

Nowe techniki echokardiograficznej detekcji wsięrdzia

Jarosław D. Kasprzak i Jarosław Drożdż

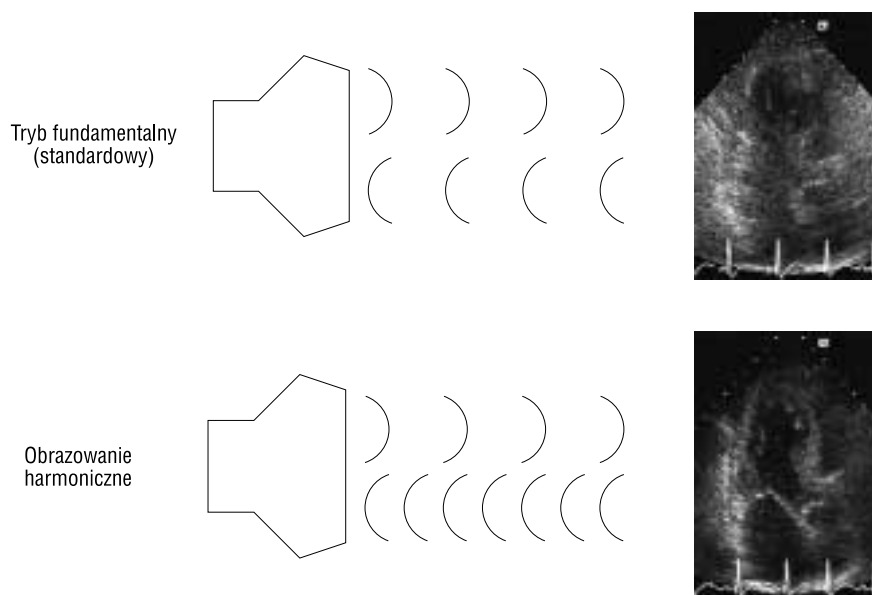
Klinika Kardiologii Instytutu Medycyny Wewnętrznej Akademii Medycznej w Łodzi

Dwuwymiarowa echokardiografia dopplerowska jest podstawowym narzędziem badania odcinkowej i globalnej funkcji lewej komory we współczesnej kardiologii. Umożliwia ona przy niewielkim koszcie ilościową ocenę kurczliwości, natychmiastową ilościową ocenę kurczliwości, w spoczynku i podczas obciążenia serca — wysiłkiem fizycznym bądź stresem farmakologicznym. Podstawowym ograniczeniem techniki jest duża zależność wartości diagnostycznej od warunków anatomicznych pacjenta (jakości tzw. okna akustycznego). Typowe problemy dotyczą pacjentów z rozedmą, otyłością lub deformacjami klatki piersiowej, u których są utrudnione: penetracja wiązki ultradźwięków i uzyskanie diagnostycznego sygnału odbitego. Alternatywą jest wykonanie echokardiogramu przezprzełykowego, który z racji półinwazyjności (konieczność intubacji przełyku) pacjenci akceptują w mniejszym stopniu i który mniej nadaje się do wykonywania seryjnych badań kontrolnych. Ponieważ ocena funkcji lewej komory stanowi najczęstsze wskazanie do wykonania echokardiogramu, a jej wiarygodność zależy od prawidłowego zidentyfikowania subtelnego echa pochodzącego z granicy wsięrdzia, podjęto intensywne prace nad rozwojem technik poprawiających jej obrazowanie. Ich efektem są wprowadzane od kilku lat i dostępne w większości nowoczesnych aparatów echokardiograficznych takie techniki echokardiograficzne, jak obrazowanie harmoniczne, obrazowanie techniką inwersji pulsu i echokardiografia kontrastowa.

Obrazowanie harmoniczne i inwersja pulsu

Obrazowanie harmoniczne [1, 2] jest najważniejszą z punktu widzenia praktyki klinicznej innowacją w zakresie technik echokardiograficznych poprawiających detekcję wsięrdzia. Obraz dwuwymiarowy w trybie harmonicznym powstaje z wykorzystaniem tzw. nieliniowej odpowiedzi akustycznej, czyli efektu rezonansu spowodowanego wiązką ultradźwięków. Zjawisko to występuje bardzo wyraźnie w przypadku mikropęcherzyków gazu (np. po podaniu środka kontrastowego), ale wykazują je również tkanki wskutek różnej prędkości rozprzestrzeniania się „szczytów” i „dolin” fali akustycznej. Natężenie składowej harmonicznej rośnie proporcjonalnie do odległości od przetwornika i do kwadratu natężenia energii wysyłanej wiązki ultradźwięków. Jego konsekwencją jest pojawienie się w odbitym sygnale powracającym do głowicy ultradźwiękowej nieobecnych na początku częstotliwości harmonicznych, stanowiących wielokrotność częstotliwości emitowanej przez sondę (najsilniejsza z nich odpowiada podwojonej częstotliwości emitowanej — jest to tzw. druga harmoniczna). Odpowiedź harmoniczna tkanek umożliwia uzyskanie obrazu charakteryzującego się lepszym stosunkiem intensywności sygnału do zakłóceń i bardzo znaczną redukcją artefaktów [3, 4]. Tłumieniu ulegają szczególnie rewerberacje związane z przechodzeniem sygnału przez ścianę klatki piersiowej i odpowiedzialne za spadek rozdzielczości liniowej *sidelobes* (ryc. 1). Dzięki temu znacznie obniża się odsetek pacjentów z niediagnostycznym badaniem przezklatkowym — obraz zyskuje na kontrastowości, a zarys wsięrdzia staje się wyraźnie widoczny. Umożliwia to także bardziej precyzyjną ocenę objętości komór serca, a więc również ich frakcji wyrzutowej — zarówno w badaniach spoczynkowych, jak i obciążeniowych [5]. Dobra widoczność wsięrdzia

Adres do korespondencji: Dr hab. med. Jarosław D. Kasprzak
Klinika Kardiologii IMW Akademii Medycznej w Łodzi
Szpital im. Biegańskiego
ul. Kniaziewicza 1/5, 91–347 Łódź
W pracy wykorzystano dane z badań finansowanych w ramach grantu KBN 507–11–117.



Ryc. 1. Zasada obrazowania harmonicznego: w trybie fundamentalnym (tzn. standardowym) głowica odbiera echo w częstotliwości wysyłanej f_0 , a w trybie harmonicznym (panel dolny) częstotliwość odbierana stanowi wielokrotność częstotliwości wysyłanej f_0 (zazwyczaj $2 \times f_0$). Wyraźna poprawa uwidocznienia zarysu wsierdzia.

dzia jest także konieczna dla udanego echokardiogramu obciążeniowego — potwierdzono dużą użyteczność trybu harmonicznego w tym kontekście [6, 7]. Doświadczenia autorów z jego zastosowaniem w echokardiografii dobutaminowej potwierdzają jego wyższość nad obrazowaniem tradycyjnym, co przejawia się poprawą jakości obrazu zarówno w spoczynku, jak i na szczycie obciążenia. W trybie harmonicznym uwidoczniono lepiej 34% segmentów z cechami niedokrwienia, a w trybie fundamentalnym tylko 3% ($p < 0,001$) [8], co ułatwia właściwą interpretację testu i poprawia powtarzalność oceny. Podobne wyniki uzyskali Franke i wsp., wykazując poprawę trafności oceny badań w trybie harmonicznym u pacjentów ze złą jakością obrazu (wzrost czułości z 64 do 92% przy niezmięnionej swoistości 75%) [9]. Są duże nadzieje na poprawę powtarzalności oceny badań obciążeniowych, także wykonywanych przez różnych obserwatorów, dzięki zastosowaniu nowych metod detekcji wsierdzia — znajdują one poparcie we wstępnych doniesieniach wieloośrodkowych [10].

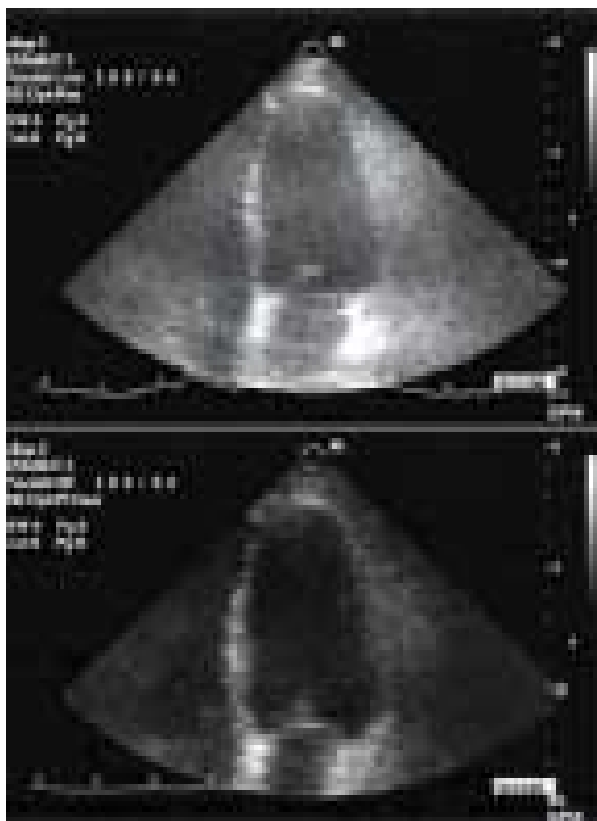
Nowością w zakresie technik redukcji artefaktów w obrazie dwuwymiarowym jest metoda inwersji pulsu (*Pulse Inversion Harmonics*). Zasada tworzenia obrazu polega na wysyłaniu kolejnych impulsów ultradźwiękowych o przeciwnej polarności (dodatnia/ujemna fala ciśnienia akustycznego). Obraz jest tworzony poprzez sumowanie kilku (najczęściej 3) kolejnych impulsów, co uwypukla efekty har-

moniczne, ale ogranicza rozdzielczość czasową metody. Technikę inwersji pulsu pierwotnie opracowano jako bardzo czułe narzędzie detekcji kontrastów echokardiograficznych, lecz zapewnia ona również w stopniu zbliżonym do obrazowania harmonicznego tłumienie artefaktów i poprawę obrazowania wsierdzia (ryc. 2) [11].

Echokardiografia kontrastowa

Bardzo efektywnym sposobem poprawy uwidocznienia zarysu wsierdzia jest zastosowanie środka kontrastowego. Metoda znalazła powszechniejsze zastosowanie dzięki opracowaniu środków kontrastowych przechodzących po podaniu dożylnym przez krążenie płucne. Cząsteczki środka kontrastowego (zazwyczaj mikropęcherzyki gazu), dzięki wydłużonemu czasowi przeżycia w krwiobiegu i małym rozmiarom, docierają do jamy lewej komory a następnie do układu tętniczego. Uzyskuje się zatem odpowiednik wentrykulogramu poprzez zacielenie lewej komory serca (ryc. 3).

Bardzo pożądanym elementem w echokardiografii kontrastowej jest użycie trybu harmonicznego, zapewniającego istotnie wyższą czułość detekcji środków kontrastowych. Zależy to od znacznie silniejszych nieliniowych własności akustycznych pęcherzyków gazu w porównaniu z tkankami serca. Oprócz wpadania w rezonans pęcherzyki kontrastu mogą być niszczone przez zmiany ciśnienia



Ryc. 2. Detekcja wsierdzia w trudnym technicznie badaniu przezklatkowym w trybie fundamentalnym (panel górny) i w trybie inwersji pulsu (panel dolny).

akustycznego, co powoduje mikroeksplozję związaną z wysłaniem krótkotrwałego, lecz bardzo silnego sygnału akustycznego. Jeszcze czulszą od obrazowania harmonicznego techniką jest tryb inwersji pulsu. Jego dodatkową zaletą stanowi działanie w niższych zakresach energii ultradźwięków, co zmniejsza destrukcję cząstek kontrastu i ułatwia uzyskanie homogennego zacięniowania lewej komory serca. Jednym z głównych zastosowań klinicznych dożylnych środków kontrastowych do poprawy detekcji wsierdzia jest echokardiografia obciążeniowa — zarówno wysiłkowa [12], jak i farmakologiczna [13, 14]. Obecnie dostępne są 4 środki kontrastowe — Albutex (wychodzący z użycia preparat I generacji), Levovist [15] (Schering), Optison [16] (Mallinckrodt/TYCO Health) oraz Sonovue [17] (Bracco). Istnieją pierwsze doniesienia potwierdzające efektywność ekonomiczną stosowania kontrastów do poprawy diagnostyki funkcji lewej komory [18], chociaż niewątpliwie postępy w natywnych technikach obrazowania mogą zawęzić to pole zastosowań. Oszczędności powstają wskutek unikania dalszych badań nie-



Ryc. 3. Diagnoza koniuszkowej kardiomiopatii przerostowej, możliwa poprzez echokardiogram kontrastowy z obrazowaniem w trybie inwersji pulsu (panel górny), które umożliwiło wykazanie znacznego przerostu koniuszka lewej komory, przy niediagnostycznym obrazie w badaniu w trybie fundamentalnym (panel dolny).

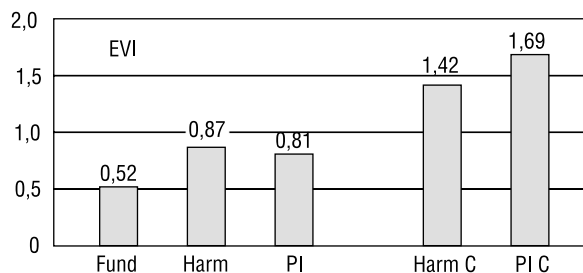
zbędnych do oceny funkcji serca przy niediagnostycznym echokardiogramie — mimo wstępnego dodatkowego kosztu 125 dolarów końcowe oszczędności w kosztach diagnostyki 1 pacjenta sięgają 269 dolarów (17%).

Która metoda jest najlepsza?

Istnieją badania porównujące poprawę detekcji wsierdzia za pomocą różnych metod. Porównanie natywnego obrazowania harmonicznego i techniki kontrastowej z użyciem kontrastu z obrazowaniem harmonicznym wskazują na zbliżoną użyteczność [3] tych technik, przewyższającą inne tryby optymalizowane dla detekcji zarysu miokardium [19]. Ocena jakościowa zarysu wsierdzia jest prawdopodobnie porównywalna, podczas gdy bada-

nia kontrastowe z użyciem harmonicznej metody Dopplera amplitudowego (*Harmonic Power Doppler*) mogą mieć pewną przewagę dla obliczania objętości lewej komory serca [20]. Nie poleca się natomiast stosowania kontrastów bez trybu harmonicznego. Wykonywanie harmonicznych badań kontrastowych jest szczególnie uzasadnione przy dużym prawdopodobieństwie trudnych warunków obrazowania, np. u pacjentów na oddziałach intensywnej opieki, u których ocena funkcji serca jest głównym wskazaniem do echokardiografii, a odsetek segmentów o niediagnostycznej jakości wizualizacji może być większy niż 1/3 [21, 22]. Nie jest do końca ustalona rola technik inwersji pulsu do oceny zarysu wsierdzia. Prawdopodobnie poprawiają one jakość niewzmocnionego kontrastem obrazu w stopniu zbliżonym do trybu harmonicznego [23], ale dzięki ich wysokiej czułości dla mikropełcherzyków kontrastu może to być metoda optymalna w pewnych grupach chorych. Wydają się to potwierdzać także wyniki wstępnych badań prowadzonych w klinice autorów [24] (ryc. 4). Istnieją też doniesienia sugerujące nieco lepszy efekt obrazowania metodą inwersji pulsu w porównaniu z trybem harmonicznym, należy jednak pamiętać o istotnym pogorszeniu rozdzielczości czasowej.

Reasumując, postęp technologii echokardiograficznych i farmakologii środków kontrastowych umożliwił echokardiografistom korzystanie z niezwykle wydajnych metod, pozwalających na znaczne ograniczenie liczby badań niediagnostycznych. Pewną barierą, zwłaszcza dla środków kontrastowych, jest dodatkowy koszt, ale wydaje się, że konkurencja na rynku producentów i rozszerzanie za-



Ryc. 4. Wskaźnik wizualizacji wsierdzia lewej komory (EVI, brak widoczności: EVI = 0, optymalna widoczność: EVI = 2) w pilotowej grupie pacjentów, charakteryzujących się bardzo złymi warunkami obrazowania, u których oceniano wizualizację wsierdzia z projekcji koniuszkowej z użyciem obrazowania fundamentalnego (Fund), harmonicznego (Harm) i w trybie inwersji pulsu (PI) — bez kontrastu i z jego użyciem (C).

stosowań mają szansę znacznie obniżyć ten próg. Na pytanie, czy „technicznie trudny echokardiogram” stanie się jedynie językowym archaizmem, odpowie niedaleka przyszłość [25].

Piśmiennictwo

1. Burns P.N. Harmonic imaging with ultrasound contrast agents. *Clin. Radiol.* 1996; 51: 50–55.
2. Kasprzak J.D., Ten Cate F.J., Krzemińska-Pakuła M. Obrazowanie harmoniczne — znaczący postęp w echokardiografii. *Ultrasonografia* 1998; 1: 54–59.
3. Kasprzak J.D., Paelinck B., Ten Cate F.J., Vletter W.B., de Jong N., Poldermans D., Bouakaz A., van Domburg R.T., Roelandt J.R.T.C. Second harmonic imaging improves the visualization of left ventricular endocardial border. A comparison of native and contrast-enhanced studies. *Am. J. Cardiol.* 1999; 83: 211–217.
4. Caidahl K., Kazzam E., Lidberg J., Neumann Andersen G., Nordanstig J., Rantapaa Dahlqvist S., Waldenstrom A., Wikh R. New concept in echocardiography: harmonic imaging of tissue without use of contrast agent. *Lancet* 1998, 352: 1264–1270.
5. Lafitte S., Lasserre R., Couffinal T., Dos Santos P., Coste P., Roudaut R. Superiority of second harmonic imaging for echocardiographic measurement of left ventricular volumes. Comparison with angiocardiology. *Arch. Mal. Coeur. Vaiss.* 1999; 92: 867–874.
6. Rodriguez O., Varga A., Dal Porto L., Pratali L., Morelos M., Matskeplishvili S. The impact of second harmonic imaging on stress echocardiography reading. *Cardiologia* 1999; 44: 451–454.
7. Skolnick D.G., Sawada S.G., Feigenbaum H., Segar D.S. Enhanced endocardial visualization with non-contrast harmonic imaging during stress echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 1999; 12: 559–563.
8. Kasprzak J.D., Paelinck B., Vletter W.B., Rocchi G., Koroleva L., Frowijn R., Poldermans D., Ten Cate F.J., Roelandt J.R.T.C. Harmonic imaging improves the interpretation of dobutamine-atropine stress echocardiography. *Echocardiography* 1998; 15 (8, cz. 2): S86 (streszczenie).
9. Franke A., Hoffmann R., Kuhl H.P., Lepper W., Breithardt O.A., Schormann M., Hanrath P. Non-contrast second harmonic imaging improves interobserver agreement and accuracy of dobutamine stress echocardiography in patients with impaired image quality. *Heart* 2000; 83: 133–140.
10. Hoffmann R., Poldermans D., van der Meer P. Lethen H., Tries HP, Ciani R., Gianfagna P., Katz A., Erbel R., Hanrath P., Marwick T.H. Maturing of stress echocardiography: improved intercenter agreement

- on interpretation of dobutamine stress echocardiograms using new techniques. *Circulation* 2000; 102 (supl. II): II-381.
11. Vancon A.C., Chow C.M., Fox E.R., Hill J., Picard M.H., Scherrer-Crosbie M. Pulse inversion harmonic imaging: does it improve the endocardial border definition? *J. Am. Coll. Cardiol.* 2000, 35 (supl. A): 439 (streszczenie).
 12. Yvorchuk K.J., Sochowski R.A., Chan K.L. Sonicated albumin in exercise echocardiography: technique and feasibility to enhance endocardial visualization. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 1996, 9: 462–469.
 13. Falcone R.A., Marcovitz P.A., Perez J.E., Dittrich H.C., Hopkins W.E., Armstrong W.F. Intravenous Albunex during dobutamine stress echocardiography: enhanced localization of left ventricular borders. *Am. Heart J.* 1995; 130: 254–258.
 14. Porter T.R., Xie F., Kricsfeld A., Chiou A., Dabestani A. Improved endocardial border resolution during dobutamine stress echocardiography with intravenous sonicated dextrose albumin. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1994; 23: 1440–1443.
 15. Schröder K., Agrawal R., Völler H., Schlieff H., Schröder R. Improvement of endocardial border delineation in suboptimal stress-echocardiograms using the new left heart contrast agent SH U 508A. *Int. J. Card. Imaging.* 1994; 10: 45–51.
 16. Cohen J., Bruns D., Hausner E., Gottdiener J., Dick C., Picard M., Crouse L., Pollick C. A multicenter trial comparing FS069 and ALBUNEX® for left ventricular endocardial border delineation. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1997; 29 (supl. A): 130A (streszczenie).
 17. Schneider M., Arditi M., Barrau M.B., Brochot J., Broillet A., Ventrione R., Yan F. BR1: a new ultrasonographic contrast agent based on sulfur hexafluoride-filled microbubbles. *Invest. Radiol.* 1995; 30: 451–457.
 18. Shaw L.J., Gillam L., Feinstein S., Dent J., Plotnick G. Use of an intravenous contrast agent (Optison) to enhance echocardiography: efficacy and cost implications. *Am. J. Manag. Care* 1998; 4: 169–176.
 19. Main M.L., Asher C.R., Rubin D.N., Odabashian J.A., Cardon L.A., Thomas J.D., Klein A.L. Comparison of tissue harmonic imaging with contrast (sonicated albumin) echocardiography and Doppler Myocardial Imaging for enhancing endocardial border resolution. *Am. J. Cardiol.* 1999; 83: 218–222.
 20. Lafitte S., Dos Santos P., Kerouani A., Robhan T., Roudaut R. Improved reliability for echocardiographic measurement of left ventricular volume using harmonic power imaging mode combined with contrast agent. *Am. J. Cardiol.* 2000; 85: 1234–1238.
 21. Kornbluth M., Liang D.H., Brown P., Gessford E., Schnittger I. Contrast echocardiography is superior to tissue harmonics for assessment of left ventricular function in mechanically ventilated patients. *Am. Heart J.* 2000; 140: 291–296.
 22. Reilly J.P., Tunick P.A., Timmermans R.J., Stein B., Rosenzweig B.P., Kronzon I. Contrast echocardiography clarifies uninterpretable wall motion in intensive care unit patients. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2000; 35: 485–490.
 23. Cooke J.C., Hancock J.E., Patsouras D.J., Klotsa D.A., Monaghan M.J. Pulse inversion imaging — the latest tool to enhance endocardial definition. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2000; 35 (supl. A): 490 (streszczenie).
 24. Kasprzak J.D., Zwierzak M., Drożdż J., Plewka M., Krzemińska-Pakuła M. Optimizing the left ventricular endocardial border detection: harmonics, pulse inversion or contrast? 6th Heart Centre European Symposium on Ultrasound Contrast Imaging. Rotterdam 25–26.01.2001.
 25. Malhotra V., Nwogu J., Bondmass M.D., Bean M., Bieniarz T., Tertell M., Conliss M., Devries S. Is the technically limited echocardiographic study an endangered species? endocardial border definition with native tissue harmonic imaging and Optison contrast: a review of 200 cases. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2000; 13: 771–773.

