnego. Wskaźnikiem dodatnio korelującym z ilością płynu w klatce piersiowej, tj. w opłucnej, mięszu płucnym i dużych naczyniach, jest TFC. Z kolei obciążenie następcze, czyli siłę, przeciwko której wykonuje pracę mięsień sercowy w czasie wyrzutu krwi do aorty, odzwierciedla w kardiografii impedancyjnej SVR, szacowany z uwzględnieniem średniego ciśnienia tętniczego i rzutu sercowego.

W badaniu przeprowadzonym przez Parrotta i wsp. [12], wykonanym u chorych z HF o różnej etiologii poddawanych terapii monitorowanej, zaobserwowano istotną korelację między zmianą wartości wskaźnika sercowego (ang. *cardiac index*, CI) określanego metodą ICG i frakcji wyrzutowej (ang. *ejection fraction*, EF) ocenianej echokardiograficznie ($r=0,85$). Autorzy podkreślają, że zastosowanie tej metody umożliwia łatwą, powtarzalną, tanią i wiarygodną kontrolę efektów leczenia. Cianci i wsp. [13] zaobserwowali, że ocena parametrów hemodynamicznych ma istotne znaczenie kliniczne także u chorych z HF i dobrze zachowaną funkcją skurczową. Autorzy wykazali, że w porównaniu z osobami zdrowymi chorzy z tej grupy charakteryzują się niższymi wartościami wysiłkowej rezerwy SV oraz istotną niewydolnością chronotropową w czasie 2-minutowego testu unoszenia kończyn dolnych. W innym badaniu stwierdzono istotny związek pomiędzy upośledzeniem funkcji skurczowej lewej komory a niskimi wartościami parametrów charakteryzujących przepływ krwi, takimi jak VI i ACI [14]. Wiele uwagi poświęca się również wartości diagnostycznej i rokowniczej STR [15–17]. W przeprowadzonych badaniach stwierdzono istotny związek wzrostu STR z dysfunkcją lewej komory [12, 16, 17]. Na wartości parametrów hemodynamicznych w różnicowaniu chorych ze skurczową i rozkurczową HF zwrócili również uwagę Summers i wsp. [18], którzy przeanalizowali zapisy kardiogramów impedancyjnych u 26 chorych ze zdekompenowaną HF. Okazało się, że wydłużenie czasu relaksacji izowolumetrycznej (ang. *isovolumetric relaxation time*, IVRT) istotnie korelowało z przerostem mięśnia lewej komory, a obniżenie wartości wskaźnika HI – z jej przeciążeniem objętościowym. Pozwoliło to zróżnicować chorych ze skurczową ($HI < 5 \Omega \cdot s^{-2}$ i $IVRT < 0,125$ s) i rozkurczową HF ($IVRT > 0,125$ s i $HI > 5 \Omega \cdot s^{-2}$). Także ocena obciążenia następczego, którego wykładnikiem w kardioimpedancji jest SVR, może mieć istotną wartość kliniczną. Parrott i wsp. [19] zwracają uwagę, że wartość SBP nie jest tak wiarygodnym wykładnikiem stanu hemodynamicznego chorych z HF jak właśnie ocena obciążenia następczego metodą impedancyjną. Okazuje się bowiem, że nawet przy prawidłowych wartościach ciśnienia skurczowego (100–119 mmHg) SVR może być podwyższony, a jak wiadomo, sprzyja to postępującemu remodelingowi mięśnia sercowego i powinno skutkować interwencją terapeutyczną.

ną, np. zwiększeniem dawki inhibitora konwertazy angiotensyny.

Wyniki powyższych badań należy jednak traktować ostrożnie z uwagi na ich retrospektywny charakter, niejednorodną metodykę, brak losowego doboru chorych do grup badawczych oraz małą liczebność badanych populacji. Dużo bardziej wiarygodne wydają się obserwacje autorów wielośrodkowego badania PREDICT (*Prospective Evaluation and Identification of Cardiac Decompensation in Patients with Heart Failure by Impedance Cardiography Test*), do którego włączono 212 chorych z przewlekłą HF w II–IV klasie wg NYHA (*New York Heart Association*) [20]. Chorych poddano 6-miesięcznej obserwacji, w czasie której co 2 tygodnie wykonywano badanie metodą ICG. Na podstawie wyników analizy wieloczynnikowej uwzględniającej parametry hemodynamiczne oraz dane kliniczne stwierdzono, że sześć spośród badanych zmiennych wykazuje istotny związek z zaostreniem HF w ciągu 14 dni od daty badania. Wskaźnikami tymi były: ocena chorego w skali wzrokowo-analogowej (ang. *visual analogue scale*, VAS), klasa NYHA, wartości SBP oraz VI, TFC, LVET. Okazało się również, że po połączeniu parametrów kardioimpedancyjnych w złożony wskaźnik – ICG *composite score*, pośrednio charakteryzujący stan hemodynamiczny chorego, otrzymano zmienną o najsilniejszej wartości prognostycznej (χ^2 13,83, $p < 0,0002$). Chorzy charakteryzujący się najwyższą wartością omawianego wskaźnika – 7–10 pkt (wysoka wartość TFC, niska VI, krótki LVET) – mieli ponad 8-krotnie wyższe ryzyko zaostrenia HF niż chorzy z ICG *composite score* równym 0–3 pkt (niska wartość TFC, wysoka VI, długi LVET) [20]. Dokładna analiza badania PREDICT pozwoliła także wyróżnić grupy chorych o różnym ryzyku na podstawie wartości SI oraz TFC, co jak sugerują Strobeck i Silver [21], może mieć szczególnie istotne implikacje kliniczne. Wyniki badania PREDICT w sposób wiarygodny udowodniły, że ICG może być użyteczną metodą identyfikacji chorych wysokiego ryzyka w rokowaniu krótkoterminowym. Wartość kliniczna tej metody wymaga jednak weryfikacji w badaniach prospektywnych. Wobec powyższego duże nadzieje wiąże się z trwającym obecnie badaniem PREVENT-HF, gdzie połowa chorych ma być przydzielana do grupy, w której stratyfikacja ryzyka oparta na parametrach hemodynamicznych będzie podstawą do podjęcia decyzji o ewentualnej modyfikacji terapii.

Znajomość profilu hemodynamicznego chorych z HF ma duże znaczenie kliniczne i może okazać się bardzo użyteczna w podejmowaniu decyzji terapeutycznych, zwłaszcza w okresie zaostrenia dolegliwości. Są to nierzadko chorzy w stanie wymagającym szybkiego i skutecznego leczenia, obciążeni schorzeniami współistniejącymi i dużym ryzykiem powikłań terapii. Mechanizm dekomensacji HF może być zróżnicowany i choć badania kliniczne, laboratoryjne i obrazowe zazwyczaj pozwalają zidentyfikować podstawową przyczynę pogorszenia stanu chorego, to łatwo mierzalne parametry impedancyjne mogą stanowić istotną wskazówkę diagnostyczną (Rycina 1.). Przesądza o tym fakt, że

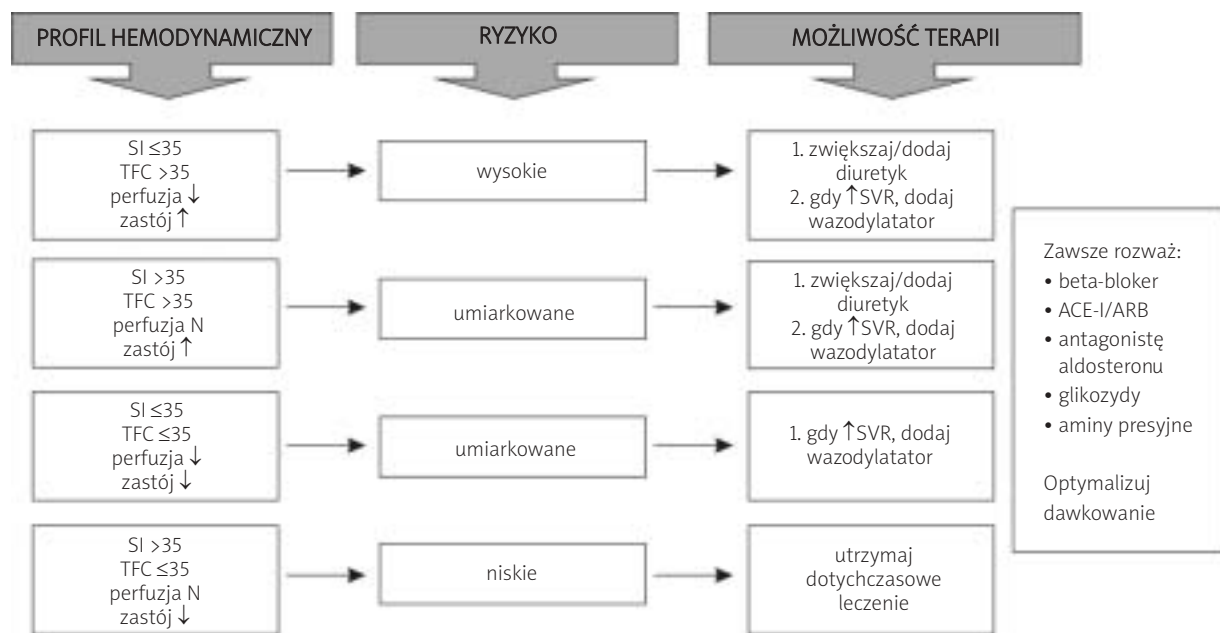
na podstawie kilku podstawowych pomiarów można określić ryzyko krótkoterminowe, co ma również znaczenie w monitorowaniu terapii, podejmowaniu decyzji o długości wymaganej hospitalizacji i ewentualnych zaleceniach pozaszpitalnych, zwłaszcza wobec chorych z ciężką HF wymagających podania amin presyjnych. Bardzo istotną przesłanką wynikającą z badań nad zastosowaniem ICG u chorych z HF wydaje się możliwość uchwycenia zaburzeń hemodynamicznych jeszcze przed ich manifestacją kliniczną, kiedy to wczesna interwencja terapeutyczna może zapobiec rozwinięciu pełnoobjawowej dekomensacji choroby.

Prowadzenie pomiarów ICG może być także alternatywą dla inwazyjnych pomiarów hemodynamicznych w grupie osób krytycznie chorych z HF. Badanie, które przeprowadzili Silver i wsp. [22], dowiodło przydatności metody przy podejmowaniu decyzji terapeutycznych wobec chorych z HF leczonych na oddziałach intensywnej opieki kardiologicznej. Potwierdziło także, że korzystanie z ICG redukuje ryzyko powikłań związanych z pomiarami inwazyjnymi oraz wydatnie ogranicza koszty leczenia przy zachowaniu tożsamyh jego efektów.

Nadciśnienie tętnicze

W patogenezie nadciśnienia tętniczego (NT) wzrost ciśnienia tętniczego jest wypadkową złożonych mechanizmów zależnych od statusu neurohormonalnego ustroju, funkcji nerek i układu sercowo-naczyniowego. Nadciśnienie tętnicze może być efektem retencji płynów, wzrostu oporów naczyniowych, jak również hiperkinetycznej funkcji lewej komory serca. Parametry hemodynamiczne określone metodą ICG dobrze charakteryzują udział wymienionych patomechanizmów w rozwoju NT. W badaniu Abdelhammeda i wsp. [23] chorzy z NT (średnie BP dla grupy 154/90 mmHg) charakteryzowali się niższymi wartościami TACI, SI, CI, TFC oraz wyższym SVRI niż osoby zdrowe (BP 117/90 mmHg). Zaobserwowano ponadto, że tendencja do wzrostu SVRI była większa w grupie z wyższymi wartościami BP. Jak podkreślają autorzy, analiza otrzymanych wyników wykazała istotne osobnicze różnice w statusie hemodynamicznym badanych osób. Z innych obserwacji wynika również, że u chorych z NT ICG może być przydatną metodą oceny dysfunkcji lewej komory, której istotnymi predyktorami są CI ($p=0,005$), LCWI ($p=0,008$) i SVR ($p=0,048$) [24].

Niewątpliwie najważniejsze w ocenie przydatności klinicznej ICG były badania oceniające efekty terapii opartej na parametrach hemodynamicznych. W 2002 r. Taler i wsp. [25] opublikowali wyniki dużego, prospektywnego badania z randomizacją przeprowadzonego u 104 chorych z opornym NT. Chorych przydzielano losowo do grupy leczonej empirycznie zgodnie z obowiązującymi wytycznymi oraz grupy „hemodynamicznej” (HD), w której leczenie modyfikowano zależnie od wyniku pomiarów hemodynamicznych. W razie wysokiego CI i niskiego SVRI dodawano lub zwiększano dawkę beta-blokera lub leku o działaniu



Rycina 1. Znaczenie parametrów hemodynamicznych w optymalizacji leczenia chorych z HF [21]

ACE-I – inhibitor konwertazy angiotensyny, ARB – bloker receptora angiotensyny, N – norma, SI – wskaźnik wyrzutowy, SVR – systemowy opór naczyniowy, TFC – zawartość płynu w klatce piersiowej

niu ośrodkowym, równocześnie redukując dawkę wazodylatora, a przy niskim CI i wysokim SVRI postępowano odwrotnie – zmniejszono dawkę beta-blokera lub leku o działaniu ośrodkowym i intensyfikowano leczenie naczyniorozszerzające. U wszystkich chorych oceniano zmianę posturalną impedancji klatki piersiowej, przyjmując wartość poniżej 3Ω za wykładnik retencji płynów i wskazanie do włączenia lub zwiększenia dawki diuretyku. Po 3 miesiącach terapii w obu grupach uzyskano redukcję BP, jednak znamienne większą w grupie HD (169/87 do 139/72 vs 173/91 do 147/79 mmHg, $p < 0,01$). Kontrolę BP $< 140/90$ mmHg uzyskano odpowiednio: w grupie HD – 56%, w grupie leczonych empirycznie – 33% ($p < 0,05$). W opinii autorów ICG stanowiła istotne uzupełnienie oceny klinicznej, gwarantując lepszy dobór leków i ich dawek w odniesieniu do indywidualnego statusu hemodynamicznego chorego. Podobny charakter miało wielośrodkowe, prospektywne badanie z randomizacją CONTROL (*Consideration of Noninvasive Hemodynamic Monitoring to Target Reduction of Blood Pressure Levels*) wykonane u 164 chorych z NT randomizowanych do dwóch grup badawczych: grupy leczonej na podstawie parametrów hemodynamicznych (HD), takich jak SVRI, CI, TFC, oraz grupy kontrolnej [26]. Po 12 tygodniach leczenia zaobserwowano istotną poprawę kontroli wartości BP ($< 140/90$ mmHg), znamienne wyższą w grupie HD (77 vs 57%, $p < 0,01$). W analizie parametrów hemodynamicznych, podobnie jak w badaniu Taler i wsp. [25], różnice dotyczyły SVRI, którego wartość zmniejszyła się w obu grupach (2523 vs 2714 dyn·s·cm⁻⁵·m², $p < 0,05$), przy czym obniżenie SVRI było wyższe w grupie HD (-433 vs -219 dyn·s·cm⁻⁵·m²; $p < 0,05$). Obserwacje

Smitha i wsp. sugerują, że wykorzystanie ICG u chorych z NT istotnie poprawia skuteczność leczenia i umożliwia monitorowanie efektów prowadzonej terapii.

Wykorzystanie ICG w diagnostyce i leczeniu NT umożliwia indywidualną ocenę chorego oraz lepszy wgląd w patofizjologię choroby. Ma to bardzo duże znaczenie w podejmowaniu decyzji terapeutycznych. Leki hipotensyjne wykazują bowiem zróżnicowane działanie, a efekt hemodynamiczny niektórych z nich może być w pewnych sytuacjach klinicznych nawet krańcowo różny. Zastosowanie leku nieadekwatnego do statusu hemodynamicznego chorego może wiązać się z niedostateczną kontrolą BP i nieskutecznością terapii. W praktyce klinicznej obniżenie BP niejednokrotnie uzyskuje się dopiero po kilkukrotnej zmianie leków i ich dawkowania. Zastosowanie ICG zwiększa szanse skutecznej kontroli BP i pozwala uniknąć niepowodzeń terapeutycznych, które Sramek i wsp. określili mianem *trial-and-error* [27].

Choroba niedokrwienna serca

Próbę oceny przydatności ICG u osób z chorobą wieńcową lub jej podejrzeniem podjęli w swojej pracy Scherhag i wsp. [28]. U 65 chorych oceniano SV i CI w kolejnych etapach testu wysiłkowego, a następnie wykonano badanie angiograficzne. Chorych podzielono na 3 grupy: 1 – bez istotnych zwężeń, 2 – ze zwężeniem jednego naczynia, 3 – z chorobą ≥ 2 naczyń. W analizie spoczynkowych wartości SV i CI nie zaobserwowano istotnych różnic pomiędzy grupami, podczas gdy w kolejnych okresach wysiłku (75 W i 100 W) chorzy na miażdżycę wielonaczyniową charakteryzowali się istotnym obniżeniem wartości SV i CI ($p < 0,05$) – prawdopodobnie w związku z indukowaną wysiłkiem niedokrwiem-

ną dysfunkcją lewej komory. Przyjęte przez autorów kryteria nieprawidłowej funkcji hemodynamicznej (wzrost SV o <50% oraz CI o <125% przy obciążeniu 100 W) pozwoliły zwiększyć czułość próby obciążeniowej w identyfikacji chorych z istotnymi zmianami w tętnicach wieńcowych (85 vs 90%). Wykorzystanie ICG może okazać się szczególnie wartościowe w odniesieniu do równoczesnego zapisu krzywej pletyzmografii impedancyjnej (ang. *impedance plethysmography*, IPG). Możliwość pośredniej oceny sztywności za pomocą pomiaru prędkości fali tętna (ang. *pulse wave velocity*, PWV) oraz wskaźnika wzmocnienia (ang. *augmentation index*, AIx) jest bowiem uznaną metodą oceny ryzyka sercowo-naczyniowego [29].

Omdlenia wazowagalne

Wykorzystanie ICG w przebiegu testu pochyleniowego (ang. *tilt test*, TT) umożliwia ciągłe monitorowanie parametrów hemodynamicznych i ich zmienności w czasie pionizacji. Zastosowanie tej mało inwazyjnej metody badawczej nie zakłóca przebiegu badania i nie zmniejsza czułości TT, a rejestrowane wartości takich parametrów, jak SV, CO, PEP, LVET, dobrze korelują z wynikami otrzymanymi metodą echokardiograficzną [30, 31]. Ocena HR i SV w przebiegu TT wydaje się szczególnie przydatna w przewidywaniu wyniku badania, a równoczesne zastosowanie systemów pomiaru całkowitego oporu obwodowego (np. TaskForceMonitor, CNS) oraz ocena funkcji układu autonomicznego umożliwia precyzyjną identyfikację typu patofizjologicznego reakcji omdleniowej. Ułatwia to indywidualizację farmakoterapii i zwiększa szansę jej powodzenia [1].

Stymulacja serca

Kardiografia impedancyjna okazała się również skutecznym narzędziem optymalizacji ustawień dwujamowych stymulatorów serca. Monitorowanie SV i CO w czasie stymulacji umożliwia dobór najkorzystniejszego opóźnienia przedsionkowo-komorowego (*AV delay*), co poprawia jakość życia chorych i zmniejsza częstość hospitalizacji. Wyniki otrzymane metodą ICG dobrze korelują z pomiarami echokardiograficznymi, a technika badania eliminuje element subiektywny, nieunikniony w badaniach echokardiograficznych [30, 32]. Kardiografia impedancyjna może mieć również zastosowanie w rutynowej kontroli chorych po wszczęciu stymulatora serca, u których można się spodziewać istotnych zmian funkcji hemodynamicznej w warunkach niefizjologicznej stymulacji mięśnia sercowego. Korzystne efekty wykorzystania ICG w stymulacji dwujamowej stały się przyczyną zastosowania tej metody w terapii resynchronizującej (ang. *cardiac resynchronisation therapy*, CRT) w celu optymalizacji zarówno opóźnienia przedsionkowo-komorowego, jak i międzykomorowego (*VV delay*) [1, 33].

Podsumowanie

Ocena parametrów hemodynamicznych jest szczególnie ważna u chorych niestabilnych, wymagających szybkiej i trafnej interwencji terapeutycznej, jak również w leczeniu przewlekłych chorób układu sercowo-naczyniowego, niejednokrotnie istotnie obniżających jakość życia chorych (Tabela III).

Bez wątplenia główną rolę w ocenie stanu chorego odgrywa wiedza i doświadczenie kliniczne lekarza, jednak w epoce zaawansowanych technologii medycznych kluczem do podniesienia skuteczności terapii jest racjonalne

Tabela III. Możliwości wykorzystania metod impedancyjnych w terapii i leczeniu schorzeń układu sercowo-naczyniowego

| Potencjalne wskazania | |
|------------------------------------|---|
| Niewydolność serca | <ul style="list-style-type: none"> rozpoznanie i monitorowanie leczenia ostrej HF oraz zaostrzeń przewlekłej HF, zwłaszcza przy stosowaniu intensywnej terapii diuretykami i aminami presyjnymi monitorowanie chorych z HF w opiece ambulatoryjnej, wykrywanie zaburzeń hemodynamicznych w okresie bez- i skąpoobjawowym ocena rokowania krótkoterminowego ocena efektów rehabilitacji kardiologicznej ocena czynników ryzyka sercowo-naczyniowego |
| Nadciśnienie tętnicze | <ul style="list-style-type: none"> diagnostyka chorych z NT, zwłaszcza opornym na dotychczas stosowane leczenie hipotensyjne – indywidualizacja leczenia na podstawie parametrów hemodynamicznych monitorowanie chorych z NT w opiece ambulatoryjnej ocena czynników ryzyka sercowo-naczyniowego |
| Choroba niedokrwienna serca | <ul style="list-style-type: none"> ocena funkcji hemodynamicznej lewej komory (spoczynkowa i wysiłkowa) u chorych z niespecyficznymi dolegliwościami oraz nierozstrzygającym wynikiem testu wysiłkowego ocena czynników ryzyka sercowo-naczyniowego |
| Inne | <ul style="list-style-type: none"> monitorowanie chorych po przeszczepieniu serca ocena funkcji hemodynamicznej układu krążenia w przebiegu testu pionizacyjnego optymalizacja stymulacji serca, w tym terapii resynchronizującej rozpoznanie i monitorowanie leczenia zaburzeń hemodynamicznych w przebiegu innych schorzeń, takich jak wstrząs, niewydolność oddechowa, niewydolność nerek, zaburzenia endokrynologiczne i neurologiczne |

wykorzystanie posiadanych narzędzi diagnostycznych. Kardiografia impedancyjna umożliwia stałe i powtarzalne monitorowanie efektów prowadzonego leczenia, a co za tym idzie – szybką reakcją terapeutyczną i podejmowanie decyzji „na bieżąco”. Stwarza szansę uniknięcia konsekwencji nieskutecznej terapii, co ma szczególne znaczenie u chorych niestabilnych hemodynamicznie lub też opornych na leczenie i wymagających częstych hospitalizacji z uwagi na powtarzające się zaostrzenia objawów chorób przewlekłych.

Piśmiennictwo

1. Siebert J. Kardiografia impedancyjna. *Via Medica*, Gdańsk 2006.
2. Tan KH, Lai FO, Hwang NC. Measurement of cardiac output using Physio Flow with different positions of electrode placement. *Singapore Med J* 2006; 47: 967-70.
3. Kim DW. Detection of physiological events by impedance. *Yonsei Med J* 1989; 30: 1-11.
4. Woltjer HH, Bogaard HJ, de Vries PM. The technique of impedance cardiography. *Eur Heart J* 1997; 18: 1396-403.
5. Van De Water JM, Miller TW, et al. Impedance cardiography: the next vital sign technology? *Chest* 2003; 123: 2028-33.
6. Summers RL, Shoemaker WC, Peacock WF, et al. Bench to bedside: electrophysiologic and clinical principles of noninvasive hemodynamic monitoring using impedance cardiography. *Acad Emerg Med* 2003; 10: 669-80.
7. Ranaei RN, Heywood JT, Elatre WA. Assessment of myocardial contractility and total arterial compliance by impedance cardiography determined parameters. *J Card Fail* 2002; 4 (Suppl.): S-97.
8. Ventura HO, Taler SJ, Strobeck JE. Hypertension as a hemodynamic disease: the role of impedance cardiography in diagnostic, prognostic, and therapeutic decision making. *Am J Hypertens* 2005; 18: 26S-43S.
9. Yung GL, Fletcher CC, Fedullo PF, et al. Noninvasive cardiac index using bioimpedance in comparison to direct Fick and thermodilution methods in patients with pulmonary hypertension. *Chest* 1999; 116 (Suppl. 2): 281S.
10. Verhoeve PE, Caldwell CA, Tsadok S. Reproducibility of noninvasive bioimpedance measurements of cardiac function. Second Annual Meeting of the Heart Failure Society of America Boca Raton; FL 1998.
11. Yancy C, Abraham WT. Noninvasive hemodynamic monitoring in heart failure: utilization of impedance cardiography. *Congest Heart Fail* 2003; 9: 241-50.
12. Parrott CW, Burnham KM, Quale C, et al. Comparison of changes in ejection fraction to changes in impedance cardiography cardiac index and systolic time ratio. *Congest Heart Fail* 2004; 10 (2 Suppl. 2): 11-3.
13. Cianci P, Lonergan-Thomas H, Brennan S, et al. Bedside use of impedance cardiography to document and monitor heart failure with preserved systolic function: delineation of impaired stroke volume reserve. *J Card Fail* 2003; 9 (Suppl.): S95.
14. Ramirez MFL, Marinas CE, Yamamoto ME, et al. Impedance Cardiography in heart failure patients in the intensive care unit: its value in the detection of left ventricular systolic dysfunction and correlation with the echocardiogram. *J Am Coll Cardiol* 2004; 43 (5 Suppl. A): 207A.
15. Castellanos LR, Bhalla V, Isakson S, et al. B-type natriuretic peptide and impedance cardiography testing at the time of routine echocardiography predict subsequent heart failure events. *J Card Fail* 2005; 11 (Suppl. 6): S123.
16. Zewail A, Broom C, Eastwood C, et al. Use of systolic time ratio and B-type natriuretic peptide to predict mortality in patients with heart failure. *J Card Fail* 2003; 9 (Suppl.): S105.
17. Thompson B, Drazner MH, Dries DL, et al. Is impedance cardiography-derived systolic time ratio a useful method to determine left ventricular systolic dysfunction in heart failure? *J Card Fail* 2004; 10 (Suppl. 4): S38.
18. Summers RL, Kolb JC, Woodward LH, et al. Differentiating systolic from diastolic heart failure using impedance cardiography. *Acad Emerg Med* 1999; 6: 675-7.
19. Parrott CW, Quale C, Lewis DL, et al. Systolic blood pressure does not reliably identify vasoactive status in chronic heart failure. *Am J Hypertens* 2005; 18: 82S-86S.
20. Packer M, Abraham WT, Mehra MR, et al. Utility of impedance cardiography for the identification of short-term risk of clinical decompensation in stable patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol* 2006; 47: 2245-52.
21. Strobeck J, Silver M. Beyond the four quadrants: the critical and emerging role of impedance cardiography in heart failure. *Congest Heart Fail* 2004; 10 (Suppl. 2): 1-6.
22. Silver MA, Cianci P, Brennan S, et al. Evaluation of impedance cardiography as an alternative to pulmonary catheterization in critically ill patients. *Congest Heart Fail* 2004; 10 (2 Suppl. 2): 17-21.
23. Abdelhammed AI, Smith RD, Levy P, et al. Noninvasive hemodynamic profiles in hypertensive subjects. *Am J Hypertens* 2005; 18: 51S-59S.
24. Bhalla V, Isakson S, Bhalla MA, et al. Diagnostic ability of B-type natriuretic peptide and impedance cardiography: testing to identify left ventricular dysfunction in hypertensive patients. *Am J Hypertens* 2005; 18: 73S-81S.
25. Taler SJ, Textor SC, Augustine JE. Resistant hypertension: comparing hemodynamic management to specialist care. *Hypertension* 2002; 39: 982-8.
26. Smith RD, Levy P, Ferrario CM. Consideration of Noninvasive Hemodynamic Monitoring to Target Reduction of Blood Pressure Levels Study Group: Value of Noninvasive Hemodynamics to Achieve Blood Pressure Control in Hypertensive Subjects (The CONTROL Trial). *Hypertension* 2006; 47: 769-75.
27. Sramek BB, Tichy JA, Hojerova M, et al. Normohemodynamic goal-oriented antihypertensive therapy improves the outcome. *Am J Hypertens* 1996; 9: 141A.
28. Scherhag A, Pflieger S, Garbsch E, et al. Automated impedance cardiography for detecting ischemic left ventricular dysfunction during exercise testing. *Kidney Blood Press Res* 2005; 28: 77-84.
29. Gielerak G. Neurocardiology – contemporary advanced research concerning arrhythmia mechanisms and sudden cardiac death. *Kardiol Pol* 2007; 65: 709-14.
30. Cybulski G, Koźluk E, Michalak E, et al. Holter reograficzny – reomonitor. System do ciągłej, nieinwazyjnej oceny objętości wyrzutowej i podokresów skurczu serca. *Kardiol Pol* 2004; 61: 143-6.
31. Cybulski G, Michalak E, Koźluk E, et al. Stroke volume and systolic time intervals: beat-to-beat comparison between echocardiography and ambulatory impedance cardiography in supine and tilted positions. *Med Biol Eng Comput* 2004; 42: 707-11.
32. Mellert F, Lindner P, Schiller W, et al. Therapeutic optimization of atrioventricular delay in cardiosurgical ICU patients by noninvasive cardiac output measurements versus pulse contour analysis. *Thorac Cardiovasc Surg* 2008; 56: 269-73.
33. Sodolski T, Kutarski A. Impedance cardiography: a valuable method of evaluating haemodynamic parameters. *Cardiol J* 2007; 14: 115-26.