

Otrzymano:
15.08.2018Zaakceptowano:
19.02.2019Opublikowano:
29.03.2019**Badanie echokardiograficzne u dorosłych****Echocardiography in adults**Edyta Płońska-Gościński¹, Barbara Lichodziejewska², Andrzej Szyszka³, Tomasz Kukulski⁴, Jarosław D. Kasprzak⁵, Olga Dzikowska-Diduch², Andrzej Gackowski⁶, Piotr Gościński⁷, Piotr Pysz^{8,9}, Zbigniew Gąsior¹⁰¹ *Klinika Kardiologii, Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie, Szczecin, Polska*² *Klinika Chorób Wewnętrznych i Kardiologii, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Warszawa, Polska*³ *Klinika Kardiologii, Uniwersytet Medyczny w Poznaniu, Poznań, Polska*⁴ *Klinika Kardiologii, Wad Wrodzonych Serca i Elektroterapii, Śląskie Centrum Chorób Serca, Śląski Uniwersytet Medyczny, Zabrze, Polska*⁵ *Klinika Kardiologii, Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Łódź, Polska*⁶ *Klinika Choroby Wieńcowej i Niewydolności Serca, Uniwersytet Jagielloński, Collegium Medicum, Zespół Pracowni Nieinwazyjnej Diagnostyki Układu Krążenia, KSS, Kraków, Polska*⁷ *Samodzielna Pracownia Nieinwazyjnej Diagnostyki Serca dla Dzieci i Dorosłych, Samodzielny Publiczny Szpital Kliniczny nr 1 im. prof. T. Sokołowskiego PUM w Szczecinie, Szczecin, Polska*⁸ *Klinika Kardiologii i Chorób Strukturalnych Serca, Śląski Uniwersytet Medyczny, Wydział Lekarski w Katowicach, Katowice, Polska*⁹ *Pododdział Rehabilitacji Kardiologicznej, Beskidzki Zespół Leczniczo-Rehabilitacyjny, Szpital Opieki Długoterminowej w Jaworzu, Jaworze, Polska*¹⁰ *Klinika Kardiologii, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Katowice, Polska**Adres do korespondencji: Prof. Edyta Płońska-Gościński, ul. Poniatowskiego 33c, 71-111 Szczecin; e-mail: edytoplonska@life.pl*

DOI: 10.15557/JoU.2019.0008

Słowa kluczowebadanie
przezskłatkowe,
echokardiografia
dwuwymiarowa,
morfologia zastawek
serca,
funkcja skurczowa
i rozkurczowa lewej
komory**Keywords**transthoracic
echocardiography,
two-dimensional
echocardiography,
heart valve
morphology,
left ventricular
systolic and diastolic
function**Abstract**

Transthoracic echocardiography is the primary non-invasive modality for anatomical and functional cardiac assessment. All one-, two-dimensional and Doppler modes use the same phenomenon, i.e. the piezoelectric effect, to visualize mobile cardiac structures and blood flow in cardiac cavities. Novel techniques for myocardial imaging, such as tissue Doppler and acoustic marker tracing, allow for the assessment of regional myocardial contractility of the left and the right ventricle. Cardiac assessment is performed in standard views characterized by an optimal acoustic window. The goal of each cardiac echo is to assess cardiac function and morphology using all available imaging modes. The evaluation of acquired valvular heart diseases should include morphological and functional changes indicative of the type (stenosis, regurgitation, complex defect) and the mechanism (Carpentier's classification of mitral regurgitation) of the defect, as well as its stage (mild, moderate, severe). The assessment of left and right ventricular function should involve the measurement of global and regional parameters. An echocardiographic report should also include information on septal continuity and the presence of additional structures or intracardiac masses.

Wstęp

Badanie echokardiograficzne przezklatkowe pozostaje wciąż podstawową, nieinwazyjną metodą oceny anatomicznej i czynnościowej serca⁽¹⁻⁹⁾. Dynamiczny rozwój echokardiografii zbliżył tę metodę w zakresie rozdzielczości przestrzennej do obrazowania za pomocą magnetycznego rezonansu serca, a w obszarze obrazowania trójwymiarowego oraz oceny funkcjonalnej za pomocą markerów akustycznych znacznie przewyższa inne metody obrazowe.

W badaniu echokardiograficznym wykorzystuje się właściwości piezoelektryczne kryształów, których syntetyczne elementy zblokowane w obrębie sondy ultradźwiękowej, pobudzane przez prąd elektryczny w określonych sekwencjach emitują wiązkę ultradźwiękową. Większość emitowanej fali ultradźwiękowej ulega rozproszeniu lub absorpcji i tylko mała część ulega odbiciu, głównie na granicy tkanek o różnej strukturze (np. krew/mięsień), tworząc obraz oparty na sygnale odbitym od ruchomych struktur serca. Najmniejszą echogenicznością, czyli zdolnością odbijania fali ultradźwiękowej, charakteryzuje się krew, największą – powietrze. Odbita fala wywołuje w kryształach odwrotne zjawisko piezoelektryczne, w którego wyniku wibrujący kryształ wytwarza prąd elektryczny. Wielkość impulsu elektrycznego determinuje parametry plamki (markera akustycznego) na ekranie monitora. Pozycja plamki (markera akustycznego) na ekranie jest zdeterminowana różnicą czasu pomiędzy transmisją a powrotem fali ultradźwiękowej. Zakres stosowanych w badaniu serca częstotliwości fali ultradźwiękowej waha się od 2 do 5 MHz. Im wyższa częstotliwość, tym lepsza jest rozdzielczość obrazu, ale mniejsza się penetracja.

Tryby obrazowania

Obrazowanie jednowymiarowe (*M-mode*) opiera się na analizie fali ultradźwiękowej wzdłuż jednej linii, co daje większą czułość rejestracji poruszających się struktur serca niż w prezentacji dwuwymiarowej. Powracająca fala ultradźwiękowa jest obrazowana jako wykres zmian położenia badanych struktur w czasie, co pozwala na dokładną analizę czasu trwania tych zmian, jak również na ocenę określonych wymiarów serca. Linie obrazowania jednowymiarowego ustawia się pod kontrolą obrazu dwuwymiarowego. Prezentację jednowymiarową można kojarzyć z dopplerem kolorowym (*color M-mode*).

W trybie obrazowania dwuwymiarowego (2D), po odpowiednim czasie, w którym odbita od najdalszych części serca fala ultradźwiękowa trafia w postaci impulsu elektrycznego do komputera echokardiografu, następna fala jest wysyłana wzdłuż kolejnej linii obrazowania. W celu uformowania typowego sektora fale są transmitowane wzdłuż kolejnych linii.

Rozwinięciem obrazowania dwuwymiarowego jest obrazowanie trójwymiarowe, które w czasie rzeczywistym tworzy się na podstawie obrazów dwuwymiarowych emitowanych w trzech płaszczyznach za pomocą głowicy matrycowej.

Nowy tryb obrazowania, polegający na śledzeniu zmian położenia plamki (markera akustycznego), opiera się na obrazowaniu dwuwymiarowym. Jednoczasowa analiza położenia plamek (markerów akustycznych) znajdujących się obok siebie pozwala ocenić dokładnie czynność skurczową i rozkurczową mięśnia sercowego na podstawie takich parametrów, jak prędkość miokardialna i odkształcenie miokardium. Prezentacja ta umożliwia również ocenę rotacji mięśnia lewej komory na różnych poziomach (podstawa serca vs koniuszek).

W trybie dopplerowskim fala ultradźwiękowa odbija się od poruszających się krwinek czerwonych (*continuous-wave Doppler*, CW Doppler; *pulsed-wave Doppler*, PW Doppler) lub miokardium (*tissue Doppler imaging*, TDI). Zasada Dopplera służy do oceny kierunku i prędkości poruszającej się krwi czy miokardium na podstawie zmiany częstotliwości fali wysyłanej i odbitej. Zgodnie z konwencją ruch w kierunku do głowicy echokardiograficznej jest prezentowany w postaci widma dopplerowskiego zlokalizowanego ponad linią bazową, a ruch od głowicy – poniżej tej linii.

Głowica używana do prezentacji dopplerowskiej fali ciąglej zawiera dwa kryształy – jeden ciągle wysyła falę ultradźwiękową, a drugi ciągle odbiera falę odbitą. Wysycenie widma dopplerowskiego zależy od liczby krwinek czerwonych poruszających się z tą samą prędkością. Istotnym ograniczeniem tej prezentacji jest niemożność dokładnej lokalizacji miejsca, w którym przepływ osiąga najwyższą prędkość. Doppler fali ciąglej (CW Doppler), rejestrując maksymalną prędkość przepływu, znajduje zastosowanie do oceny ciężkości zwężenia zastawkowego oraz niedomykalności zastawkowej. Obecnie stosuje się go w połączeniu z prezentacją dwuwymiarową.

Potrzeba zlokalizowania miejsca zaburzeń w przepływie krwi doprowadziła do rozwoju trybu obrazowania dopplerowskiego za pomocą fali pulsacyjnej (PW Doppler). W tym trybie pojedynczy kryształ najpierw wysyła, a następnie odbiera falę ultradźwiękową. Połączenie obrazowania falą pulsacyjną z prezentacją dwuwymiarową umożliwia ustawienie bramki dopplerowskiej w rejonie, w którym dochodzi do nieprawidłowości w przepływie krwi. Doppler fali pulsacyjnej służy do oceny czynności rozkurczowej serca, pomiarów efektywnej powierzchni ujścia zastawek, objętości wyrzutowej, wewnątrzsercowych przecieków. Metoda ta znalazła również zastosowanie w ocenie prędkości miokardialnych, zarówno skurczowych, jak i rozkurczowych.

Obrazowanie za pomocą dopplera kolorowego jest połączeniem trybu dwuwymiarowego z dopplerem fali pulsacyjnej, co daje możliwość, w przeciwieństwie do samego dopplera fali pulsacyjnej, oceny przepływu krwi i ruchu miokardium wzdłuż wielu linii obrazowania. Uzyskuje się dzięki temu dwuwymiarowy obraz przepływu. Prędkość i kierunek, w którym poruszają się krwinki czerwone oraz miokardium, są kodowane kolorem. Zgodnie z konwencją ruch od głowicy kodowany jest kolorem czerwonym, a ruch od głowicy – kolorem niebieskim. Im wyższa prędkość, tym jaśniejszy odcień kolorów. Przy przekroczeniu granicznej prędkości dochodzi do odwrócenia kolorów. Przepływ krwi laminarny kodowany jest jednolitym kolorem, natomiast

przepływ burzliwy (turbulentny) kodowany jest w formie mozaiki, co ułatwia odróżnienie patologicznego przepływu od prawidłowego. Doppler kolorowy służy do poszukiwania nieprawidłowych przepływów krwi oraz do jakościowego i ilościowego oszacowania niedomykalności zastawkowych. Doppler kolorowy, po odpowiedniej obróbce sygnału, został zastosowany do utworzenia zaawansowanych prezentacji dopplera tkankowego, służących do oceny przemieszczenia miokardium, synchronii skurczu, odkształcenia i tempa odkształcenia miokardium.

W zależności od położenia głowicy w stosunku do struktur serca badanie echokardiograficzne można podzielić na przekłatkowe i przezprzełykowe; w tym ostatnim przypadku serce obrazowane jest od strony przełyku za pomocą zminiaturyzowanego przetwornika ultradźwiękowego umieszczonego na końcu gastrokopu.

Projekcje echokardiograficzne

Fale ultradźwiękowe ulegają całkowitemu odbiciu od powietrza, w związku z czym możliwe jest badanie serca w tych miejscach, w których nie jest ono oddzielone od klatki piersiowej płucami. Miejsca te, zwane oknami akustycznymi, są identyczne z miejscem stłumienia bezwzględne serca oraz uderzeniem koniuszkowym (odpowiednio: projekcje przymostkowe i koniuszkowe). W przypadku, gdy płuca oddzielają serce od klatki piersiowej, można zastosować projekcję podmostkową. Z kolei część wstępującą, łuk i część zstępującą aorty piersiowej można uwidocznnić w projekcji nadmostkowej.

W projekcjach przymostkowej, podmostkowej i nadmostkowej serce bada się, stosując prezentację dwuwymiarową w osi długiej i krótkiej.

Wyróżnia się cztery projekcje koniuszkowe: czterojamową, dwujamową, w osi długiej (dawną trójjamową) i pięciojamową.

W czasie badania echokardiograficznego serce można obciążać, stosując wysiłek, środki farmakologiczne lub, u pacjentów z wszczepionym stymulatorem, przyspieszenie częstości stymulacji.

U pacjentów z ograniczonym oknem akustycznym w celu uwidocznienia wsierdzia (szczególnie podczas badań z obciążeniem) czy innych szczegółów anatomicznych lub poprawienia sygnału dopplerowskiego można podawać dożylnie kontrast echokardiograficzny, który stanowią pęcherzyki różnych gazów. W zależności od ich wielkości i stabilności, warunkujących przejście przez krążenie płucne, uwidocznia się tylko prawą stronę serca (wstrząśnięta sól fizjologiczna) lub całe serce (kontrasty pierwszej i drugiej generacji).

Cele badania echokardiograficznego serca

Celem badania echokardiograficznego jest ocena anatomiczna i czynnościowa serca.

Ocena anatomiczna dotyczy wszystkich elementów serca: komór, przedsionków, zastawek, dużych naczyń i osierdzia. Oceniając komory, należy zwracać uwagę na ich kształt, wielkość, wzajemne relacje, budowę, grubość ścian i dodatkowe echa w jamach komór. Podobnie, badając przedsionki, analizuje się ich wielkość i kształt oraz sprawdza, czy nie ma dodatkowych ech w ich jamach.

W przypadku zastawek tętnicznych (aortalnej i płucnej) ocenia się: liczbę płatków, ich budowę, występowanie i nasilenie zwądnień, poszerzenie części wstępującej aorty/pnia płucnego, obecność zwężenia podzastawkowego, nadzastawkowego i formę tego zwężenia oraz relacje anatomiczne zastawek i głównych pni tętnicznych. Oceniając zastawki przedsionkowo-komorowe (dwudzielną i trójdzielną), należy zwracać uwagę na wszystkie elementy aparatu zastawkowego, składającego się z: pierścienia zastawki, płatków, strun ścięgniętych, mięśni brodawkowatych i wolnych ścian komór; z których te mięśnie wyrastają. Ocenia się grubość płatków, obecność i rozległość zwądnień (płatków, pierścienia), grubość i długość strun ścięgniętych. W przypadku wypadania płatka/płatków należy poszukiwać zerwanych strun ścięgniętych lub oderwanych głów mięśni brodawkowatych.

Ocena anatomiczna jest podstawą klasyfikacji niedomykalności zastawek na trzy typy: I – poszerzenie pierścienia zastawki lub perforacja płatka, II – wypadanie płatka/płatków, III – ograniczenie ruchomości płatków.

Oceniając zastawki, należy zwrócić uwagę na obecność dodatkowych ech na płatkach (wegetacje bakteryjne, skrzepiny, guzy). Zastosowanie różnych projekcji umożliwia ocenę dużych naczyń: aorty, tętnic płucnych, żył głównych, żył płucnych, zatoki wieńcowej i żył wątrobowych. Ocenia się ich szerokość, obecność dodatkowych ech w ich świetle (skrzepiny, guzy, konduity naczyniowe, cewniki, elektrody); w przypadku aorty piersiowej poszukuje się rozwarstwienia jej ścian, ropni wokół pierścienia zastawki lub protezy, zwężenia jej cieśni.

Badanie echokardiograficzne jest badaniem z wyboru u chorych z podejrzeniem płynu w worku osierdziowym, szczególnie gdy objawy kliniczne mogą sugerować tamponadę.

W skład oceny czynnościowej serca wchodzi analiza czynności skurczowej i rozkurczowej komór oraz analiza czynności zastawek.

Ocena czynności skurczowej lewej komory

Stosując obrazowanie jednowymiarowe, można ocenić grubienie mięśnia sercowego. Opcja dopplera tkankowego oraz technika śledzenia markerów akustycznych pozwalają na dokładną ocenę prędkości skurczu mięśnia sercowego, wielkości i tempa zmian długości (odkształcenia) kurczącego się mięśnia oraz wielkości i tempa jego skrętu. Za pomocą prezentacji dwuwymiarowej lub trójwymiarowej można wyliczyć objętość późnorozkurczową i późnoskurczową oraz ich różnicę, będącą objętością wyrzutową, a także frakcję wyrzutową, która jest stosunkiem objętości wyrzutowej i objętości późnorozkurczowej. Badanie echokardiograficzne jest

jednym z podstawowych badań przy rozpoznawaniu niewydolności serca z upośledzoną funkcją skurczową, na którą wskazuje wartość frakcji wyrzutowej $<40\%$. Standardowo oblicza się frakcję wyrzutową metodą Simpsona, obrysowując zarys wsierdza w prezentacji dwuwymiarowej w projekcjach koniuszkowych czterojamowej i dwujamowej, w skurczu i w rozkurczu. Objętość wyrzutową oblicza się na podstawie dwuwymiarowego obrazu drogi odpływu lewej komory i spektrum wyrzutu z lewej komory zarejestrowanego za pomocą fali pulsacyjnej dopplera spektralnego. Dwuwymiarowy obraz serca uzyskany w podstawowych projekcjach pozwala na ocenę kurczliwości poszczególnych segmentów ścian lewej komory, wraz z określeniem stopnia występujących zaburzeń (hipokineza, akineza, dyskineza).

Ocena czynności rozkurczowej lewej komory

Wczesna fala przepływu przez zastawki przedsionkowo-komorowe (fala E), której prędkość można ocenić za pomocą dopplerowskiej fali pulsacyjnej, koreluje z wczesnorozkurczowym ruchem (fala e') pierścienia zastawki trójdzielnej i dwudzielnej oraz mięśnia obu komór, który ocenia się za pomocą metody dopplera tkankowego lub techniki śledzenia markerów akustycznych. Podobnej oceny można dokonać w późnej fazie rozkurczu obu komór, gdy skurcz przedsionka prawego i lewego dopełnia krwią obie komory i wywołuje pojawienie się odpowiednio fali A przepływu i fali a' prędkości miokardialnej. Podstawowe parametry w badaniu funkcji rozkurczowej lewej komory to stosunek prędkości fal E i A (E/A) oraz prędkość miokardialna e' . Stosując badanie dopplerowskie fali pulsacyjnej, można ocenić dodatkowe parametry: okres rozkurczu izowolumetrycznego, jako czas pomiędzy zamknięciem zastawki aortalnej a otwarciem zastawki mitralnej, oraz czas deceleracji fali E, czyli czas od szczytu tej fali do jej końca. Zastosowanie metody dopplera kolorowego w prezentacji jednowymiarowej (linia obrazowania jednowymiarowego przebiega przez środek fali napływu mitralnego) umożliwia ocenę prędkości propagacji wczesnej fali napływu mitralnego w głąb lewej komory. Stosunek maksymalnej prędkości fali E napływu mitralnego do maksymalnej prędkości fali e' ruchu miokardium pozwala nieinwazyjnie ocenić ciśnienie napełniania lewej komory. Na dysfunkcję rozkurczową lewej komory pod postacią upośledzenia relaksacji wskazuje średnia wartość prędkości $e' <9$ cm/s, a także E/A <1 . Dysfunkcję rozkurczową z podwyższeniem ciśnienia napełniania lewej komory rozpoznaje się, gdy E/ e' wynosi ≥ 13 , na co również wskazuje E/A >2 . Badanie echokardiograficzne jest podstawą przy rozpoznawaniu niewydolności serca bez upośledzenia funkcji skurczowej. Oprócz parametrów dopplerowskich rozkurczu bierze się wtedy także pod uwagę grubość ściany lewej komory oraz wielkość lewego przedsionka.

Analiza funkcji prawej komory i ciśnienia w łóżysku płucnym

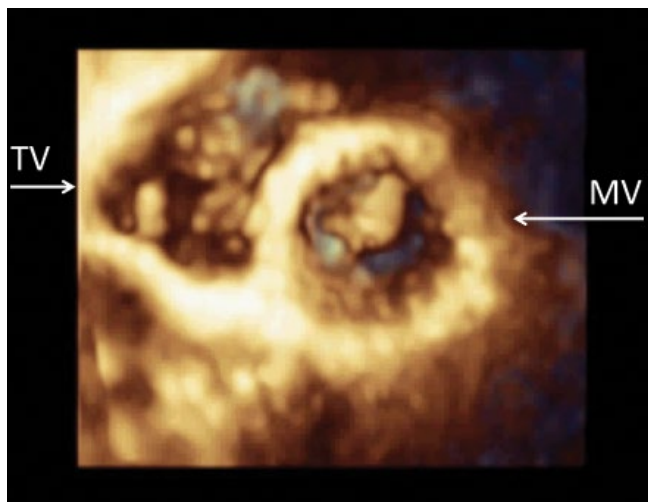
Nadciśnienie płucne wywołuje zmiany w obrazie prawej części serca, takie jak przyspieszenie prędkości fali zwrotnej trójdzielnej, powiększenie prawej komory i prawego przedsionka, poszerzenie pnia płucnego i żyły głównej

dolnej, nieprawidłowy ruch przegrody międzykomorowej oraz nieprawidłowy obraz przepływu przez zastawkę płucną. Rejestrowana za pomocą dopplera ciągłego maksymalna prędkość fali zwrotnej trójdzielnej $>2,8$ m/s odzwierciedla umiarkowane prawdopodobieństwo nadciśnienia płucnego, natomiast $>3,4$ m/s – prawdopodobieństwo wysokie. Najczęściej stosowanym parametrem odzwierciedlającym funkcję skurczową prawej komory jest skurczowe przemieszczenie pierścienia trójdzielnego (*tricuspid annular plane systolic excursion*, TAPSE), rejestrowane za pomocą prezentacji jednowymiarowej z dwuwymiarowego obrazu prawej komory w projekcji czterojamowej koniuszkowej. Na upośledzoną funkcję prawej komory wskazuje TAPSE <17 mm.

Ocena zastawek

Stopień zwężenia zastawek można oceniać różnymi metodami. Najprostszą jest metoda planimetryczna, która ze względu na nieechogeniczność pacjentów lub masywne zwapnienia zastawek nie jest często stosowana. Do oceny pola powierzchni zastawek używany jest doppler fali pulsacyjnej i ciągłej. Pole powierzchni zwężonej zastawki dwudzielnej lub trójdzielnej można ocenić, dzieląc empirycznie wyznaczoną liczbę 220 przez czas, w którym gradient ciśnień przez zastawkę spadnie do połowy (*pressure half time*, PHT). Pole powierzchni zwężonej zastawki aortalnej ocenia się, stosując równanie ciągłości, które oparte jest na założeniu, że objętość krwi dopływającej do zastawki jest taka sama jak objętość krwi przepływającej przez tę zastawkę. Do oceny stopnia zwężenia zastawek można również stosować dodatkowe parametry, takie jak maksymalny i średni gradient ciśnień przez zwężoną zastawkę. Podstawiając zmierzoną za pomocą dopplera fali ciągłej lub pulsacyjnej maksymalną prędkość przepływu (V) do uproszczonego wzoru $4V^2$, można wyliczyć gradient maksymalny (w mm Hg), a obrysowując widmo dopplerowskie przepływu krwi przez zwężoną zastawkę – obliczyć gradient średni, który lepiej niż maksymalny koreluje ze stopniem zwężenia.

Podstawową metodą służącą do oceny niedomykalności zastawek jest doppler kolorowy. Za pomocą tej metody można wykryć falę zwrotną krwi przez nieszczelną zastawkę, określić miejsce nieszczelności oraz wstępnie jakościowo określić wielkość fali zwrotnej – jej szerokość i zasięg; można planimetrycznie ocenić pole powierzchni fali zwrotnej, określić stosunek jej powierzchni do powierzchni jamy serca, do której krew się cofa, i to, jak głęboko sięga fala zwrotna. Do ilościowego oszacowania niedomykalności poleca się ocenę opartą na zjawisku pola konwergencji przepływu przez nieszczelną zastawkę (*proximal isovelocity surface area*, PISA). Zmieniając ustawienia skali kolorów (limit Nyquista), można doprowadzić do uwidocznienia stref proksymalnej konwergencji przepływu (PISA) przez wąskie ujście, co pozwala na pomiar powierzchni tego ujścia. Dwuwymiarowy obraz niedomykalności w opcji kolorowego dopplera wraz z obrazem spektrum fali zwrotnej przez zastawkę w rejestracji dopplerem wiązki ciągłej umożliwia ocenę stopnia niedomykalności zastawki. Standardowo mierzone



Ryc. 1. Trójwymiarowy obraz zastawki mitralnej i trójdzielnej. Widoczna morfologia płatków. W prezentacji trójwymiarowej można ocenić zastawkę trójdzielną w projekcji poprzecznej. TV – zastawka trójdzielna, MV – zastawka mitralna

i obliczane parametry fali niedomykalności to szerokość fali w miejscu ujścia (tzw. talia, *vena contracta*), promień PISA, powierzchnia ujścia niedomykalności (*effective regurgitant orifice*, ERO) oraz objętość fali. Dodatkowe możliwości oceny zastawek stwarza echokardiografia trójwymiarowa, przy której pomocy można dokładnie uwidocznić morfologię płatków i pierścieni (Ryc. 1). Jeśli badanie przezklatkowe nie pozwala na ustalenie rozpoznania, w przypadku podejrzewania wady zastawkowej powinno się wykonać badanie przezprzełykowe.

Echokardiograficzna ocena poszczególnych zastawek serca

Zastawka aortalna

Obraz zastawki aortalnej uzyskiwany jest z wielu projekcji echokardiograficznych. W projekcji przymostkowej w osi długiej ocenia się pierścień aortalny oraz płatki prawy wieńcowy i lewy wieńcowy, a także mierzy średnicę drogi odpływu z lewej komory. W projekcji przymostkowej w osi krótkiej można uwidocznić zastawkę aortalną w przekroju poprzecznym (Ryc. 2) i w czasie skurczu obliczyć pole jej powierzchni, w warunkach prawidłowych wynoszące 2,6–3,6 cm². W projekcji pięciojamowej z zastosowaniem dopplera spektralnego rejestruje się przepływ przez zastawkę aortalną. Prawidłowy wyrzut z lewej komory jest jednofazowy, a jego prędkość na poziomie zastawki aortalnej nie przekracza 1,7 m/s.

Dwupłatkowa zastawka aortalna to najczęstsza wrodzona wada serca, występująca u 1–2% populacji, często prowadząca do dysfunkcji zastawki: niedomykalności i/lub zwężenia.

Prawidłowa zastawka aortalna powinna być szczelna. Najczęstszą przyczyną nie szczelności są zmiany zwyrodnieniowe na płatkach lub ich brzegach. Doppler kolorowy pozwala na dokonanie pomiarów szerokości fali zwrotnej



Ryc. 2. Przekrój poprzeczny zastawki aortalnej w obrazowaniu 2D, projekcja przymostkowa w osi krótkiej naczyniowej. Widoczne zamknięte trzy płatki

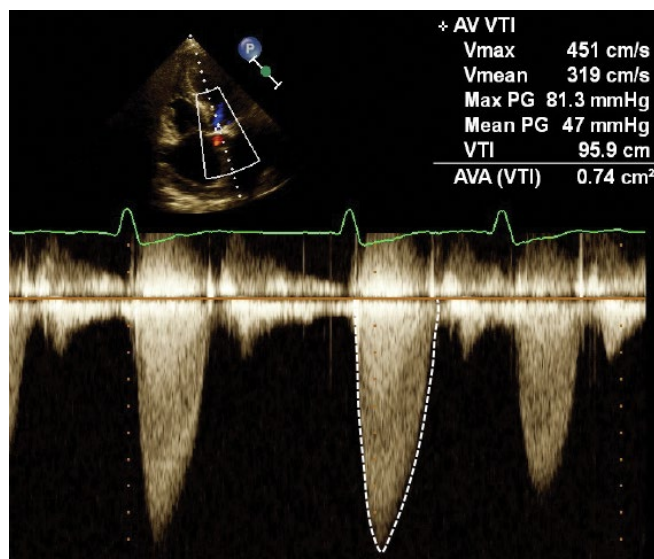
oraz jej talii. Spektrum dopplerowskie wiązki ciągłej niedomykalności aortalnej przypomina trapez. Pomiar PHT umożliwia przybliżoną ocenę istotności fali zwrotnej. Stosując metodę PISA, oblicza się powierzchnię ujścia niedomykalności oraz objętość fali. Stopnie zaawansowania niedomykalności aortalnej przedstawia Tab. 1.

Zwężenie zastawki aortalnej wywołane jest przeważnie zmianami zwyrodnieniowymi pod postacią zwłóknień i zwapnień, czego skutkiem jest ograniczenie ruchomości płatków. Za pomocą dopplera wiązki ciągłej rejestruje się turbulentny, szybki przepływ przez zwężoną zastawkę. Ocenę stopnia zaawansowania stenozы aortalnej umożliwia dokonanie pomiarów maksymalnej prędkości oraz maksymalnego i średniego gradientu, a także obliczenie pola powierzchni zastawki planimetryczne lub przy zastosowaniu równania ciągłości z obrazów dopplera spektralnego w połączeniu z pomiarem szerokości drogi odpływu z lewej komory (Ryc. 3). Stopnie zaawansowania stenozы aortalnej przedstawia Tab. 2.

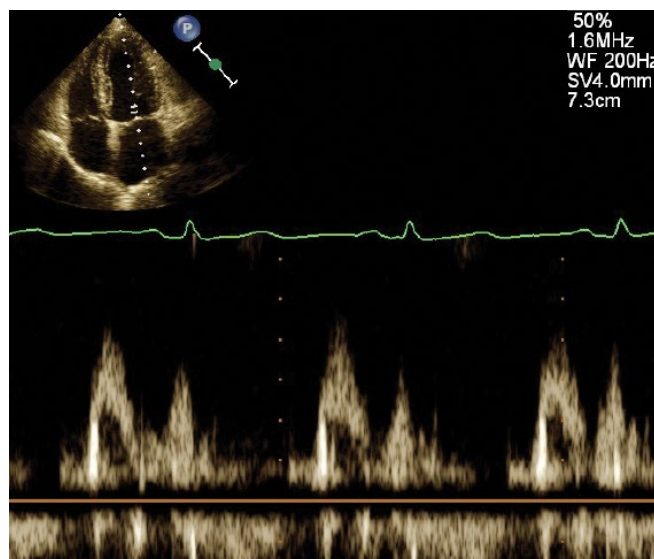
Tab. 1. Najważniejsze echokardiograficzne kryteria rozpoznania ciężkiej niedomykalności zastawki

	AR	MR	TR
Szerokość talii fali (mm)	>6	≥7	≥7
ERO (mm ²)	≥30	≥40	≥40
RVol (ml)	≥60	≥60	≥45
Różne	PHT <200 ms	Promień PISA – duży	Promień PISA >9 mm

AR – niedomykalność zastawki aortalnej; MR – niedomykalność zastawki mitralnej; TR – niedomykalność zastawki trójdzielnej; ERO – efektywne pole ujścia fali zwrotnej; RVol – objętość fali zwrotnej; PHT – czas połowicznego spadku gradientu ciśnienia; PISA – pole strefy konwergencji przepływu



Ryc. 3. Stenoza aortalna. Spektrum przepływu w rejestracji dopplerem wiązki ciągłej. Widoczny pomiar maksymalnej prędkości (V_{max}), maksymalnego gradientu ($max\ PG$), średniego gradientu ($mean\ PG$) oraz obliczenie pola powierzchni (AVA) z równania ciągłości



Ryc. 4. Prawidłowy dwufazowy napływ do lewej komory przez zastawkę mitralną w rejestracji dopplerem wiązki pulsacyjnej z projekcji koniuszkowej czterojamowej

Zastawka mitralna

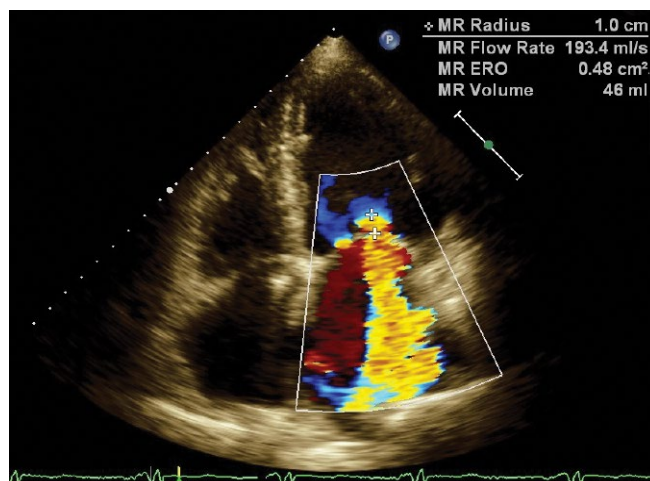
Obraz zastawki mitralnej uzyskuje się z prawie każdej projekcji echokardiograficznej: przymostkowych w osi długiej i krótkiej, koniuszkowych czterojamowej, dwujamowej i pięcioletowej. W każdej z tych projekcji widoczne są inne fragmenty płatków przedniego i tylnego, co pozwala na precyzyjną ocenę miejsca występowania zmian morfologicznych. W projekcji przymostkowej w osi krótkiej zastawkę tę można uwidocznic w przekroju poprzecznym i w czasie rozkurczu obliczyć planimetrycznie jej pole powierzchni, w warunkach prawidłowych wynoszące 4–6 cm². W projekcji koniuszkowej czterojamowej z zastosowaniem dopplera wiązki pulsacyjnej rejestruje się przepływ przez zastawkę mitralną. Prawidłowy napływ do lewej komory jest dwufazowy (Ryc. 4) z wczesną falą E i późną A. Maksymalna prawidłowa prędkość napływu do lewej komory nie powinna przekraczać 1,3 m/s.

Stosunkowo częstą (u 2–3% populacji) zmianą morfologii płatków mitralnych jest ich zwyrodnienie śluzakowate. W ocenie dwuwymiarowej takie płatki mają zwiększoną grubość (ponad 5 mm) i nierównomierną echogeniczność. Wypadaniem płatków nazywa się ich przemieszczenie w czasie skurczu w kierunku lewego przedsionka, prowadzące do utraty koaptacji, tj. stykania się płatków, i nieszczelności zastawki. Przyczyną wypadania mogą być zerwanie lub wydłużenie nici ścięgna, oderwanie mięśnia brodawkowatego.

Prawidłowa zastawka dwudzielna rzadko bywa szczelna. Opisywana jest często tzw. fizjologiczna, mała fala zwrotna. Do patologicznej nieszczelności zastawki mitralnej prowadzić mogą zmiany zwyrodnieniowe pod postacią zwłóknień i zwapnień płatków usztywniających brzegi płatków, skutkujące restrykcją rozkurczową (typ IIIA według Carpentiera), poszerzenie pierścienia mitralnego na skutek jego rozciągnięcia (typ I), wypadanie płatków (typ II), spowodowane zmianami śluzakowatymi lub

Tab. 2. Najważniejsze echokardiograficzne kryteria rozpoznania ciężkiego zwężenia zastawki

	Zwężenie zastawki aortalnej	Zwężenie zastawki mitralnej	Zwężenie zastawki trójdziałelnej
Pole powierzchni ujścia zastawki (cm ²)	<1,0	<1,0	
Zindeksowane pole powierzchni ujścia (cm ² /m ² powierzchni ciała)	<0,6		
Gradient średni (mm Hg)	>40	>10	≥5
Maksymalna prędkość przepływu (m/s)	>4,0		
Gradient maksymalny (mm Hg)	>64		



Ryc. 5. Dwuwymiarowy obraz fali zwrotnej mitralnej w rejestracji dopplerem kolorowym w projekcji koniuszkowej czterojamowej. Zmienione ustawienia skali kolorów (limit Nyquista) i widoczne zjawisko PISA wraz z pomiarem jego promienia (MR Radius) oraz obliczenia: powierzchni ujścia niedomykalności (MR ERO) i objętości fali zwrotnej (MR Volume)

uszkodzeniem aparatu podzastawkowego, oraz restrykcja skurczowa płatków (typ IIIB) w następstwie dysfunkcji lewej komory. Echokardiografia, oprócz oceny morfologicznej zastawki dokonywanej metodą dwuwymiarową, pozwala na zobrazowanie i ocenę stopnia zaawansowania wady przy użyciu badania dopplerowskiego kolorowego i spektralnego, z zastosowaniem metody PISA (Ryc. 5, Tab. 1).

Zwężenie zastawki mitralnej najczęściej spowodowane jest zmianami zwyrodnieniowymi płatków, rzadziej, w krajach rozwiniętych, bywa następstwem gorączki reumatycznej. Na skutek zwłóknień i zwapnień płatki stają się pogrubiałe, komisury ulegają sklejaniu i następuje ograniczenie ruchomości płatków. W zwężeniu ujścia mitralnego napływ do lewej komory staje się turbulentny, a jego prędkość wzrasta. Badanie echokardiograficzne pozwala na ocenę stopnia stenozы mitralnej, czyli ocenę pola powierzchni ujścia mitralnego oraz pomiar średniego gradientu przepływu. Pole powierzchni otwarcia można policzyć planimetrycznie w obrazie dwuwymiarowym, a także ze spektrum przepływu rejestrowanego dopplerem spektralnym wiązki ciągłej przy zastosowaniu pomiaru PHT. Można je również ocenić, wykorzystując zjawisko PISA w dopplerze kolorowym, a także stosując równanie ciągłości. Stopnie zaawansowania stenozы mitralnej przedstawia Tab. 2.

Zastawka trójdzielna

Używa się trzech głównych projekcji w celu uzyskania obrazu zastawki trójdzielnej: projekcji koniuszkowej czterojamowej, projekcji przymostkowej w osi krótkiej oraz zmodyfikowanej projekcji przymostkowej w osi długiej na drogę napływu prawej komory. W każdej z nich obrazuje się dwa różne płatki i na ogół nie ma możliwości

uwidocznienia przekroju poprzecznego. Przepływ przez prawidłową zastawkę trójdzielną, rejestrowany badaniem dopplerowskim wiązki pulsacyjnej z projekcji koniuszkowej czterojamowej, jest dwufazowy, o maksymalnej prędkości 0,7 m/s.

W warunkach prawidłowych zastawka trójdzielna jest przeważnie nieuszczelniona i często opisuje się „fizjologiczną”, małą falę zwrotną. Patologiczna nieuszczelnność zastawki trójdzielnej wywołana jest najczęściej poszerzeniem pierścienia wskutek powiększenia prawej komory, podwyższeniem ciśnienia w prawej komorze, a także zmianami zwyrodnieniowymi płatków, wypadaniem płatków, pourazowym pęknięciem płatka oraz znajdującą się między płatkami elektrodą. Echokardiografia 2D pozwala na uwidocznienie wyżej wymienionych zmian. W badaniu dopplerowskim spektralnym wiązki ciągłej i kolorowym, także z wykorzystaniem zjawiska PISA, obrazuje się i ocenia stopień zaawansowania niedomykalności trójdzielnej (Tab. 1). Maksymalna prędkość fali zwrotnej rejestrowana dopplerem wiązki ciągłej służy też do obliczenia ciśnienia skurczowego w prawej komorze.

Zwężenie zastawki trójdzielnej zdarza się bardzo rzadko. Charakteryzuje się upośledzeniem ruchomości płatków i zwiększeniem prędkości przepływu przez zastawkę w rejestracji dopplerem wiązki ciągłej. Do oceny stopnia stenozы służy głównie pomiar średniego gradientu przepływu (Tab. 2).

Zastawka tętnicy płucnej

Obraz zastawki tętnicy płucnej uzyskuje się jedynie w projekcji w osi krótkiej naczyniowej z przyłożenia przymostkowego i/lub podmostkowego, jednak bez możliwości zobrazowania przekroju poprzecznego ani uwidocznienia wszystkich trzech płatków. W tej samej projekcji rejestruje się badaniem dopplerowskim przepływ przez tę zastawkę, w warunkach fizjologicznych jednofazowy, o prędkości do 0,9 m/s.

Prawidłowa zastawka tętnicy płucnej zwykle nie jest szczelna i obserwuje się niewielką falę zwrotną, zwłaszcza u osób młodych. Nadciśnienie płucne jest częstą przyczyną niedomykalności, rzadko jednak istotnej hemodynamicznie. Spektrum dopplerowskie fali zwrotnej może służyć do oceny ciśnienia rozkurczowego w tętnicy płucnej.

Zwężenie zastawki tętnicy płucnej jest rzadkie i najczęściej towarzyszy złożonym wrodzonym wadom serca, takim jak tetralogia Fallota. Gradient maksymalny 64 mm Hg w badaniu z zastosowaniem dopplera wiązki ciągłej wskazuje na ciężkie zwężenie.

Opis badania

W każdym opisie badania należy umieścić wyniki pomiarów wielkości jam serca: objętości i wymiaru lewej komory (w skurczu i rozkurczu), wymiaru prawej komory (w rozkurczu), pola powierzchni i objętości lewego przedsionka

(w skurczu). Ponadto należy podać wymiar części wstępującej aorty (w rozkurczu), grubości przegrody międzykomorowej i tylnej ściany lewej komory (w rozkurczu i skurczu). Należy zawsze określić globalną czynność skurczową lewej komory za pomocą przynajmniej pomiaru frakcji wyrzutowej metodą dwupłaszczyznową Simpsona, a w przypadku występowania odcinkowych zaburzeń kurczliwości podać ich nasilenie i lokalizację; należy także podać podstawowe parametry oceny funkcji rozkurczowej. W każdym opisie badania powinny się znaleźć wyniki oceny anatomicznej i czynnościowej zastawek serca, z określeniem stopnia zaawansowania wady i wielkości nadciśnienia płucnego. Należy również dokładnie opisać dodatkowe struktury wewnątrzsercowe i zewnątrzsercowe.

Piśmiennictwo

1. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afilalo J, Armstrong A, Ernande L *et al.*: Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: An update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2015; 16: 233–270.
2. Mor-Avi V, Lang RM, Badano LP, Belohlavek M, Cardim NM, Derumeaux G *et al.*: Current and evolving echocardiographic techniques for the quantitative evaluation of cardiac mechanics: ASE/EAE consensus statement on methodology and indications endorsed by the Japanese Society of Echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2011; 12: 167–205.
3. Vahanian A, Alfiery O, Andreotti F, Antunes MJ, Barón-Esquivias G, Baumgartner H *et al.*: Guidelines on the management of valvular heart disease (version 2012). The Joint Task Force on the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur Heart J* 2012; 33: 2451–2496.
4. Baumgartner H, Falk V, Bax JJ, De Bonis M, Hamm C, Holm PJ *et al.*: The Task Force for the Management of Valvular Heart Disease of the ESC and the EACTS. 2017 SC/EACTS Guidelines for the Management of Valvular Heart Disease. *Eur Heart J* 2017; 38: 2739–2786.
5. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afilalo J, Armstrong A, Ernande L *et al.*: Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: An update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 2015; 28: 1–39.
6. Oh JK, Seward JB, Tajik AJ: Podręcznik echokardiografii. Wydawnictwo Medipage, Warszawa 2008.
7. Galiè N, Humbert M, Vachiery JL, Gibbs S, Lang I, Torbicki A *et al.*: ESC Scientific Document Group: 2015 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension: The Joint Task Force for the Diagnosis and Treatment of Pulmonary Hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Respiratory Society (ERS): Endorsed by: Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC), International Society for Heart and Lung Transplantation (ISHLT). *Eur Heart J* 2016; 37: 67–119.
8. Ponikowski P, Voors AA, Anker SD, Bueno H, Cleland JGF, Coats AJS *et al.*: 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: The Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC) developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur Heart J* 2016; 37: 2129–2200.
9. Armstrong WF, Ryan T: Feigenbaum's Echocardiography. Lippincott Williams & Wilkins 2010.

Czas trwania badania

Standardowe badanie echokardiograficzne trwa około 30 minut; poszerzenie oceny o nowe techniki wydłuża czas badania do ponad 60 minut.

Konflikt interesów

Autorzy nie zgłaszają żadnych finansowych ani osobistych powiązań z innymi osobami lub organizacjami, które mogłyby negatywnie wpłynąć na treść niniejszej publikacji oraz rościć sobie do niej prawo.