

Otrzymano: 15.08.2018
 Zaakceptowano: 30.01.2019
 Opublikowano: 29.03.2019

Echokardiografia obciążeniowa. Część I: Echokardiografia obciążeniowa w ocenie choroby wieńcowej

Stress echocardiography. Part I: Stress echocardiography in coronary heart disease

Edyta Płońska-Gościniak¹, Andrzej Gackowski², Tomasz Kukulski³,
 Jarosław D. Kasprzak⁴, Andrzej Szyszka⁵, Wojciech Braksator⁶,
 Zbigniew Gąsior⁷, Barbara Lichodziejewska⁸, Piotr Pysz^{9,10}

¹ *Klinika Kardiologii, Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie, Szczecin, Polska*

² *Klinika Choroby Wieńcowej i Niewydolności Serca, Uniwersytet Jagielloński, Collegium Medicum, Zespół Pracowni Nieinwazyjnej Diagnostyki Układu Krążenia, KSS, Kraków, Polska*

³ *Klinika Kardiologii, Wad Wrodzonych Serca i Elektroterapii, Śląskie Centrum Chorób Serca, Śląski Uniwersytet Medyczny, Zabrze, Polska*

⁴ *Klinika Kardiologii, Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Łódź, Polska*

⁵ *Klinika Kardiologii, Uniwersytet Medyczny w Poznaniu, Poznań, Polska*

⁶ *Zakład Kardiologii Sportowej i Nieinwazyjnej Diagnostyki Kardiologicznej, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Warszawa, Polska*

⁷ *Klinika Kardiologii, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Katowice, Polska*

⁸ *Klinika Kardiologii, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Warszawa, Polska*

⁹ *Klinika Kardiologii i Chorób Strukturalnych Serca, Śląski Uniwersytet Medyczny, Wydział Lekarski w Katowicach, Katowice, Polska*

¹⁰ *Pododdział Rehabilitacji Kardiologicznej, Beskidzki Zespół Leczniczo-Rehabilitacyjny, Szpital Opieki Długoterminowej w Jaworzu, Jaworze, Polska*

Adres do korespondencji: Prof. Edyta Płońska-Gościniak, ul. Poniatowskiego 33c, 71-111 Szczecin; e-mail: edytoplonska@life.pl

DOI: 10.15557/JoU.2019.0006

Słowa kluczowe

echokardiografia obciążeniowa, niedokrwienie, żywotność, dobutamina, dipirydamol

Keywords

stress echocardiography, ischemia, viability, dobutamine, dipyridamole

Abstract

Stress echocardiography (stress echo) is a method in which various stimuli are used to elicit myocardial contractility or provoke cardiac ischemia with simultaneous echocardiographic image acquisition of left ventricular function and valvular flow, if needed. The technique is a well-recognized, safe and widely available stress test used for the diagnosis and assessment of prognosis in coronary heart disease, but may also prove valuable in valvular heart disease. The stressors used include physical exercise, pharmacological agents (dobutamine, vasodilators) and pacing stress, most often with the use of a permanent pacemaker. Two operators should perform the test: a physician experienced in stress echocardiography (at least 100 tests completed under supervision of an expert) and a trained nurse or another doctor. The laboratory should feature a defibrillator and a resuscitation kit with a set of pharmaceuticals, an intubation kit and an AMBU bag. Pacing stress echo requires an external programmer for the implanted permanent pacemaker. Exercise should be the preferred stressor for the diagnosis of ischemic heart disease with alternative of high-dose dobutamine test in cases of contraindications to physical stress. Pacing stress echo is recommended for patients with pacemakers, and dipyridamole test for the assessment of coronary flow reserve. Chest pain in patients with intermediate probability of coronary artery disease, inability to perform physical exercise and non-diagnostic resting or exercise electrocardiography are indications

for stress echo. The test is also used in symptomatic patients after revascularization or patients qualified for revascularization for functional assessment of coronary artery stenosis. Low-dose dobutamine test is usually performed in patients after myocardial infarction or with moderate-to-severe left ventricular dysfunction to assess myocardial viability before potential revascularization.

Wstęp

Echokardiografia obciążeniowa (*stress echocardiography/stress echo*, SE; stres echo) to metoda, w której wykorzystuje się różnego rodzaju bodźce w celu pobudzenia kurczliwości mięśnia sercowego lub sprowokowania niedokrwienia serca przy jednoczesowej rejestracji obrazów echokardiograficznych funkcji lewej komory, a w miarę potrzeb także przepływów zastawkowych⁽¹⁻⁷⁾. Stres echo wykorzystywane jest w diagnostyce choroby wieńcowej i wad zastawkowych serca. Wśród stosowanych stresorów wymienić należy wysiłek fizyczny, środki farmakologiczne (dobutamina, wazodylatatory) i szybką stymulację serca, najczęściej z użyciem wszczepionego na stałe stymulatora serca.

Metodyka

Kwalifikacje personelu wykonującego badanie stres echo i wyposażenie pracowni

Badanie powinno być przeprowadzane przez dwie osoby: lekarza z doświadczeniem w wykonywaniu badań SE (co najmniej 100 badań pod nadzorem eksperta) oraz wyszkoloną pielęgniarkę lub drugiego lekarza. Pracownia powinna być wyposażona w defibrylator i zestaw reanimacyjny z kompletem leków, zestawem do intubacji i workiem AMBU. Wykonanie testu stymulacyjnego wymaga wyposażenia w programator zewnętrzny do wszczepionego na stałe stymulatora.

Protokoły badania stres echo

Testy wysiłkowe

Test wysiłkowy można przeprowadzić na bieżni ruchomej lub na cykloergometrze rowerowym w pozycji siedzącej lub półleżącej na lewym boku badanego. Na bieżni stosuje się z reguły protokół Bruce'a, a na cykloergometrze – wzrastające obciążenia o 25 W co 3 minuty aż do osiągnięcia kryteriów zakończenia testu (osiągnięcie 85% maksymalnej częstotliwości rytmu serca, wystąpienie zaburzeń kurczliwości, silnego bólu dławicowego, uniesienia ST w EKG oraz osiągnięcie maksymalnego obciążenia stresorem).

Testy farmakologiczne stres echo

Testy z dobutaminą

Dobutamina jest syntetyczną aminą katecholową zwiększającą kurczliwość lewej komory, zmniejszającą jej obciążenie

następcze, a w większych dawkach powodującą przyspieszenie rytmu serca. Dobutaminę podaje się we wlewie dożylnym z pompy infuzyjnej we wzrastającej co 3 minuty 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 minutę, aż do uzyskania docelowej, submaksymalnej częstości rytmu. Przy wystąpieniu dużego niedokrwienia mięśnia sercowego z objawami ubocznymi należy podać dożylnie metoprolol w dawce 2,5–5 mg.

Testy z wazodylatorami

Adenozyna jest endogennym nukleozydem purynowym. Stymulacja receptorów adenozynowych prowadzi w warunkach prawidłowych do zwiększenia 4–5-krotnie przepływu wieńcowego. W przypadku obecności zwężenia w tętnicy wieńcowej dochodzi do efektu „podkradania”. **Dipirydamol** hamuje metabolizm i zwiększa stężenie endogennej adenozyny, co powoduje efekty podobne jak dożylne podanie adenozyny. Na 12 godzin przed badaniem nie należy spożywać kofeiny, a przez 24 godziny – pochodnych teofiliny.

Test dipirydamolowy polega na dożylnym podaniu sumarycznej dawki 0,84 mg/kg w ciągu 6 minut (ew. w dawkach podzielonych – 0,56 mg/kg w ciągu 3 minut i po 4-minutowej przerwie dawki 0,28 mg/kg przez kolejne 3 minuty). Po zakończeniu testu w celu odwrócenia działania dipirydamolu podaje się 240 mg aminofiliny dożylnie niezależnie od wyniku badania. Test z adenozyną wymaga podawania tego leku we wlewie dożylnym w dawce maksymalnej 140 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ przez 6 minut.

Testy z wazodylatorami pozwalają również na pomiar rezerwy wieńcowej w gałęzi przedniej zstępującej lewej tętnicy wieńcowej.

Testy ze stymulacją za pomocą stymulatora serca

Test stymulacyjny można wykonać za pomocą wszczepionego na stałe stymulatora. Stymulator serca ustawia się za pomocą zewnętrznego programatora na częstotliwość 100–110 imp./min i następnie zwiększa się ją o 10 imp./min co 3 minuty, aż do osiągnięcia 85% maksymalnej odpowiedniej dla danego wieku częstotliwości rytmu serca lub do osiągnięcia częstotliwości docelowej 150 imp./min albo maksymalnej dla danego typu stymulatora. Protokół przyspieszony składa się z dwóch etapów: 3 minut stymulacji 100 imp./min oraz 3 lub 5 minut 85% maksymalnej odpowiedniej dla danego wieku częstotliwości rytmu serca. W przypadku wystąpienia bloku AV II lub III stopnia, szczególnie w czasie stymulacji przedsiolkowej, można zastosować atropinę (dawka łączna do 2 mg) do momentu uzyskania przewodnictwa 1:1. Dokładność

testu w ocenie choroby wieńcowej jest bardzo dobra, porównywalna z innymi próbami stres echo. Badanie jest nieinwazyjne, w każdej chwili można je przerwać, jest bezpieczne i dobrze tolerowane przez chorego. Test powinien być rozważany u każdego pacjenta ze stymulatorem serca.

Zastosowanie kontrastu w badaniu stres echo

Środki kontrastowe znajdujące zastosowanie w echokardiografii obciążeniowej to zawiesiny mikropęcherzyków gazu w specjalnej otoczce, które po podaniu dożylnym zdolne są do przejścia przez krążenie płucne i silnego zakontrastowania jam serca lewego. Podawane mogą być w formie bolusów lub w postaci ciągłego dożylnego wlewu o stałej prędkości. Konieczne jest stosowanie trybu harmonicznego obrazowania. Podstawowe wskazanie do wykorzystania kontrastów w echokardiografii obciążeniowej stanowi poprawa wizualizacji zarysu wsierdza u pacjentów ze złą jakością obrazu echokardiograficznego. Podejmowane są też próby użycia środków kontrastowych dla oceny perfuzji mięśnia sercowego w spoczynku i w trakcie obciążenia, ale w Polsce głównie w celach badawczych. Środki kontrastowe są bezpieczne, jednak pewne ograniczenia dotyczą pacjentów niestabilnych klinicznie (w tym ostry zespół wieńcowy).

Echokardiografia trójwymiarowa

Główlice matrycowe stosowane w echokardiografii trójwymiarowej umożliwiają rejestrację w czasie rzeczywistym przestrzennego zbioru danych obejmującego całą lewą komorę. Jednoczasowa rejestracja kilku projekcji pozwala na istotne skrócenie czasu akwizycji danych, w trakcie zarówno spoczynku, jak i obciążenia.

Analiza ilościowa regionalnej funkcji skurczowej

Ocena ilościowa regionalnej funkcji mięśnia sercowego przeprowadzana może być z wykorzystaniem technik dopлера tkankowego lub techniki śledzenia markerów akustycznych. Analizowane są prędkość ruchu mięśnia oraz odkształcenie (*strain*) i tempo odkształcenia (*strain rate*). Analiza ilościowa umożliwia obiektywizację oceny regionalnej funkcji skurczowej mięśnia sercowego, ale wciąż nie jest to metoda ujęta w standardach stres echo.

Zastosowanie testów stres echo w chorobie wieńcowej

Testy stres echo są wykonywane w celach diagnostycznych i/lub dla oceny rokowniczej.

Diagnostyka niedokrwienia mięśnia sercowego

Najczęstszym wskazaniem do wykonania echokardiograficznego testu obciążeniowego jest niediagnostyczny

wysiłkowy test EKG lub brak możliwości jego wykonania (nieosiągnięcie docelowej częstości rytmu serca w czasie testu, blok lewej odnogi pęczka Hisa, rytm stymulacyjny, spoczynkowe zaburzenia repolaryzacji, schorzenia układu ruchu, miażdżycza tętnic kończyn dolnych). Testy wysiłkowe i farmakologiczne wykazują podobną czułość, specyficzność i dokładność w diagnostyce niedokrwienia. Wybór rodzaju stresora zależy od obecnych ograniczeń i przeciwwskazań oraz od preferencji i doświadczenia ośrodka. Wytyczne wskazują na priorytet echokardiograficznego badania obciążeniowego nad elektrokardiograficznym oraz przewagę testu wysiłkowego u chorych zdolnych do wykonania wysiłku. U pozostałych wykonuje się test farmakologiczny lub stymulacyjny. Zaleca się przed testem, o ile nie ma przeciwwskazań, wstrzymanie podawania leków wieńcowych (w tym leków beta-adrenolitycznych). Na każdym etapie obciążenia dokonuje się rejestracji w co najmniej czterech podstawowych projekcjach: przymostkowych w osi długiej i w osi krótkiej oraz koniuszkowych czterojamowej, dwujamowej i w osi długiej. Jednocześnie rejestruje się częstotliwość rytmu serca i ciśnienie tętnicze. W jednoczesnej ocenie zastawek rejestruje się parametry dopplerowskie. Dla analizy porównawczej ważne jest zarejestrowanie prawidłowych i identycznych w czasie całego badania przekrojów serca.

Analiza kurczliwości odcinkowej odbywa się na podstawie podziału lewej komory na 17 lub 16 segmentów. Każdemu segmentowi przypisuje się ocenę punktową od 1 do 4 (1 – normokineza, 2 – hipokineza, 3 – akineza, 4 – dyskineza), co umożliwi obliczenie na każdym etapie testu wskaźnika kurczliwości lewej komory (*wall motion score index*, WMSI – suma punktów widocznych segmentów / liczba widocznych segmentów). Wynik dodatni, wskazujący na niedokrwienie, to pogorszenie kurczliwości w co najmniej dwóch segmentach. 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 ruch dośrodkowy i przede wszystkim grubienie skurczowe poszczególnych segmentów. Za znacznym nasileniem niedokrwienia przemawiają: duża liczba segmentów wykazujących pogorszenie kurczliwości, wystąpienie zaburzeń kurczliwości w obszarach unaczynionych przez więcej niż jedną tętnicę wieńcową (choroba wielonaczyniowa), znaczne pogorszenie kurczliwości (np. przejście normokinezy w akinezę lub dyskinezę), krótki czas pomiędzy początkiem badania a wystąpieniem niedokrwienia, długi czas ustępowania zaburzeń kurczliwości w fazie odpoczynku oraz poszerzenie lewej komory podczas obciążenia. Brak prowokacji zaburzeń kurczliwości przy wykorzystaniu pełnego protokołu wskazuje na wynik ujemny. Wynik niediagnostyczny to brak nowych zaburzeń kurczliwości przy przedwczesnym przerwaniu testu z powodu wystąpienia groźnych zaburzeń rytmu serca, nadmiernego wzrostu ciśnienia tętniczego powyżej 220/120 mm Hg, obniżenia poniżej 90 mm Hg ciśnienia tętniczego (lub o 30 mm Hg poniżej wyjściowej wartości) oraz na życzenie pacjenta.

Ocena żywotności miokardium

Pacjenci z istotną niedokrwinną dysfunkcją skurczową lewej komory i odwracalnymi zaburzeniami kurczliwości (w zakresie nie mniej niż czterech segmentów lewej komory) cechują się mniejszą śmiertelnością okołoperacyjną, większą poprawą regionalnej i ogólnej funkcji skurczowej po leczeniu inwazyjnym, mniejszą liczbą objawów niewydolności serca i mniejszą śmiertelnością niż ci z nieodwracalnymi zaburzeniami kurczliwości. Do oceny żywotności stosuje się dożylny wlew dobutaminy w małych dawkach (najczęściej 5 i 10 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$, 20 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$, ew. 2,5, 5, 7,5, 15, 20 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$), podawanych w 3-minutowych (lub 5-minutowych) etapach. Poprawa kurczliwości danego segmentu podczas wlewu dobutaminy oznacza jego żywotność. Zaleca się kontynuację wlewu dobutaminy według protokołu standardowego w dawkach do 40 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$. Odpowiedź dwufazowa, na którą składają się początkowa poprawa kurczliwości (przy niższych dawkach dobutaminy), a następnie jej upóźlenie (przy wyższych dawkach), jest swoista dla zachowanej żywotności segmentu miokardium zaopatrywanego przez zwężoną tętnicę wieńcową i uważana jest za najdokładniejszy wskaźnik rokujący poprawę kurczliwości lewej komory po rewaskularyzacji.

Rola testu stres echo w diagnostyce choroby wieńcowej

W diagnostyce niedokrwienia mięśnia sercowego zaleca się test stres echo wysiłkowy, w razie przeciwwskazań test dobutaminowy dużej dawki, u osób z rozrusznikiem serca test stymulacyjny oraz test z dipirydamolem w celu oceny rezerwy wieńcowej. Wskazaniem do stres echo jest ustalenie przyczyny bólów w klatce piersiowej u osób z pośrednim prawdopodobieństwem choroby wieńcowej, u niezdolnych do wykonania wysiłku fizycznego i osób z niediagnostycznym EKG spoczynkowym lub wysiłkowym. Test służy również do oceny chorych objawowych po rewaskularyzacji lub chorych kwalifikowanych do rewaskularyzacji w celu

oceny funkcjonalnej zwężenia tętnicy wieńcowej. U osób po zawale serca, z umiarkowaną lub ciężką dysfunkcją lewej komory wykonuje się najczęściej test dobutaminowy małej dawki w celu oceny żywotności miokardium przed rozważanym zabiegiem rewaskularyzacyjnym.

Możliwe powikłania stres echo

Do najpoważniejszych, ale bardzo rzadkich, powikłań badania stres echo należą: zgon, zatrzymanie krążenia w mechanizmie migotania komór lub asystolii, zawał serca, wstrząs, obrzęk płuc, nieco częściej tachyarytmie komorowe i nadkomorowe, zwłaszcza w teście z dobutaminą. Do objawów mogących towarzyszyć próbie z dobutaminą należą: lęk, drżenie ciała, duszność, ból głowy, kołatania, nudności, uczucie gorąca na twarzy, parestezje, nadmierny wzrost lub spadek ciśnienia tętniczego. W czasie testu z dipirydamolem lub adenozyną może dojść do nadmiernego obniżenia ciśnienia tętniczego lub bloku przedsionkowo-komorowego. Najlepiej tolerowanym testem jest test stymulatorowy. Najbezpieczniejsze testy stres echo to testy stymulatorowy i wysiłkowy.

Przeciwwskazania do testu stres echo

Przeciwwskazaniem do wykonania badania stres echo są m.in. niestabilna choroba wieńcowa, zdekompensovana niewydolność serca, niekontrolowane wysokie nadciśnienie tętnicze, groźne komorowe zaburzenia rytmu, zapalenie wsierdza, mięśnia sercowego i osierdza, brak zgody chorego na badanie.

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.

Piśmiennictwo

- Pellikka PA, Nagueh SE, Elhendy AA, Kuehl CA, Sawada SG; American Society of Echocardiography: American Society of Echocardiography recommendations for performance, interpretation, and application of stress echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2007; 20: 1021–1041.
- Becher H, Chambers J, Fox K, Jones R, Leech GJ, Masani N *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.
- Sicari R, Nihoyannopoulos P, Ewangelista A, Kasprzak J, Lancellotti P, Poldermans D *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.
- Płońska-Gościniak E, Gackowski A, Gąsior Z: Rekomendacje 2011 Sekcji Echokardiografii Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego dotyczące zastosowania echokardiografii obciążeniowej w praktyce klinicznej. *Kardiologia Polska* 2011; 69: 642–648.
- Płońska-Gościniak E, Gościniak P: Echokardiografia obciążeniowa. In: Lipiec P, Hoffman P (eds.): *Echokardiografia kliniczna. Podręcznik Sekcji Echokardiografii Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego*. Medica Total Project, Warszawa 2017, p. 40–49.
- Lipiec P, Bąk J, Braksator W, Fijałkowski M, Gackowski A, Gąsior Z *et al.*: Echokardiograficzne badanie przekłatkowe u dorosłych – wytyczne Sekcji Echokardiografii PTK. *Kardiologia Polska* 2018; 76: 488–493.
- Płońska-Gościniak E, Kasprzak JD, Olędzki S, Rzucidło-Resil J, Gościniak P, Kukulski T *et al.*: Polish Stress Echocardiography Registry (Pol-STRESS registry) – a multicenter study. Stress echocardiography in Poland: numbers, settings, results, and complications. *Kardiologia Polska* 2017; 75: 922–930.