



REDAKTOR DZIAŁU
prof. dr hab. n. med.
Edyta Płońska-
Gościński
Pracownia
Echokardiografii
Kliniki Kardiologii
PAM
w Szczecinie

Kardiologia po Dyplomie
2010; 9 (12): 31

Szanowne Koleżanki, Szanowni Koledzy!

W oddawanym właśnie numerze świątecznym tradycyjnie przypominamy ciągle aktualny Dekalog dobrego echokardiografisty. W kolejnym artykule z cyklu Nowe techniki pokazano metodę obrazowania doplera tkankowego oraz jej rolę w różnych sytuacjach klinicznych. W drugim artykule przedstawiono – stanowiące zawsze ważny problem – zmiany echokardiograficzne z pogranicza patologii i fizjologii, na przykład dodatkowe struktury z życia płodowego lub elementy starzenia się serca. Po raz pierwszy w dziale Echokardiografia od podstaw zamieszczono głos kardiochirurga na temat roli echokardiografii w oddziałach kardiologicznych. Na koniec chciałabym podziękować wszystkim, którzy zamieścili w dziale Echokardiografia od podstaw polskie skrzepliny, niezwykle interesującą praktyczną lekturę. W konkursie na najciekawszą skrzeplinę wygrali wszyscy. Jednak przede wszystkim składam serdeczne życzenia wszystkim Czytelnikom, autorom i redakcji spokojnych i rodzinnych Świąt Bożego Narodzenia, a w Nowym Roku 2011 zdrowia oraz radości rodzinnej, z wykonywanej pracy i z miłego urlopu.

Edyta Płońska-Gościński

Dekalog echokardiografisty:

1. Pozyskaj zaufanie chorego i zbierz wywiad, użyj stetoskopu.
2. Wymagaj wcześniejszej dokumentacji medycznej.
3. Badaj bez pośpiechu.
4. Nie pozwól przeszkadzać sobie w badaniu.
5. Nie ograniczaj pełnej oceny tylko do wybranych elementów badania echokardiograficznego serca.
6. Zawsze przestrzegaj obowiązującego standardu badania.
7. Nie staraj się za wszelką cenę sporządzić wyniku natychmiast po zakończeniu badania.
8. Koniecznie systematycznie pogłębiaj swoją wiedzę.
9. Koniecznie weryfikuj swe rozpoznania.
10. Nie mów źle o innych echokardiografistach.

Nowe techniki w kardiologii: tkankowa echokardiografia doplerowska

Wojciech Płazak, Piotr Podolec

Klinika Chorób Serca i Naczyń, Instytutu Kardiologii Collegium Medicum,
Uniwersytet Jagielloński, Kraków

Adres do korespondencji

Klinika Chorób Serca i Naczyń
Instytut Kardiologii Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego
ul. Prawdnicza 80, 31-202 Kraków

Kardiologia po Dyplomie 2010; 9 (12): 32-38

Wprowadzenie

Tkankowa echokardiografia doplerowska (tissue doppler echocardiography, TDE, tissue doppler imaging, TDI) jest ultrasonograficzną metodą obrazowania tkanek serca opartą na zjawisku Dopplera, stosowaną do bezpośredniej oceny funkcji mięśnia serca poprzez pomiar prędkości jego ruchu.

Podczas klasycznego badania echokardiograficznego z użyciem metody Dopplera badana jest prędkość przepływu krwi. Sygnały doplerowskie pochodzące z odbicia od poruszających się elementów morfotycznych krwi mają małą amplitudę oraz wysoką częstotliwość. Zastosowanie filtra wysokich częstotliwości w klasycznym badaniu doplerowskim umożliwia wyodrębnienie danych dotyczących przepływu krwi.

Sygnały doplerowskie odpowiadające ruchowi ścian serca charakteryzują się wysoką amplitudą oraz małą częstotliwością. Odcięcie sygnałów o niskiej amplitudzie podczas badania TDE pozwala zobrazować prędkość ruchu miokardium, eliminując sygnały pochodzące z odbicia od elementów morfotycznych krwi [1].

Ocena czynności skurczowej i rozkurczowej lewej komory

Istnieją dwie podstawowe techniki badania TDE: technika znakowania kolorem w prezentacji 2D i M-mode oraz technika z użyciem metody Dopplera pulsacyjnego.

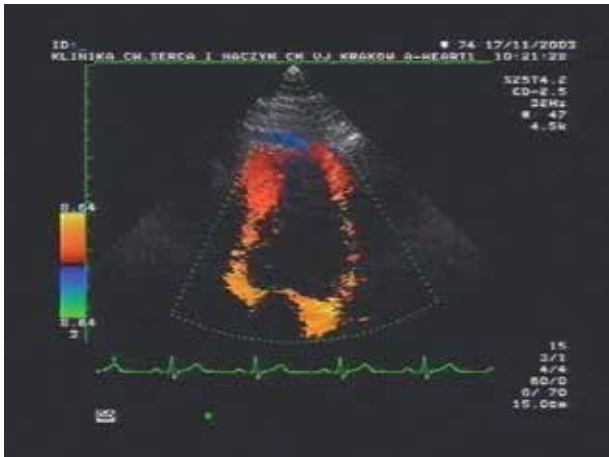
Technika znakowania kolorem w prezentacji 2D umożliwia obrazowanie poruszających się struktur serca. Kolor znakowania danej struktury zależy od prędkości jej ruchu. Metoda ta przydatna jest w obrazowaniu czyn-

ności skurczowej i rozkurczowej lewej komory. Prawidłowe znakowanie kolorem ścian lewej komory w osi długiej w czasie skurczu i wczesnego rozkurczu przedstawiają ryciny 1 i 2. W czasie skurczu segmenty przypodstawne i środkowe lewej komory poruszają się w stronę koniuszka, a więc w stronę głowicy echokardiograficznej, i znakowane są kolorami żółtym i czerwonym. Prędkość ruchu segmentów przypodstawnych lewej komory jest największa, zatem znakowane są kolorem żółtym. Tylko koniuszek porusza się w czasie skurczu w stronę przeciwną (od głowicy echokardiograficznej) i znakowany jest kolorem niebieskim (ryc. 1). W czasie wczesnego rozkurczu badane prędkości ruchu mają przeciwne kierunki (ryc. 2). Największe prędkości rejestrowane są w segmentach przypodstawnych (znakowanie kolorem zielonym).

Technika znakowania kolorem w prezentacji M-mode umożliwia ocenę czasu podokresów skurczu i rozkurczu komór [1]. Na rycinie 3 przedstawiono przykład zapisu TDE w prezentacji M-mode z przegrody międzykomorowej w projekcji koniuszkowej oraz czas poszczególnych podokresów skurczu i rozkurczu lewej komory.

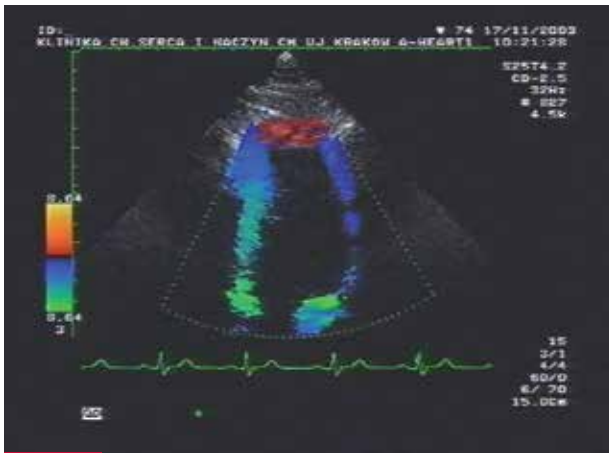
Ponieważ kolor odpowiada prędkości ruchu poszczególnych fragmentów miokardium, po zatrzymaniu obrazu M-mode istnieje możliwość oceny prędkości ruchu wybranego fragmentu mięśnia w danej chwili. Metoda ta jest jednak mało dokładna w ocenie maksymalnej prędkości ruchu wybranego segmentu mięśnia podczas całego okresu skurczu czy rozkurczu.

Technika TDE z użyciem metody Dopplera pulsacyjnego jest obecnie stosowana najpowszechniej. Po uruchomieniu funkcji Dopplera pulsacyjnego i wybraniu odpowiedniego fragmentu miokardium do badania otrzymujemy wykres prędkości jego ruchu w czasie. Na rycinie 4 przedstawiono wykres prędkości ruchu miokardium



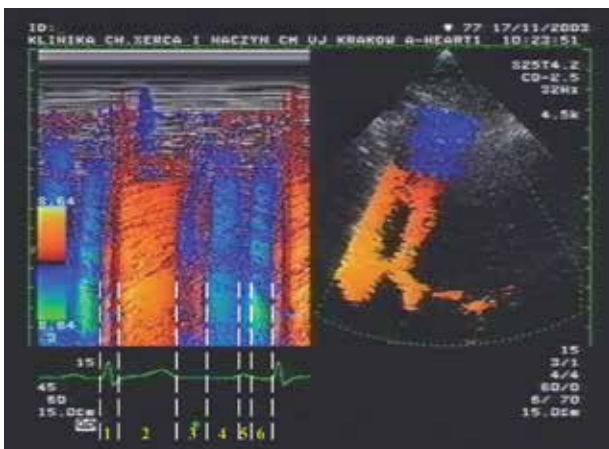
RYCINA 1

Obraz 2D lewej komory w projekcji koniuszkowej w czasie skurczu w badaniu TDE.



RYCINA 2

Obraz 2D lewej komory w projekcji koniuszkowej we wczesnej fazie rozkurczu w badaniu TDE.



RYCINA 3

Zapis TDE w prezentacji M-mode z przegrody międzykomorowej w projekcji koniuszkowej oraz czas trwania poszczególnych podokresów skurczu i rozkurczu. 1 – okres przedwyrzutowy, 2 – okres wyrzutu, 3 – okres rozkurczu izowolumetrycznego, 4 – okres szybkiego napełniania komory, 5 – diastasis, 6 – skurcz przedsionków.



RYCINA 4

Wykres prędkości przypodstawnego segmentu przegrody międzykomorowej podczas jednej ewolucji serca u osoby zdrowej. S' – fala skurczowa, E' – fala rozkurczowa w okresie szybkiego napełniania, A' – fala rozkurczowa w czasie skurczu przedsionków.

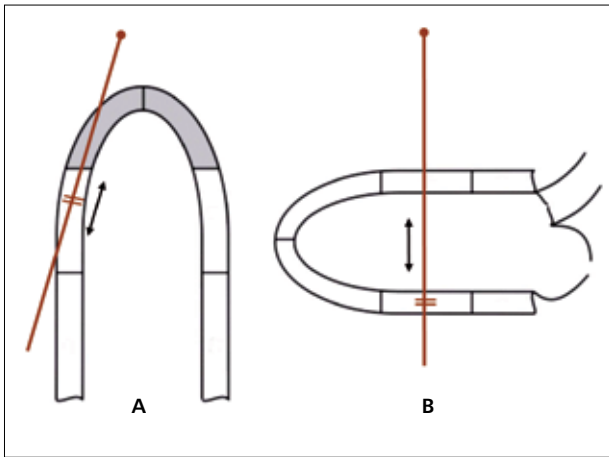
u osoby zdrowej. Bramka doplerowska umieszczona jest w segmencie przypodstawnym przegrody międzykomorowej.

Funkcję prędkości wybranego fragmentu mięśnia w czasie charakteryzują trzy podstawowe wychylenia: fala S' odpowiadająca ruchowi skurczowemu mięśnia, fala E' odpowiadająca ruchowi rozkurczowemu mięśnia w fazie szybkiego napełniania komory oraz fala A' odpowiadająca ruchowi rozkurczowemu mięśnia w czasie skurczu przedsionków. Jak wynika z piśmiennictwa [2], do oceny odcinkowej czynności skurczowej i rozkurczowej lewej komory szczególnie przydatna jest analiza maksymalnych wychyleń fal S' i E', czyli maksymalnych prędkości mięśnia podczas skurczu i rozkurczu w fazie szybkiego napełniania lewej komory.

W piśmiennictwie jest wiele doniesień dotyczących prawidłowych prędkości skurczowych i rozkurczowych poszczególnych segmentów lewej komory. Prawidłowe zakresy prędkości różnią się nieznacznie w zależności od aparatu echokardiograficznego, którym wykonywane jest badanie TDE. W polskim piśmiennictwie zakresy norm prędkości poszczególnych segmentów lewej komory podali Jarosław Drożdż i wsp. [3].

Ocena funkcji skurczowej i rozkurczowej lewej komory na podstawie analizy maksymalnych prędkości skurczowych i rozkurczowych mięśnia techniką TDE, szczególnie w aspekcie wykrywania zmian niedokrwiennych, jest metodą o wysokiej czułości i swoistości [4] oraz powtarzalności [5].

Zastosowanie tkankowej echokardiografii doplerowskiej umożliwia ilościową ocenę odcinkowej funkcji skurczowej i rozkurczowej miokardium w dowolnym fragmencie komory. Badanie TDE ma zatem istotną przewagę nad oceną indeksu odcinkowej kurczliwości lewej komory (wall motion score index, WMSI), który jest parametrem jakościowym, wymagającym subiektywnego rozróżnienia odcinkowych zaburzeń kurczliwości w cze-



RYCINA 5

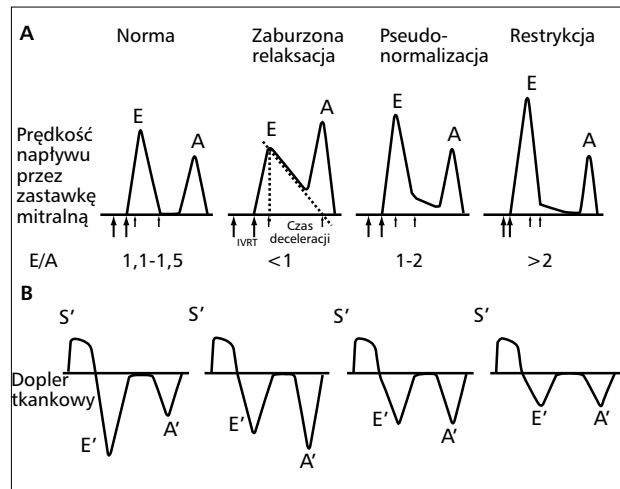
Schemat badania czynności lewej komory. **A.** W osi długiej w projekcjach koniuszkowych (funkcja włókien podłużnych warstwy podwiersrdziowej mięśnia). **B.** Prostopadle do osi długiej komory w projekcjach przymostkowych (funkcja włókien okrężnych warstwy nasierdziejowej mięśnia). Kolorem brązowym oznaczono kierunek przebiegu wiązki dopplerowskiej: w osi długiej komory (**A**), prostopadle do osi długiej komory (**B**). Strzałki oznaczają badany kierunek ruchu mięśnia komory.

rostopniowej skali (normokineza, hipokineza, akineza, dyskineza).

Badanie TDE umożliwia ocenę odcinkowej kurczliwości miokardium w wybranych regionach unaczynienia tętnic wieńcowych. Można zatem analizować zaburzenia funkcji skurczowej i rozkurczowej miokardium unaczynionego przez wybraną tętnicę wieńcową.

Prędkości ruchu miokardium mierzone w TDE w projekcjach przymostkowych są prędkościami ruchu skierowanego poprzecznie do długiej osi komory. Prędkości mierzone w projekcjach koniuszkowych są prędkościami ruchu skierowanego równoległe do długiej osi komory (ryc. 5). Tkankowa echokardiografia dopplerowska umożliwia więc niezależną analizę funkcji lewej komory w jej osi długiej i krótkiej. Jak wiadomo, mięsień lewej komory składa się z trzech podstawowych warstw mięśniowych: włókien podłużnych, okrężnych i skośnych. Warstwa włókien podłużnych przebiega podwiersrdziowo, warstwa włókien okrężnych nasierdziowo [6,7], zatem prędkości ruchu miokardium badane w projekcjach koniuszkowych zależą przede wszystkim od funkcji warstwy podwiersrdziowej mięśnia. Prędkości ruchu miokardium badane w projekcjach przymostkowych zależą przede wszystkim od funkcji warstwy nasierdziejowej mięśnia (ryc. 5) [6]. Wynikają stąd istotne implikacje, ponieważ warstwa podwiersrdziowa mięśnia jest wrażliwsza na zmiany niedokrwienne niż warstwa nasierdziowa. Funkcja skurczowa i rozkurczowa lewej komory jest też zależna przede wszystkim od dynamiki jej skurczu i rozkurczu w osi długiej.

W piśmiennictwie podkreśla się, że do oceny kurczliwości metodą TDE nie jest konieczna wizualizacja granicy wsierdza, co jest warunkiem prawidłowego klasycznego pomiaru frakcji wyrzutowej metodą Simpsona [8].



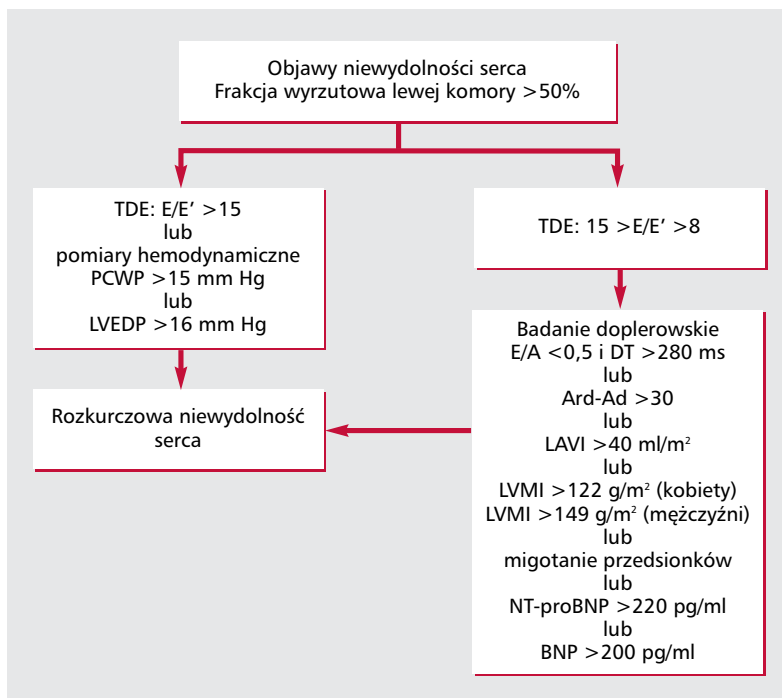
RYCINA 6

Zmiany konfiguracji napływu mitralnego w badaniu dopplerowskim (**A**) oraz zmiany wysokości fali E' w badaniu TDE (**B**) spowodowane postępującymi zaburzeniami funkcji rozkurczowej lewej komory.

Powszechnie stosowane echokardiograficzne metody oceny funkcji rozkurczowej lewej komory oparte są przede wszystkim na analizie spektrum napływu mitralnego [9]. Służą one do oceny globalnej czynności rozkurczowej lewej komory. Ich istotnym ograniczeniem jest efekt pseudonormalizacji wynikający z zależności prędkości napływu mitralnego od ciśnienia w lewym przedsionku [9]. Tkankowa echokardiografia dopplerowska jest znacznym postępem w ocenie funkcji rozkurczowej lewej komory, ponieważ umożliwia nieinwazyjną ilościową analizę odcinkowych zaburzeń rozkurczu. Ma to duże znaczenie, odcinkowa dysfunkcja rozkurczowa komory jest bowiem czułym wskaźnikiem niedokrwienia [10]. Ważną cechą badania TDE jest to, że maksymalna prędkość ruchu miokardium w fazie szybkiego napełniania komór nie ulega efektowi pseudonormalizacji [11]. Rycina 6 przedstawia schemat zmian konfiguracji napływu mitralnego w badaniu dopplerowskim oraz zmian wysokości fali E' w badaniu TDE spowodowanych postępującymi zaburzeniami funkcji rozkurczowej lewej komory.

Nieinwazyjny pomiar ciśnienia zaklinowania w kapilarach płucnych

Omówione powyżej zależności dają podstawę do nieinwazyjnej oceny ciśnienia napełniania komory, a zatem do nieinwazyjnego pomiaru ciśnienia końcoworozkurczowego w lewej komorze oraz ciśnienia zaklinowania w kapilarach płucnych (pulmonary capillary wedge pressure, PCWP). Można to zobrazować następująco:



RYCINA 7 Algorytm oceny czynności rozkurczowej lewej komory stosowany w celu stwierdzenia rozkurczowej niewydolności serca (zmodyfikowano z [14]).

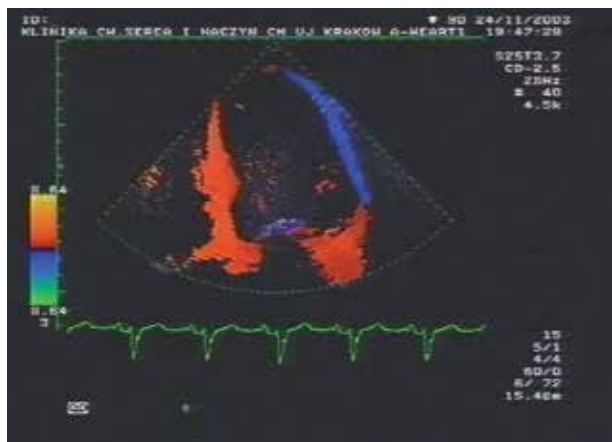
E/E' – stosunek prędkości napływu mitralnego i prędkości pierścienia mitralnego we wczesnej fazie rozkurczu, PCWP – ciśnienie zaklinowania w kapilarach płucnych, LVEDP – ciśnienie końcoworozkurczowe w lewej komorze, E/A – stosunek prędkości wczesnego napływu mitralnego i napływu mitralnego w czasie skurczu przedsionka, DT – czas deceleracji fali wczesnego napływu mitralnego, Ard – czas trwania wstecznego przepływu w żyłę płucnej w czasie skurczu przedsionka, Ad – czas trwania napływu mitralnego w czasie skurczu przedsionka, LAVI – indeks objętości lewego przedsionka, LVMI – indeks masy lewej komory.

$$\frac{E}{E'} \approx \frac{\text{czynność rozkurczowa} \times \text{ciśnienie napełniania}}{\text{czynność rozkurczowa} \times \text{ciśnienie napełniania}} \approx$$

E jest tutaj maksymalną prędkością napływu krwi przez ujście mitralne w fazie szybkiego napełniania komory, E' jest maksymalną prędkością ruchu pierścienia mitralnego w badaniu TDE w fazie szybkiego napełniania komory. Jak wykazano, stosunek E/E' koreluje z ciśnieniem zaklinowania w kapilarach płucnych. Ciśnienie zaklinowania w kapilarach płucnych obliczyć można ze wzoru [12]:

$$PCWP = 1,9 + 1,24 (E/E')$$

Stosunek E/E' jest głównym parametrem umożliwiającym rozpoznanie rozkurczowej niewydolności serca [13].



RYCINA 8

Obraz lewej komory we wczesnej fazie skurczu w projekcji koniuszkowej u chorego z chorobą niedokrwienną serca.

Obowiązujący algorytm oceny czynności rozkurczowej lewej komory stosowany w celu stwierdzenia rozkurczowej niewydolności serca przedstawia rycina 7.

Zastosowanie tkankowej echokardiografii dopplerowskiej w wybranych chorobach

CHOROBA NIEDOKRWIENNA SERCA

Zastosowanie obrazowania 2D w badaniu TDE umożliwia ocenę zaburzeń kurczliwości odcinkowej lewej komory, szczególnie obszarów dyskinezy i asynergii skurczu. Rycina 8 przedstawia lewą komorę we wczesnej fazie skurczu w projekcji koniuszkowej u chorego z chorobą niedokrwienną serca. Widoczna jest asynergia skurczu: podstawa serca oraz przegroda międzykomorowa wykazują ruch skurczowy (znakowane są kolorem czerwonym), natomiast ściana boczna lewej komory porusza się w stronę przeciwną (znakowana jest kolorem niebieskim).

Technika TDE z użyciem metody Dopplera pulsacyjnego umożliwia ilościową analizę zaburzeń czynności skurczowej i rozkurczowej lewej komory. Rycina 9 przedstawia wykres prędkości ruchu przypodstawnego segmentu mięśnia lewej komory u osoby zdrowej oraz u chorego z krytycznym zwężeniem prawej tętnicy wieńcowej (RCA, unaczyniającej badany segment mięśnia) przed i po zabiegu PTCA. U osoby zdrowej stwierdzono wysokie prędkości skurczową i wczesnorozkurczową badanego segmentu mięśnia. U chorego z niedokrwieniem ocenianego segmentu mięśnia lewej komory obserwowano obniżenie prędkości skurczowej oraz wczesnorozkurczowej mięśnia. Zmniejszenie wysokości fali E' u badanego chorego jest większe od obniżenia wysokości fali S'. Świadczy to o szczególnie istotnym zaburzeniu czynności rozkurczo-

RYCINA 9

Zapisy prędkości ruchu mięśnia lewej komory techniką TDE. Prędkość oceniano w segmencie przypadkowym przegrody międzykomorowej u osoby zdrowej (A) oraz u chorego z istotnym zwężeniem RCA przed zabiegiem angioplastyki (B) i 3 miesiące po skutecznej angioplastyce (C).

A. Osoba zdrowa

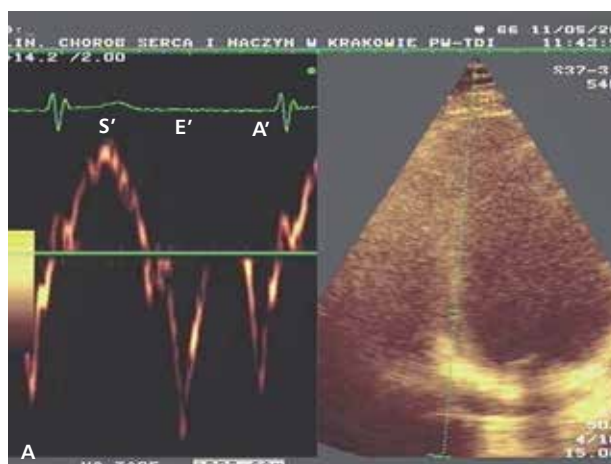
$S' = 8,0 \text{ cm/s}$
 $E' = 12,5 \text{ cm/s}$
 $A' = 9,9 \text{ cm/s}$

B. Chory przed angioplastyką RCA

$S' = 4,4 \text{ cm/s}$
 $E' = 4,0 \text{ cm/s}$
 $A' = 7,4 \text{ cm/s}$

C. Chory po angioplastyce RCA

$S' = 6,4 \text{ cm/s}$
 $E' = 6,6 \text{ cm/s}$
 $A' = 7,6 \text{ cm/s}$



wej niedokrwionego miokardium. Po angioplastyce uwi-
doczniono zwiększenie prędkości skurczowej oraz rozkur-
czowej badanego obszaru.

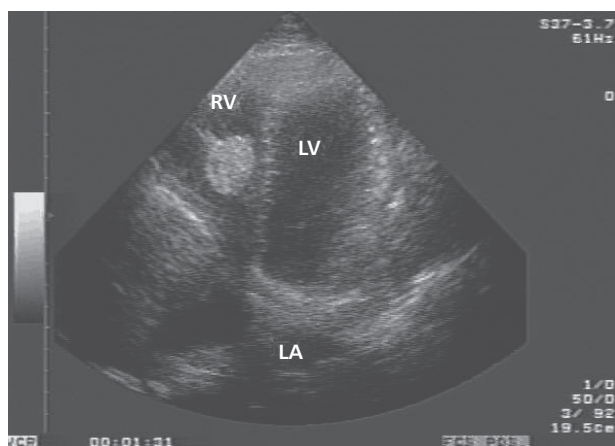
Ocena dodatkowych struktur wewnątrzsercowych

Tkankowa echokardiografia dopplerowska jest przydatna
w ocenie morfologii i ruchomości struktur dodatkowych
znajdujących się w sercu, takich jak skrzepliny, wegetacje

czy guzy [14]. Wyróżniono trzy rodzaje ruchu struktur
dodatkowych w zależności od ich przemieszczania się
względem otaczających tkanek serca [14]:

- ruch zgodny z ruchem otaczających tkanek co do kierunku i fazy,
- ruch koherentny, zgodny co do kierunku, lecz z różnicą fazy,
- ruch niekoherentny, niezależny od ruchu otaczających tkanek.

Stwierdzenie niekoherentnego ruchu struktury dodat-
kowej względem miejsca przyczepu może świadczyć o wy-



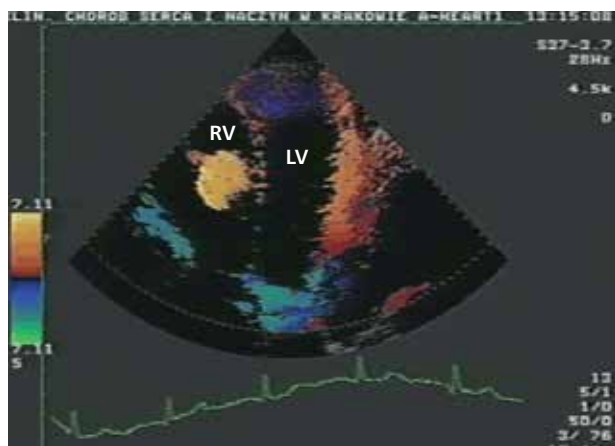
RYCINA 10

Guz prawej komory w badaniu 2D. RV – prawa komora, LV – lewa komora, LA – lewy przedsionek.



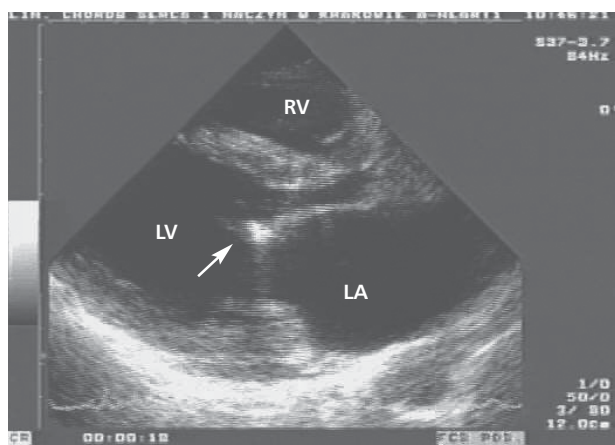
RYCINA 13

Wegetacja na przednim płątku mitralnym w badaniu TDE w projekcji przymostkowej (strzałka). Widoczny niekoherentny ruch wegetacji. LV – lewa komora, RV – prawa komora, LA – lewy przedsionek.



RYCINA 11

Guz prawej komory w badaniu TDE. RV – prawa komora, LV – lewa komora.



RYCINA 12

Wegetacja na przednim płątku mitralnym w badaniu 2D w projekcji przymostkowej (strzałka). LV – lewa komora, RV – prawa komora, LA – lewy przedsionek.

sokim ryzyku jej oderwania. Rycina 10 przedstawia guz prawej komory, a rycina 11 ten sam obraz w badaniu TDE. Ruch masy guza jest koherentny względem ścian prawej komory, ma jednak wyższe prędkości (znakowanie kolorem żółtym).

Rycina 12 przedstawia wegetację na przednim płątku mitralnym w badaniu 2D w projekcji przymostkowej. Zastosowanie badania TDE (ryc. 13) umożliwia stwierdzenie niekoherentnego ruchu wegetacji.

Echokardiografia obciążeniowa

Możliwość ilościowej oceny czynności skurczowej mięśnia serca w badaniu TDE wykorzystano w echokardiograficznej próbie dobutaminowej oraz echokardiografii wysiłkowej. Podanie dobutaminy oraz stymulacja adrenergiczna powoduje wzrost prędkości ruchu prawidłowo ukrwionych segmentów mięśniowych. Odpowiedź ta jest znacznie upośledzona w segmentach niedokrwionych [15].

Różnicowanie kardiomiopatii restrykcyjnej i zaciskającego zapalenia osierdzia

Badanie TDE ułatwia różnicowanie między tymi chorobami prowadzącymi do zaburzeń napełniania lewej komory. W zaciskającym zapaleniu osierdzia czynność rozkurczowa lewej komory jest prawidłowa, a w początkowej fazie rozkurczu ruch komory nie jest jeszcze ograniczany przez osierdzie. Dlatego prędkość wczesnorozkurczowa mięśnia jest duża. Kardiomiopatia restrykcyjna prowadzi do zaburzeń czynności rozkurczowej lewej komory, co powoduje obniżenie prędkości wczesnorozkurczowych mięśnia. Według Garcii i wsp. [16] przyjęcie granicznej prędkości ruchu pierścienia mitralnego we wczesnej fazie rozkurczu 8 cm/s pozwala rozróżnić te choroby z wysoką czułością i swoistością.

Kardiomiopata przerostowa

U chorych z kardiomiopatią przerostową badanie TDE wykorzystano do oceny zmian ciśnienia napełniania lewej komory (wskaźnik E/E') po zastosowanym leczeniu oraz w obrazowaniu asynchronii skurczu przegrody międzykomorowej. Zmniejszenie gradientu ciśnień w drodze odpływu lewej komory u chorych z kardiomiopatią przerostową zawężającą powodowało poprawę czynności rozkurczowej komory manifestującą się istotnym zmniejszeniem wartości wskaźnika E/E' [17].

Przeszczepienie serca

Podjęto próby zastosowania badania TDE w monitorowaniu czynności serca przeszczepionego i diagnostyce reakcji odrzucania przeszczepu. Puelo i wsp. [18] stwierdzili, że maksymalna prędkość tylnej ściany lewej komory w czasie rozkurczu u chorych, u których nie stwierdzano reakcji odrzucania przeszczepu, wynosiła średnio 21 cm/s, natomiast u chorych z reakcją odrzucania 14 cm/s. Skuteczne leczenie reakcji odrzucania prowadziło do wzrostu prędkości rozkurczowych mięśnia. Przyjęcie wartości granicznej 16 cm/s pozwala według tych autorów na rozpoznanie reakcji odrzucania serca z 76% czułością i 88% swoistością. Możliwość zastosowania TDE u chorych po przeszczepieniu serca wymaga jednak dalszych badań, ponieważ nie wszyscy autorzy potwierdzają powyższe spostrzeżenia.

Piśmiennictwo

1. Erbel R, Nesser HJ, Drożdż J. Atlas of Tissue Doppler Echocardiography. Steinkopf, Darmstadt, 1995: 9.
2. Kukulski T, Voigt JU, Wikenshoff UM, et al. A comparison of regional myocardial velocity information derived by pulsed and color doppler techniques: an in vitro and in vivo study. *Echocardiography* 2000; 17: 639.
3. Drożdż J, Kasprzak JD, Plewka M, et al. Możliwości oceny i definicja prawidłowych prędkości ruchu ścian lewej komory serca przy użyciu tkankowej echokardiografii dopplerowskiej (TDE). *Polski Przegląd Kardiologiczny* 2000; 2: 139.
4. Bibra H, Tuchnitz A, Klein A, et al. Regional diastolic function by pulsed doppler myocardial mapping for the detection

- of left ventricular ischemia during pharmacologic stress testing: a comparison with stress echocardiography and perfusion scintigraphy. *J Am Coll Cardiol* 2000; 36: 444.
5. Vinereanu D, Khokhar A, Fraser AG. Reproducibility of pulsed wave tissue Doppler echocardiography. *J Am Soc Echo* 1999; 12: 492.
6. Isaaq K. What are we actually measuring by Doppler tissue imaging? *J Am Coll Cardiol* 2000; 36: 897.
7. Rushmer RF, Crystal DK, Wagner C. The functional anatomy of ventricular contraction. *Circ Res* 1952; 1: 162.
8. Gulati VK, Katz WE, Follansbee WP, et al. Mitral annular descent velocity by tissue Doppler echocardiography as an index of global left ventricular function. *Am J Cardiol* 1996; 77: 979.
9. Klein AL, Scalia GM. Transmitral flow assessment in health and diastolic dysfunction. W: Topol EJ (red.). *Comprehensive Cardiovascular Medicine*, Lippincott – Raven Publishers, Philadelphia, 1998: 674.
10. Garcia-Fernandez MA, Azevedo J, Moreno M, et al. Regional diastolic function in ischaemic heart disease using pulsed wave Doppler tissue imaging. *Eur Heart J* 1999; 20: 496.
11. Sohn DW, Chai IH, Lee DJ, et al. Assessment of mitral annulus velocity by Doppler tissue imaging in the evaluation of left ventricular diastolic function. *J Am Coll Cardiol* 1997; 30: 474.
12. Nagueh SF, Middleton KJ, Kopelen HA, et al. Doppler Tissue Imaging: a noninvasive technique for evaluation of left ventricular relaxation and estimation of filling pressures. *J Am Coll Cardiol* 1997; 30: 1527.
13. Paulus WJ, Tschope C, Sanderson JE, et al. How to diagnose diastolic heart failure: a consensus statement on the diagnosis of heart failure with normal left ventricular ejection fraction by the Heart Failure and Echocardiography Associations of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 2007; 11.
14. Hlawaty M, Tracz W, Olszowska M, et al. Tkankowa echokardiografia dopplerowska: nowa metoda diagnozowania struktur wewnątrzsercowych. *Polski Przegląd Kardiologiczny* 1999; 1: 41.
15. Katz WE, Gulati VK, Mahler CM, et al. Quantitative evaluation of the segmental left ventricular response to dobutamine stress by tissue Doppler echocardiography. *Am J Cardiol* 1997; 79: 1036.
16. Garcia MJ, Rodriguez L, Ares M, et al. Differentiation of constrictive pericarditis from restrictive cardiomyopathy: assessment of left ventricular diastolic velocities in longitudinal axis by Doppler tissue imaging. *J Am Coll Cardiol* 1996; 27: 108.
17. Sitges M, Shiota T, Lever HM, et al. Comparison of left ventricular diastolic function in obstructive hypertrophic cardiomyopathy in patients undergoing percutaneous septal alcohol ablation versus surgical myotomy/myectomy. *Am J Cardiol* 2003; 91: 817.
18. Puelo JA, Aranda JM, Weston MW, et al. Noninvasive detection of allograft rejection in heart transplant recipients by use of Doppler tissue imaging. *J Heart Lung Transplant* 1998; 17: 176