

# Rekomendacje 2011 Sekcji Echokardiografii Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego dotyczące zastosowania echokardiografii obciążeniowej w praktyce klinicznej

Recommendations of the Echocardiography Working Group of the  
Polish Cardiac Society for stress echocardiography use in clinical practice 2011

Edyta Płońska-Gościński<sup>1</sup>, Andrzej Gackowski<sup>2</sup>, Zbigniew Gąsior<sup>3</sup>, Tomasz Kukulski<sup>3</sup>, Andrzej Szyszka<sup>4</sup>,  
Wojciech Braksator<sup>5</sup>, Aldona Siwińska<sup>4</sup>, Piotr Lipiec<sup>6</sup>, Wojciech Król<sup>5</sup>, Jarosław D. Kasprzak<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Pomorski Uniwersytet Medyczny, Szczecin; <sup>2</sup>Uniwersytet Jagielloński, Kraków; <sup>3</sup>Śląski Uniwersytet Medyczny, Katowice;  
<sup>4</sup>Uniwersytet Medyczny, Poznań; <sup>5</sup>Warszawski Uniwersytet Medyczny, Warszawa; <sup>6</sup>Uniwersytet Medyczny, Łódź

## WSTĘP

Echokardiografia obciążeniowa (STRES ECHO) jest stosowana w diagnostyce choroby wieńcowej i wad zastawkowych serca. Polega na wykorzystaniu różnego typu testów czynnościowych pobudzających kurczliwość i/lub wywołujących niedokrwienie serca z jednoczesną echokardiograficzną oceną kurczliwości i rezerwy kurczliwości lewej komory (LV) i/lub oceną doplerowską przepływów zastawkowych.

W wyniku zaburzenia równowagi między zaopatrzeniem w tlen a zapotrzebowaniem tlenowym miokardium dochodzi do zaburzeń kurczliwości LV. Poprzedzają one wystąpienie obniżenia odcinka ST elektrokardiogramu oraz wystąpienie dolegliwości bólowych i stanowią bardziej czuły i swoisty marker niedokrwienia niż zmiany ST w elektrokardiograficznym teście wysiłkowym.

## WSKAZANIA I PRZECIWWSKAZANIA DO BADANIA STRES ECHO ORAZ OBJAWY UBOCZNE I. Cel diagnostyczny

1. Diagnostyka przyczyn bólów w klatce piersiowej — u osób bez ustalonego rozpoznania choroby wieńcowej. Uzasadnieniem dla wykonania STRES ECHO jest:
  - a. niediagnostyczny wynik elektrokardiograficznej próby wysiłkowej z powodu nieosiągnięcia docelowej częstotliwości rytmu serca w czasie testu, obecności bloku lewej odnogi pęczka Hisa, rytmu stymulacyj-

nego, trudności w ocenie EKG z powodu obecności spoczynkowych zaburzeń repolaryzacji;

- b. brak możliwości wykonania testu wysiłkowego przy schorzeniach układu ruchu lub miażdżycy tętnic kończyn dolnych (zaleca się wtedy farmakologiczny test STRES ECHO).

W diagnostyce niedokrwienia mięśnia sercowego test echokardiograficzny wysiłkowy, test z wysoką dawką dobutaminy i podaniem atropiny oraz test z dipirydamolem wykazują podobną czułość, specyficzność i dokładność. Wybór testu zależy więc od obecnych ograniczeń i przeciwwskazań do wykonania rodzaju testu oraz od preferencji i doświadczenia ośrodka. Amerykańskie wytyczne wskazują na priorytet testu wysiłkowego u chorych zdolnych do wykonania wysiłku. W przypadku braku możliwości wykonania testu wysiłkowego wykonuje się test farmakologiczny lub u osób z wszczepionym rozrusznikiem serca test stymulacyjny.

2. Ocena żywotności mięśnia u osób po zawale serca, z umiarkowaną lub ciężką dysfunkcją LV, gdy rozważa się zabieg rewaskularyzacyjny. Zaleca się test STRES ECHO z zastosowaniem dobutaminy. W razie przeciwwskazań do jego wykonania możliwe jest zastosowanie innych testów farmakologicznych w małej dawce, np. z dipirydamolem, lub testu wysiłkowego przy małym obciążeniu.
3. Diagnostyka lokalizacji niedokrwienia i czynnościowego znaczenia zmiany zwężającej stwierdzonej w koronaro-

### Adres do korespondencji:

prof. dr hab. n. med. Edyta Płońska-Gościński, Klinika Kardiologii, Pomorski Uniwersytet Medyczny, ul. Powstańców Wlkp. 72, 70–111 Szczecin,  
e-mail: edytoplonska@life.pl

Copyright © Polskie Towarzystwo Kardiologiczne

grafii u chorych kwalifikowanych do zabiegów rewaskularyzacyjnych.

4. Ocena chorych po zabiegach rewaskularyzacyjnych: w przypadku występowania objawów sugerujących niedokrwienie oraz u osób po zabiegu niekompletnej rewaskularyzacji z zamiarem wykonania drugiego etapu rewaskularyzacji.
5. Ocena rezerwy przepływu wieńcowego: stosuje się rejestrację przepływu w gałęzi przedniej zstępującej lewej tętnicy wieńcowej za pomocą doplera fali pulsacyjnej w czasie testu z dipirydamolem.
6. Diagnostyka niedokrwienia u osób bezobjawowych z wysokim wskaźnikiem Agatstonu uwapienia tętnic wieńcowych (> 400 j.).
7. Czynnościowa ocena stenoz zastawkowych: w przypadku braku korelacji stopnia zwężenia zastawki z symptomatologią, np. umiarkowane zwężenie mitralne przy znacznie nasilonych objawach lub ciasna bezobjawowa stenoz mitralna (test wysiłkowy). W przypadku ciasnej stenoz aortalnej z niskim gradientem i zmniejszoną frakcją wyrzutową lewej komory (LVEF) zaleca się wykonanie badania z zastosowaniem małej dawki dobutaminy (do 20 µg/kg/min).
8. Czynnościowa ocena niedomykalności zastawki mitralnej w przypadku braku korelacji stopnia niedomykalności zastawki z symptomatologią (test wysiłkowy).
9. Czynnościowa ocena ciśnienia w tętnicy płucnej: test wysiłkowy wykonuje się z oceną gradientu skurczowego między prawą komorą i prawym przedsionkiem.

## II. Ocena rokownicza

1. Prognozowanie i stratyfikacja ryzyka u osób z ustalonym rozpoznaniem choroby wieńcowej (w tym z przebyłym zawałem serca). Uzasadnione jest wykonanie STRES ECHO u osób po ostrym zespole wieńcowym (w ciągu 3 miesięcy), hemodynamicznie stabilnych, bez objawów dławicowych, jeżeli w ostrym okresie nie wykonano koronarografii.
2. Ocena ryzyka przed zabiegami operacyjnymi pozasercowymi: u chorych przed zabiegiem dużego ryzyka (np. naczyniowym), bez dolegliwości kardiologicznych, z obecnym co najmniej 1 czynnikiem ryzyka (patrz rekomendacje ESC) i istotnie zmniejszoną zdolnością do wykonania wysiłku (< 4 METs).
3. Ocena rezerwy skurczowej LV u osób z upośledzeniem jej kurczliwości: preferowany test dobutaminowy.  
U chorych diagnozowanych w kierunku choroby wieńcowej zaleca się, jeżeli jest to możliwe, wstrzymać przed testem podawanie leków wieńcowych (w tym leków beta-adrenolitycznych).

Niezależnie od rodzaju zastosowanego obciążenia, przed kwalifikacją do badania obowiązuje zebranie dokładnego wywiadu chorobowego z uwzględnieniem przeciwwskazań

do wykonania danego testu. Dla wszystkich typów testów obciążeniowych przeciwwskazaniem jest niestabilna dławica piersiowa, ciężka zdekompensowana niewydolność serca, niekontrolowane, wysokie ciśnienie tętnicze, groźne komorowe zaburzenia rytmu, zapalenie wsierdzia, mięśnia sercowego lub osierdzia oraz brak zgody chorego. Takie same jak w przypadku wysiłkowego testu elektrokardiograficznego są przeciwwskazania dla wysiłkowego STRES ECHO, a więc tachyarytmie nadkomorowe i komorowe, niekontrolowane nadciśnienie tętnicze, kardiomiopatia przerostowa z dużym gradientem śródkomorowym — dla badania z dobutaminą, natomiast astma oskrzelowa, bradyarytmie, zaburzenia przewodzenia przedsionkowo-komorowego — dla testu z dipirydamolem.

Działania niepożądane — łagodne lub wymagające przerwania próby przed osiągnięciem submaksymalnego przyspieszenia rytmu serca, dotyczą odpowiednio do 10% i 0,3% testów z dobutaminą oraz do 5% i 0,1% testów z dipirydamolem. Do najczęstszych objawów towarzyszących próbie z dobutaminą należą: lęk i drżenie ciała, duszność, ból głowy, zaczerwienienie skóry, nudności, kołatania serca, parestezje, nadmierny wzrost lub spadek ciśnienia tętniczego. W czasie testu z dipirydamolem lub adenozyzną może dojść do nadmiernego obniżenia ciśnienia tętniczego, bloku przedsionkowo-komorowego. STRES ECHO z zastosowaniem stymulacji pochodzącej z wszczepionego stymulatora jest zazwyczaj dobrze tolerowany. Rzadko stosowany test ze stymulacją przezprzełykową wiąże się z uczuciem dyskomfortu w klatce piersiowej; objawem ubocznym może być wystąpienie bloku przedsionkowo-komorowego.

Do najpoważniejszych powikłań mogących wystąpić przy każdym z typów testów STRES ECHO należą: zgon, zatrzymanie krążenia w mechanizmie migotania komór lub asystolii, zawał serca, wstrząs, obrzęk płuc, tachyarytmie komorowe i nadkomorowe. Ryzyko zgonu jest największe przy użyciu dobutaminy i wynosi 1/5000 badań, mniejsze przy dipirydamolu — 1/10 000 badań. Najbezpieczniejszy jest test wysiłkowy i ze stymulacją.

Ze względu na możliwość wystąpienia powikłań przed wykonaniem testów farmakologicznych pacjent powinien powstrzymać się od przyjmowania posiłków przez co najmniej 4 h. Przed każdym badaniem pacjent powinien podpisać świadomą zgodę na wykonanie badania.

## KWALIFIKACJE PERSONELU WYKONUJĄCEGO BADANIE STRES ECHO I WYPOSAŻENIE PRACOWNI

Duże znaczenie ma doświadczenie lekarza wykonującego i interpretującego badanie. Po podstawowym szkoleniu echokardiograficznym powinien on wykonać ponad 100 badań obciążeniowych pod nadzorem eksperta. W Polsce można uzyskać akredytację SE PTK. Badanie powinno być wykonywane przez 2 osoby: lekarza z doświadczeniem w wykony-

waniu badań STRES ECHO oraz wyszkolonej pielęgniarki lub drugiego lekarza.

Pomieszczenie pracowni echokardiograficznej, w której wykonuje się próby obciążeniowe, powinno być odpowiednio duże, a leżanka umieszczona w taki sposób, aby istniała możliwość łatwego dostępu do głowy i kończyn pacjenta. W pracowni powinien się znajdować sprawny defibrylator i zestaw reanimacyjny z kompletem leków, zestawem do intubacji i workiem AMBU. W wypadku testów stymulacyjnych konieczne jest odpowiednie wyposażenie w stymulator przeprzętkowy lub programator do stymulatora wszczepionego na stałe. W czasie trwania testu konieczne jest monitorowanie co najmniej 1-kanalowego, a optymalnie 12-odprowadzeniowego EKG.

### PROTOKOŁY BADANIA STRES ECHO

**Wysiłek fizyczny** jest preferowaną, fizjologiczną metodą obciążenia serca w testach czynnościowych. Test można przeprowadzić za pomocą bieżni ruchomej, zwykłego cykloergometru rowerowego lub cykloergometru leżącego (preferowany ze względu na możliwość ciągłej rejestracji obrazów). Test stosuje się w wykrywaniu niedokrwienia oraz ocenie hemodynamicznej zastawek serca.

W przypadku bieżni ruchomej najczęściej stosuje się protokół Bruce'a. W przypadku cykloergometru w najczęściej

używanych protokołach obciążeniowych opór początkowy wynosi 25 W i wzrasta co 2–3 min o kolejne 25 W przy stałym rytmie pedałowania (przeważnie 60 obrotów/min) aż do osiągnięcia kryteriów zakończenia testu (tab. 1). U młodych osób test można rozpocząć od obciążenia 50 W.

**Dobutamina** jest syntetyczną aminą katecholową zwiększającą kurczliwość LV, zmniejszającą jej obciążenie następcze, a w większych dawkach powodującą przyspieszenie rytmu serca. Test dobutaminowy stosuje się do oceny niedokrwienia, żywotności i rezerwy kurczliwości miokardium oraz do czynnościowej oceny zwężenia zastawki aortalnej, natomiast nie może być używany do oceny hemodynamicznej zastawki mitralnej. U większości pacjentów podczas podawania wysokich dawek dobutaminy obserwuje się umiarkowany wzrost ciśnienia tętniczego, jednak u niektórych chorych może dojść do jego obniżenia. Dobutaminę podaje się we wlewie dożylnym z pompy infuzyjnej we wzrastającej co 3 min dawce — kolejno: 5, 10, 20, 30, 40  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ . Jeśli nie występuje wyraźne przyspieszenie rytmu serca, począwszy od dawki 30  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ , podaje się atropinę, maksymalnie w 4 dawkach po 0,25 mg, co 1 min, aż do uzyskania docelowej, submaksymalnej częstości rytmu. Po ok. 3–5 min wlew dobutaminy zatrzymuje się. W ciągu 5–10 kolejnych minut praca serca stopniowo powraca do stanu wyjściowego. Pacjentom, u których wystąpiły cechy niedokrwienia lub

**Tabela 1.** Kryteria przerywania testów obciążeniowych

	Wysiłkowy Dobutaminowy Stymulacji Dipirydamolowy Adenozynowy			
	1	2	3	4
<b>Osiągnięty cel obciążenia</b>				
Osiągnięcie 85% maksymalnej częstotliwości rytmu serca jako cel obciążenia	•	•	•	
Rozległe lub ciężkie zaburzenia kurczliwości	•	•	•	•
Wystąpienie silnego bólu dławicowego	•	•	•	•
Uniesienie ST w standardowym EKG > 1 mm	•	•	•	•
Osiągnięcie maksymalnych przewidzianych w protokole dawek leków		•		•
Osiągnięcie maksymalnej częstotliwości dla danego stymulatora			•	
<b>Konieczność przedwczesnego przerywania testu</b>				
Częstoskurcz nadkomorowy, migotanie przedsionków	•	•	•	•
Częstoskurcz komorowy, liczne pobudzenia przedwczesne komorowe	•	•	•	•
Bradykardia zatokowa lub zaburzenia przewodzenia przedsionkowo-komorowego	•	•	•	•
Wzrost ciśnienia tętniczego > 220/120 mm Hg	•	•	•	•
Obniżenie się skurczowego ciśnienia tętniczego < 90 mm Hg lub o > 30 mm Hg w stosunku do wyjściowego	•	•	•	•
Brak skutecznej stymulacji lub silny ból przełyku podczas badania			•*	
Życzenie pacjenta	•	•	•	•

\*Dotyczy stymulacji przezprętkowej

inne poważne objawy uboczne, podaje się dożylnie metoprolol w dawce 2,5–5 mg, co szybko blokuje działanie dobutaminy. Podobnie jak inne testy farmakologiczne badanie można wykonać u pacjentów niezdolnych do wysiłku. Dobutamina może prowokować arytmie komorowe, które nie stanowią dowodu na niedokrwienie.

**Szybka stymulacja serca** może być przeprowadzona za pomocą wszczepionego na stałe stymulatora serca, rzadko za pomocą elektrody przezprzełykowej. Test jest dokładny i bezpieczny. Protokół stymulacji trwa kilka minut. Możliwy jest natychmiastowy powrót do wyjściowej częstotliwości rytmu serca. Stymulacja powoduje wzrost częstotliwości rytmu serca, zwykle ciśnienie tętnicze nie ulega zmianie. Test może być trudniejszy w interpretacji w przypadku stymulacji komorowej oraz w sytuacji gdy przed osiągnięciem założonej częstości rytmu wystąpi punkt Wenckebacha. Stymulację rozpoczyna się od częstotliwości 100–110 impulsów na minutę i następnie zwiększa się ją o 10 impulsów na minutę co 3 min, aż do osiągnięcia częstotliwości submaksymalnej dla wieku lub maksymalnej dla danego typu stymulatora. Innym wariantem jest protokół przyspieszony, który składa się z dwóch etapów: 3 min stymulacji 100 impulsów na minutę oraz 3 lub 5 min z częstotliwością submaksymalną dla wieku. W przypadku wystąpienia bloku przedsionkowo-komorowego II stopnia w czasie stymulacji przedsionkowej można zastosować atropinę (dawka łączna do 2 mg) do momentu uzyskania przewodzenia 1:1.

**Wazodylatory.** Adenozyna jest endogennym nukleozidem purynowym. Stymulacja receptorów adenozynowych  $A_{2a}$  na komórkach mięśni gładkich, w tym tętniczek w obrębie krążenia wieńcowego, prowadzi do zwiększenia przepływu wieńcowego 4–5-krotnie w stosunku do wartości spoczynkowych. W przypadku obecności zwężenia tętnicy wieńcowej dochodzi do efektu „podkradania”. Okres półtrwania adenozyny wynosi około 10 s. Dipirydamol hamuje metabolizm i zwiększa stężenie endogennej adenozyny, co powoduje efekty podobne jak dożylne podanie adenozyny. Przed badaniem obciążeniowym z zastosowaniem dipirydamolu lub adenozyny zaleca się niespożywanie przez 12 h produktów spożywczych zawierających kofeinę oraz nieprzyjmowanie przez 24 h leków będących pochodnymi teofiliny.

Test dipirydamolowy polega na dożylnym podaniu sumarycznej dawki 0,84 mg/kg w ciągu 10 min w dwóch częściach: 0,56 mg/kg w ciągu 4 min, a następnie po 4 min przerwy — w przypadku braku cech niedokrwienia — 0,28 mg/kg w ciągu kolejnych 2 min. Jeśli w dalszym ciągu nie występują objawy niedokrwienia, a częstość skurczów serca nie osiągnęła wartości submaksymalnej dla wieku, podaje się dożylnie atropinę (w dawkach 0,25 mg do sumarycznej dawki 1 mg). Po zakończeniu testu, w celu odwrócenia działania dipirydamolu, podaje się 240 mg aminofiliny dożylnie niezależnie od wyniku badania. Możliwe jest skrócenie tego pro-

tokolu i podanie całej dawki dipirydamolu (0,84 mg/kg) w ciągu 6, a nawet 4 min.

Test z adenozyną wymaga podawania tego leku we wlewie dożylnym w dawce maksymalnej 140  $\mu$ g/kg/min przez 6 min.

Testy z wazodylatorami pozwalają również na pomiar rezerwy wieńcowej. Najłatwiejsza technicznie jest ocena rezerwy wieńcowej gałęzi przedniej zstępującej lewej tętnicy wieńcowej, w związku z czym postuluje się, by stanowiła ona standardowy element badania w ośrodkach dysponujących odpowiednim doświadczeniem. Ocena taka wymaga rejestracji przepływu w dystalnej części naczynia w spoczynku i po podaniu całej dawki leku. Wartość rezerwy wieńcowej poniżej 2 uznaje się za potwierdzenie istotności czynnościowej zwężenia w tętnicy wieńcowej.

### ZASADY OCENY ECHOKARDIOGRAFICZNEJ W CHOROBIE NIEDOKRWIENNEJ

Niezależnie od rodzaju obciążenia, przed testem i po każdym jego etapie oraz po odpoczynku dokonuje się rejestracji pętli filmowych przedstawiających obrazy serca w co najmniej 4 podstawowych projekcjach: przymostkowych w osi długiej i w osi krótkiej oraz koniuszkowych 4-jamowej i 2-jamowej. Jednocześnie rejestruje się częstotliwość rytmu serca i ciśnienie tętnicze. W ocenie zastawek rejestruje się parametry doplerowskie. Porównywanie kurczliwości na kolejnych etapach badania ułatwia zastosowanie oprogramowania do badań obciążeniowych dostępnego w większości współczesnych echokardiografów. Umożliwia ono podział ekranu na kilka części (najczęściej cztery — *quad screen format*) i wyświetlenie zsynchronizowanych z zespołem QRS ruchomych obrazów danej projekcji, zapisanych cyfrowo podczas kolejnych etapów obciążenia. Bardzo ważne jest zarejestrowanie prawidłowych przekrojów serca, identycznych podczas całego badania. Analiza kurczliwości odcinkowej odbywa się na podstawie podziału LV na 17 segmentów. Pozwala to na odniesienie stwierdzanych zaburzeń kurczliwości do obszaru unaczynienia poszczególnych głównych gałęzi tętnic wieńcowych. Każdemu segmentowi przypisuje się ocenę punktacji od 1 do 4 (1 — normokineza, 2 — hipokineza, 3 — akineza, 4 — dyskineza), co umożliwi obliczenie na każdym etapie testu wskaźnika kurczliwości lewej komory (WMSI = suma punktów widocznych segmentów/liczba widocznych segmentów).

### WYKRYWANIE NIEDOKRWIENIA

Wynik dodatni, przemawiający za obecnością niedokrwienia mięśnia sercowego podczas testu obciążeniowego, stwierdza się, gdy podczas obciążenia występuje pogorszenie kurczliwości przynajmniej 2 segmentów o przynajmniej 1 punkt w powyższej skali. Nie dotyczy to wystąpienia dyskinezy segmentu, który jest akinetyczny w spoczynku, gdyż może to wynikać z biernego „wypychania” tego segmentu spowodowanego hiperkinezą pozostałych części komory. W ocenie

kurczliwości należy brać pod uwagę przede wszystkim grubienie skurczowe poszczególnych segmentów. Sam ruch wsierdzia w kierunku wnętrza LV może być wynikiem biernego pociągania danego segmentu przez segmenty przyległe. Stwierdzenie zaburzeń kurczliwości poszczególnych grup segmentów umożliwia wnioskowanie o lokalizacji zwężeń w tętnicach wieńcowych. Za znacznym nasileniem niedokrwienia przemawiają: duża liczba segmentów wykazujących pogorszenie kurczliwości, wystąpienie zaburzeń kurczliwości w obszarach unaczynionych przez więcej niż 1 tętnicę wieńcową (choroba wielonaczyniowa), znaczne pogorszenie kurczliwości (np. przejście normokinezy w akinezę lub dyskinezę), krótki czas, jaki minął od początku badania do wystąpienia niedokrwienia, długi czas ustępowania zaburzeń kurczliwości w fazie odpoczynku, poszerzenie LV podczas obciążenia.

Wynik ujemny, wykluczający istotne niedokrwienie miokardium, stwierdza się, jeśli zostanie osiągnięte kryterium zakończenia danego testu, wszystkie segmenty LV są widoczne przynajmniej w jednej z projekcji oraz nie dochodzi do pogorszenia kurczliwości w stosunku do stanu wyjściowego. Wynik niediagnostyczny stwierdza się w pozostałych sytuacjach (np. brak stwierdzanych zaburzeń kurczliwości przy przedwczesnym przerwaniu badania itp.).

## OCENA ŻYWOTNOŚCI MIOKARDIUM

Odróżnienie martwicy od odwracalnych zaburzeń kurczliwości jest podstawą decyzji o rewaskularyzacji u pacjentów z rozpoznaną chorobą wieńcową i obecnymi zaburzeniami kurczliwości LV. Pacjenci z istotną niedokrwinną dysfunkcją skurczową LV i odwracalnymi zaburzeniami kurczliwości (w zakresie nie mniej niż 4 segmentów LV), cechują się mniejszą śmiertelnością okołoperacyjną, większą poprawą regionalnej i ogólnej funkcji skurczowej po leczeniu inwazyjnym, mniejszą liczbą objawów niewydolności serca i mniejszą śmiertelnością niż pacjenci z nieodwracalnymi zaburzeniami kurczliwości. Do oceny żywotności stosuje się wlew dobutaminy *i.v.* w małych dawkach: 5  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$  i 10  $\mu\text{g}/\text{min}/\text{kg}/\text{min}$ , podawanej w 3-minutowych etapach. Poprawa kurczliwości danego segmentu podczas wlewu dobutaminy oznacza jego żywotność. Jeżeli nie występują poważne objawy uboczne, zaleca się tzw. badanie dwufazowe, tzn. kontynuację wlewu dobutaminy wg protokołu standardowego w dawkach do 40  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$  (patrz wyżej) w celu uzyskania odpowiedniego obciążenia i oceny pojawiających się pod wpływem niedokrwienia zaburzeń kurczliwości w badanym obszarze. Dwufazowa odpowiedź, na którą składa się początkowa poprawa kurczliwości (przy niższych dawkach dobutaminy), a następnie jej upośledzenie (przy wyższych dawkach), jest swoista dla zachowanej żywotności przy rezydualnym zwężeniu tętnicy wieńcowej unaczyniającej dany segment i uważa się ją za najdokładniejszy wskaźnik rokujący poprawę kurczliwości LV po rewaskularyzacji.

## ECHOKARDIOGRAFIA OBCIĄŻENIOWA W OCENIE ZWĘŻENIA ZASTAWKI AORTALNEJ

W zwężeniu zastawki aortalnej (AS) wykonuje się test z dobutaminą lub test wysiłkowy. Mają one zastosowanie u chorych z uszkodzoną LV i małym gradientem przez zastawkowym (tzw. *low flow/low gradient AS*), u chorych ze znacznym zwężeniem zastawki bez objawów lub z wątpliwymi objawami klinicznymi.

### 1. Chorzy ze zwężeniem zastawki aortalnej z uszkodzoną lewą komorą i małym gradientem przez zastawkowym

Obecność ciężkiego uszkodzenia LV u chorych z AS powoduje zniżenie objętości wyrzutowej (SV) oraz gradientu przez zastawkowego i wiąże się z dużą śmiertelnością okołoperacyjną. Test z dobutaminą poprzez zwiększenie SV pozwala wyodrębnić z tej grupy osoby z zachowaną rezerwą kurczliwości, czyli mniejszym ryzykiem operacyjnym (5–10% v. > 20–30%). Można także zróżnicować zaawansowanie wady. Do badania kwalifikuje się pacjentów z LVEF < 40%, powierzchnią ujścia aorty (AVA) < 1  $\text{cm}^2$  i średnim gradientem przez zastawkowym ( $P_{\text{mean}}$ ) < 30–40 mm Hg w spoczynku.

Stosuje się dobutaminę (dawki 5, 10 ew. 20  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$  zwiększane co 3 min do osiągnięcia częstotliwości rytmu serca o 10–20/min wyższej od spoczynkowej lub powyżej 100/min).

Z punktu widzenia rezerwy kurczliwości test jest dodatni, gdy nastąpi poprawa LVEF lub SV, lub WMSI o ponad 20%. Test obejmuje ocenę  $P_{\text{mean}}$  i AVA w spoczynku i na szczycie obciążenia. Przy zachowanej rezerwie kurczliwości wzrost AVA powyżej 1,0  $\text{cm}^2$  i brak istotnego zwiększenia  $P_{\text{mean}}$  wskazują, że zwężenie zastawki nie jest ciężkie. Natomiast wzrost  $P_{\text{mean}}$  > 40 mm Hg i utrzymywanie się AVA < 1,0  $\text{cm}^2$  potwierdzają ciężką AS.

### 2. Chorzy z ciężką stenozą aortalną bez objawów lub z wątpliwymi objawami klinicznymi

Do badania kwalifikuje się pacjentów bezobjawowych lub z wątpliwymi objawami, z AVA < 1  $\text{cm}^2$  (AVAI < 0,6  $\text{cm}^2/\text{m}^2$ ) i  $P_{\text{mean}}$  > 40 mm Hg w spoczynku.

Stresorem jest wysiłek lub dobutamina, a w badaniu stosuje się typowe pełne protokoły opisane powyżej. Z punktu widzenia oceny klinicznej test jest dodatni, gdy pojawiają się objawy wady, tj. duszność, zasłabnięcie, zawroty głowy, bóle zamostkowe, hipotonia objawowa (> 20 mm Hg) lub zaburzenia rytmu. Bardzo znaczny wzrost gradientu przemawia także za istotnością hemodynamiczną wady.

## ZWĘŻENIE ZASTAWKI MITRALNEJ

Badanie STRES ECHO wysiłkowe ułatwia kwalifikację chorych ze zwężeniem zastawki dwudzielnej (MS) do leczenia operacyjnego, gdy występuje rozbieżność między objawami a wynikami oceny zastawki. Badanie rozważa się u pa-

cientów bezobjawowych z echokardiograficznymi cechami ciężkiej MS i u chorych objawowych z umiarkowaną lub graniczną MS.

U chorego bezobjawowego z efektywną powierzchnią ujścia mitralnego (MVA) < 1,5 cm<sup>2</sup> w spoczynku i ze zmianami anatomicznymi aparatu mitralnego umożliwiającymi wykonanie przezskórnej plastyki balonowej (np. skala Wilkinsa < 8 pkt) wystąpienie objawów słabej tolerancji wysiłkowej, napadu migotania przedsionków, wzrostu skurczowego ciśnienia w prawej komorze > 60 mm Hg w trakcie echokardiograficznej próby wysiłkowej może wskazywać na celowość wykonania tego zabiegu.

Z kolei u chorych objawowych, ale bez cech istotnej stenozы mitralnej w badaniu spoczynkowym (MVA > 1,5 cm<sup>2</sup>) wysiłek może wywołać zmiany wybranych parametrów echokardiograficznych. Zmiany wartości tych parametrów do poziomu uznanego za istotny (P<sub>mean</sub> > 15 mm Hg i ciśnienie skurczowe w prawej komorze > 60 mm Hg) pozwalają zakwalifikować chorego ze zmianami anatomicznymi aparatu mitralnego umożliwiającymi wykonanie przezskórnej plastyki balonowej do tego zabiegu. Natomiast brak tych zmian skłania do poszukiwania innych niż MS przyczyn pogorszenia stanu chorego.

## NIEDOMYKALNOŚĆ MITRALNA

Wśród wad zastawkowych serca niedomykalność mitralna (MR) jest wadą o największej komponentce dynamicznej. Głównym celem testu obciążeniowego u chorych z MR jest obiektywna ocena tolerancji wysiłku, ocena rezerwy kurczliwej LV oraz wielkość dynamicznej komponenty MR.

### 1. Niedokrwienna niedomykalność mitralna

Główną przyczyną niedokrwienną MR jest restrykcja płatków mitralnych (typ IIIb wg Carpentiera) będąca następstwem regionalnej przebudowy aparatu podzastawkowego i globalnej przebudowy LV w przebiegu jej pozawałowego uszko-

dzenia. O ile do oceny rezerwy kurczliwości LV można zastosować test dobutaminowy, to najwłaściwszym sposobem oceny dynamicznej komponenty MR jest test wysiłkowy. Przeprowadza się go wg typowego protokołu. Zestaw parametrów ilościowych, które powinny być zarejestrowane w spoczynku i na szczycie wysiłku, przedstawiono w tabeli 2. Znanne są dwa typy odpowiedzi na wysiłek fizyczny: 1) u chorych z ograniczoną rezerwą kurczliwą należy się spodziewać spadku SV, wzrostu efektywnego pola niedomykalności (ERO) i nasilenia duszności podczas wysiłku, 2) u chorych z zachowaną rezerwą kurczliwą wysiłek zwiększy SV, a ERO nie ulegnie zmianie lub nawet się zmniejszy.

Badania wysiłkowe należy rozważyć u chorych:

- z dusznością wysiłkową nieproporcjonalną do stopnia dysfunkcji LV oraz stopnia MR;
- z epizodami ostrego obrzęku płuc o niejasnej etiologii;
- ze średnią niedomykalnością mitralną przed chirurgiczną rewaskularyzacją;
- w celu określenia indywidualnego ryzyka zgonu i/lub wystąpienia epizodu dekompensacji niewydolności serca.

### 2. Organiczna niedomykalność mitralna

Głównym mechanizmem organicznej MR są zmiany zwyrodnieniowe i/lub pozapalne w obrębie płatków i strun ścięgniętych prowadzące w efekcie do wypadania segmentu płotka lub całego płotka (typ II wg Carpentiera). Funkcja skurczowa LV w tej grupie chorych pozostaje przez długi czas prawidłowa, nawet u tych z ciężką MR, dlatego rokowanie tych osób jest dużo lepsze niż chorych z niedokrwienną MR. Obciążenie wysiłkiem bezobjawowych pacjentów z ciężką MR może pomóc w rozpoznaniu utajonej dysfunkcji LV i wskazać osoby wymagające wcześniejszego leczenia operacyjnego, aby zapobiec pooperacyjnej dysfunkcji komory. Brak przyrostu EF, SV i globalnego odkształcenia (*strain*) po wysiłku świadczy o rozpoczynającej się dysfunkcji komory pomimo braku objawów.

**Tabela 2.** Podsumowanie zaleceń dotyczących zastosowania testów obciążeniowych u chorych z MR

	Organiczna MR	Niedokrwienna MR
Cel obciążenia	1. Ocena ukrytej dysfunkcji LV u chorych <i>bezobjawowych</i> z ciężką MR 2. Ocena zaawansowania wady u chorych <i>objawowych</i> z małą lub średnią MR w spoczynku	1. Ocena rezerwy kurczliwej LV 2. Ocena dynamicznej komponenty niedomykalności — ΔERO
Parametry ilościowe w spoczynku i na szczycie wysiłku	EF, EDV, ESV, SV, odkształcenie globalne LV, RVSP	EF, EDV, ESV, ERO, RVSP, E/A, DT
Klinicznie istotna informacja przed kwalifikacją do leczenia chirurgicznego	Zwiększenie nadciśnienia płucnego po wysiłku > 60 mm Hg wskazuje na konieczność wcześniejszego leczenia chirurgicznego	Wzrost ERO > 13 mm <sup>2</sup> po wysiłku wskazuje na konieczność rozszerzenia zabiegu CABG o anuloplastykę mitralną w grupie chorych ze średnią MR (ERO < 0,2 cm <sup>2</sup> )

MR — niedomykalność mitralna; LV — lewa komora; RVSP — ciśnienie skurczowe w prawej komorze; ERO — efektywne pole niedomykalności; CABG — pomostowanie aortalno-wieńcowe; EF — frakcja wyrzutowa; EDV — objętość końcoworozkurczowa; ESV — objętość końcowoskurczowa; SV — objętość wyrzutowa; DT — czas deceleracji

## ZASTOSOWANIE KONTRASTU I ZAAWANSOWANYCH TECHNIK OCENY

### *Echokardiografia kontrastowa*

Środki kontrastowe znajdujące zastosowanie w echokardiografii obciążeniowej to zawiesiny mikropęcherzyków gazu, które po podaniu dożylnym mogą przeniknąć przez krążenie płucne i silnie zakontrastować lewe jamy serca. Można je podawać w formie bolusów lub w postaci ciągłego dożylnego wlewu o stałej prędkości. Konieczne jest stosowanie trybu harmonicznego obrazowania lub lepiej dedykowanych, specjalistycznych technik obrazowania, dostępnych w większości aparatów wysokiej i średniej klasy.

Podstawowym wskazaniem do zastosowania kontrastów w echokardiografii obciążeniowej jest poprawa wizualizacji zarysu wsierdza u pacjentów ze złą jakością obrazu (co najmniej 2 sąsiadujących segmentów). Pozwala to na istotną poprawę powtarzalności i dokładności diagnostycznej wyników badania i powinno stanowić opcję rutynowo stosowaną przy suboptymalnej jakości obrazu. Podejmowane są też próby użycia środków kontrastowych w celu oceny perfuzji mięśnia sercowego w spoczynku i w trakcie obciążenia — uzyskane wzmocnienie kontrastowe można oceniać zarówno jakościowo, jak i ilościowo. Perfuzyjna echokardiografia kontrastowa stanowi jednak nadal metodę badawczą. Stosowane obecnie środki kontrastowe są uważane za bezpieczne, a ich działania niepożądane za rzadkie i niegroźne. Niemniej jednak wprowadzono pewne ograniczenia stosowania środków kontrastowych u pacjentów niestabilnych klinicznie, w tym po świeżo przeżytym ostrym zespole wieńcowym.

### *Echokardiografia trójwymiarowa*

Sondy matrycowe stosowane w echokardiografii trójwymiarowej pozwalają na rejestrację w czasie rzeczywistym przestrzennego zbioru danych obejmującego całą LV. Prezentacja może się odbywać w postaci równoległych lub współosiowych dwuwymiarowych przekrojów, np. w postaci serii projekcji w osi krótkiej lub trzech projekcji koniuszkowych,

w których jest możliwa analiza regionalnej funkcji skurczowej. Jednoczasowa rejestracja kilku projekcji pozwala na istotne skrócenie czasu akwizycji danych, zarówno w trakcie spoczynku, jak i obciążenia.

### *Ilościowa analiza regionalnej funkcji skurczowej*

Ocenę ilościową regionalnej funkcji mięśnia sercowego można przeprowadzać na podstawie techniki dopлера tkankowego lub techniki śledzenia markerów akustycznych w standardowych obrazach w skali szarości. W przypadku pierwszej z tych technik prawidłowa analiza ruchu może być wykonywana jedynie w osi wiązki ultradźwięków. Analizowane parametry to przede wszystkim prędkości ruchu mięśnia oraz odkształcenie (*strain*) i tempo odkształcenia (*strain rate*). Dwa ostatnie są niezależne od funkcji sąsiadujących segmentów. Analiza ilościowa umożliwia obiektywizację rutynowej wzrokowej oceny regionalnej funkcji skurczowej mięśnia sercowego oraz wykrywanie zjawisk niemożliwych od oceny wizualnej, takich jak skracanie (grubienie) poskurczowe, mogące wskazywać na obecność niedokrwienia. Może to w przyszłości pozwolić na zautomatyzowanie oceny zmian funkcji mięśnia sercowego, ale obecnie pozostaje wciąż metodą badawczą.

**Konflikt interesów:** nie zgłoszono

### *Piśmiennictwo*

- Becher H, Chambers J, Fox K et al. BSE procedure guidelines for the clinical application of stress echocardiography, recommendations for performance and interpretation of stress echocardiography: a report of the British Society of Echocardiography Policy Committee. *Heart*, 2004; 90 (suppl. 6): vi23–vi30.
- Pellikka PA, Nagueh SF, Elhendy AA, Kuehl CA, Sawada SG. American Society of Echocardiography recommendations for performance, interpretation, and application of stress echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*, 2007; 20: 1021–1041.
- Sicari R, Nihoyannopoulos P, Evangelista A et al. Stress echocardiography expert consensus statement: European Association of Echocardiography (EAE) (a registered branch of the ESC). *Eur J Echocardiogr*, 2008; 9: 415–437.