

Supplementary material – Polish version

Płońska-Gościniak E, Kukulski T, Hryniewiecki T, et al. Clinical application of stress echocardiography in valvular heart disease: expert consensus of the Working Group on Valvular Heart Disease of the Polish Cardiac Society. Kardiol Pol. 2020; 78: 632-641. doi:10.33963/KP.15360

Please note that the journal is not responsible for the scientific accuracy or functionality of any supplementary material submitted by the authors. Any queries (except missing content) should be directed to the corresponding author of the article.

**Opinia Ekspertów Sekcji Wad Zastawkowych Serca Polskiego Towarzystwa
Kardiologicznego w sprawie klinicznego zastosowania echokardiografii obciążeniowej w
wadach zastawkowych serca**

Autorzy: Edyta Płońska-Gościniak¹, Tomasz Kukulski², Tomasz Hryniewiecki³, Jarosław D. Kasprzak⁴, Wojciech Kosmala⁵, Maria Olszowska⁶, Katarzyna Mizia-Stec⁷, Piotr Pysz^{8,9}, Beata Zaborska¹⁰, Patrycjusz Stokłosa³, Zbigniew Gąsior¹¹

Recenzenci Sekcji: Andrzej Gackowski¹², Piotr Lipiec¹³, Andrzej Szyszka¹⁴, Lidia Tomkiewicz-Pająk⁶, Monika Komar⁶, Ewa Orłowska-Baranowska³

Recenzenci Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego: Bożena Sobkowicz¹⁵, Krzysztof Gołba¹⁶

¹ Klinika Kardiologii, Pomorski Uniwersytet Medyczny, Szczecin, ² Klinika Kardiologii, Wad Wrodzonych Serca i Elektroterapii, Wydział Nauk Medycznych w Zabrze, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, ³ Klinika Wad Zastawkowych Serca Narodowy Instytut Kardiologii, Warszawa, ⁴ I Klinika i Katedra Kardiologii, W.S.S. im dr W. Biegańskiego, Uniwersytet Medyczny w Łodzi, ⁵ Katedra i Klinika Kardiologii Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu, ⁶ Klinika Chorób Serca i Naczyń, Instytut Kardiologii UJCM, ⁷ I Katedra i Klinika Kardiologii SUM, Katowice; I Oddział Kardiologii Górnośląskie Centrum Medyczne w Katowicach, ⁸ Klinika Kardiologii i Chorób Strukturalnych Serca, III Katedra Kardiologii SUM, Katowice, ⁹ Pododdział Rehabilitacji Kardiologicznej, Beskidzki Zespół Leczniczo-Rehabilitacyjny, Szpital Opieki Długoterminowej, Jaworze, ¹⁰ Klinika Kardiologii CMKP Warszawa, ¹¹ Katedra i Klinika Kardiologii SUM Katowice, ¹² Klinika Choroby Wieńcowej i Niewydolności Serca UJCM Kraków, ¹³ Zakład Szybkiej Diagnostyki Kardiologicznej Katedra Kardiologii UM w Łodzi, ¹⁴ II Klinika Kardiologii Uniwersytet Medyczny w Poznaniu, ¹⁵ Klinika Kardiologii Uniwersytet Medyczny w Białymstoku, ¹⁶ Katedra Elektrokardiologii, Klinika Elektrokardiologii i Niewydolności Serca SUM, Katowice

Krótki tytuł: Echokardiografia obciążeniowa w wadach zastawkowych serca.

Autor korespondujący: dr n. med. Patrycjusz Stokłosa

Klinika Wad Zastawkowych Serca,

Narodowy Instytut Kardiologii Stefana Kardynała Wyszyńskiego

Państwowy Instytut Badawczy

ul. Alpejska 42, 04-628 Warszawa

tel. +48 22 343 46 46

email: pstoklosa@ikard.pl

Wszyscy Autorzy deklarują brak konfliktu interesów w zakresie poniższej publikacji.

Słowa kluczowe: echokardiografia obciążeniowa, zastawkowe wady serca

Abstrakt

Wady zastawkowe serca (VHD) są narastającym problemem z powodu starzenia się populacji oraz jako następstwo innych chorób serca. Prawidłowe rozpoznanie jest kluczowe dla podjęcia właściwych decyzji terapeutycznych. Niestety, u wielu pacjentów echokardiografia przezklatkowa (TTE) i przezprzełykowa (TEE) nie są wystarczające. Bardzo pomocnym narzędziem diagnostycznym okazała się echokardiografia wysiłkowa (SE), umożliwiająca równoczesną ocenę kurczliwości lewej komory (LV) i przepływów zastawkowych w warunkach obciążenia wysiłkiem lub lekiem. Zaleca się stosowanie SE w celu określenia ciężkości wady serca, wyboru właściwego postępowania terapeutycznego i stratyfikacji ryzyka operacyjnego. Badaniu mogą być poddani zarówno chorzy z ciężką wadą zastawkową bez objawów klinicznych jak też z umiarkowaną wadą zastawkową z dolegliwościami. SE u pacjenta z VHD może być wykonana jako badanie wysiłkowe (ESE) lub obciążeniowe z zastosowaniem dobutaminy (DSE). ESE zaleca się u pacjentów z ciężką stenozą aortalną (AS) negujących objawy w celu ich wykrycia lub nieprawidłowej reakcji ciśnienia tętniczego w trakcie wysiłku oraz u pacjentów ze stenozą mitralną z dysproporcją między zgłaszanymi objawami a stopniem wady obserwowanym w TTE. U pacjentów z bezobjawową ciężką paradoksalną niskoprzepływową niskogradentową (LF-LG) AS badanie ESE pozwala na potwierdzenie istotności zwężenia. Z kolei u pacjentów z klasyczną LF-LG AS przydatnym narzędziem diagnostycznym jest DSE z niską dawką dobutaminy, dostarczając informacji na temat istotności zwężenia i rezerwy kurczliwości. Ponadto, SE jest wskazana u pacjentów po implantacji sztucznej zastawki, gdy występuje rozbieżność pomiędzy symptomatologią a obrazem echokardiograficznym, a także u pacjentów z VHD przed zabiegami wysokiego ryzyka z małą wydolnością fizyczną i więcej niż dwoma klinicznymi czynnikami ryzyka. Niniejszy dokument przedstawia szczegółowo wytyczne dotyczące SE w wadach zastawkowych.

Wstęp

Pierwszy polski rejestr badań echokardiograficznych (Pol-STRESS registry) oraz raport europejski badań obrazowych serca pokazują, że echokardiografia obciążeniowa (SE) jest obecnie uznaną metodą obrazową stosowaną szczególnie w diagnostyce choroby wieńcowej i wad zastawkowych serca w Polsce i w Europie [1, 2]. Jest zalecana w wielu obowiązujących wytycznych Europejskiego Towarzystwa Kardiologicznego (ESC). Jest to badanie nieinwazyjne, cechujące się wysoką czułością i specyficznoscią. Polega na wykorzystaniu różnego typu testów czynnościowych (najczęściej test wysiłkowy i farmakologiczny z dobutaminą), pobudzających kurczliwość lewej komory, zwiększających przepływ przez ujścia zastawkowe i/lub prowadzących do wystąpienia zaburzenia równowagi pomiędzy zaopatrzeniem a zapotrzebowaniem tlenowym mięśnia sercowego. W konsekwencji dochodzi do uwidocznienia nowych odcinkowych zaburzeń kurczliwości lub pogłębienia już występujących spoczynkowych zaburzeń, a także zmian przepływu krwi przez zastawki serca [3].

Od ponad dekady eksperci obrazowania serca w Polsce [4] i w Europie [5] oraz obecnie w wytycznych ESC dotyczących postępowania u chorych z wadami zastawkowymi serca zalecają stosowanie echokardiografii obciążeniowej w celu określenia ciężkości wady serca, wyboru właściwego postępowania terapeutycznego i stratyfikacji ryzyka operacyjnego [6].

Autorzy wytycznych rekomendują wykonanie badania u chorych z ciężką wadą zastawkową bez objawów klinicznych bądź z umiarkowaną wadą zastawkową z dolegliwościami.

Szczególną grupą pacjentów są chorzy z niskogradentową, niskoprzepływową stenozą aortalną i obniżoną frakcją wyrzutową a także z paradoksalną niskoprzepływową stenozą aortalną i zachowaną frakcją wyrzutową. SE zalecana jest również u chorych ze zwężoną zastawką mitralną, z niedomykalnością zastawki mitralnej i trójdzielnej. Badanie to

umożliwia także identyfikację pacjentów ze zwiększonym ryzykiem rozwoju nadciśnienia płucnego [7].

Wymagania dotyczące wyposażenia pracowni, przygotowanie do badania obciążeniowego

Pracownia echokardiograficzna, wykonująca SE powinna być wyposażona w sprzęt reanimacyjny: przenośny automatyczny defibrylator, worekambu, minimalny zestaw lekowy wraz z płynami infuzyjnymi. Powinny być dostępne leki takie jak beta-adrenolityk czy nitrogliceryna celem odwrócenia działania dobutaminy. Niezbędna jest obecność aparatury do stałego monitorowania ciśnienia tętniczego i rejestracji EKG.

Bardzo ważne jest zebranie dokładnego wywiadu chorobowego z uwzględnieniem przeciwwskazań. Badania echokardiografii obciążeniowej nie należy wykonywać u pacjentów niestabilnych: z niestabilną chorobą wieńcową, ciężką zrekompensowaną niewydolnością serca, niekontrolowanym, wysokim ciśnieniem tętniczym, groźnymi zaburzeniami rytmu, zapaleniem mięśnia sercowego, wsierdzia i osierdzia. Przeciwwskazaniem do wykonania testu z dobutaminą jest niekontrolowane, wysokie ciśnienie tętnicze, kardiomiopatia przerostowa z dużym gradientem śródkomorowym. Pacjent do badania powinien zgłosić się na czczo lub co najmniej 4 godziny po zjedzeniu lekkiego posiłku, przed badaniem powinien unikać dużych wysiłków fizycznych, nie powinien pić mocnej kawy, herbaty czy innych napojów energetyzujących ani palić tytoniu. Konieczne jest również podpisanie świadomej zgody na badanie.

Przed rozpoczęciem badania należy u pacjenta wykonać badanie echokardiograficzne spoczynkowe i sprawdzić jakość uzyskiwanych obrazów. W przypadku pacjentów nieechogenicznych, wiarygodność badania jest wątpliwa i u takich pacjentów SE nie jest

zalecane. Wybór testu obciążeniowego zależy od wskazań i przeciwwskazań do wykonania testu, a także doświadczenia i preferencji lekarza wykonującego badanie.

Echokardiografia obciążeniowa jest badaniem bezpiecznym [8,9]. Bezpieczeństwo echokardiograficznej próby wysiłkowej jest podobne jak w klasycznej próbie. Do najczęstszych objawów niepożądanych towarzyszących próbie dobutaminowej należą drżenie ciała, zaczerwienienie skóry, bóle głowy i kołatania serca.

Protokoły echokardiografii obciążeniowej w zastawkowych wadach serca

W diagnostyce wad zastawkowych serca stosuje się echokardiografię wysiłkową (ESE) i próbę farmakologiczną z dobutaminą (DSE) [3,7]. Wybór metody i protokołu zależy od wskazań i stanu klinicznego pacjenta. Z uwagi na to, że czas obrazowania jest bardzo krótki, ustalenie rejestrowanych parametrów echokardiograficznych i przyjęcie właściwej kolejności ich akwizycji wynikające z celu badania, powinno być zdefiniowane przed jego rozpoczęciem. Podczas echokardiografii wysiłkowej monitorowanie ciśnienia krwi, 12-odprowadzeniowego EKG i stanu klinicznego jest obowiązkowe.

ESE wymaga współpracy pacjenta, zdolnego do wykonania wysiłku fizycznego. Jest testem ograniczonym objawami, wykonywanym na cykloergometrze leżankowym lub bieżni ruchomej w protokole ograniczonym objawami. Badanie na cykloergometrze leżankowym pozwala na dokładne obrazowanie serca podczas całego testu, od małego obciążenia do poziomu maksymalnego. W czasie, gdy pacjent pedałując w stałym tempie (60 obrotów/min.), pokonuje stopniowo rosnące obciążenie (zaczynając od 25 watów, zwiększane o 25 watów w odstępach 3-minutowych), prowadzona jest rejestracja echokardiograficzna: wyjściowa, na etapie 25-50 W, po osiągnięciu tętna 100-120/^o, na szczycie obciążenia i w okresie odpoczynku. W ciężkiej wadzie zastawkowej akwizycja obrazów powinna rozpoczynać się od obrazowania lewej komory, co pozwala ocenić rezerwę skurczową i

zmiany globalnego odkształcenia podłużnego. Przeciwnie, u bezobjawowych pacjentów z niskoprzepływową niskogradentową stenozą aortalną z zachowaną frakcją wyrzutową lewej komory obrazowanie należy rozpocząć od parametrów zaawansowania wady zastawki i rezerwy przepływu. Jedynie w badaniu na cykloergometrze leżankowym można oszacować skurczowe ciśnienie w tętnicy płucnej na podstawie oceny niedomykalności zastawki trójdzielnej. Inną stosowaną metodą ESE jest obciążenie wysiłkiem na bieżni, jednakże nie umożliwia ono obrazowania w czasie wysiłku. Zwykle obrazy uzyskuje się po szczycie obciążenia (w ciągu 90 sekund po zakończeniu wysiłku), po natychmiastowym przejściu pacjenta na leżankę. Zatem tą metodą nie można ocenić zjawisk występujących podczas małego obciążenia. Powszechnie stosowanymi protokołami wysiłku na bieżni są protokół Bruce'a i zmodyfikowany protokół Bruce'a.

Próba echokardiograficzna z dobutaminą umożliwia obrazowanie przy małym, średnim i szczytowym poziomie obciążenia. Protokół DSE obejmuje ciągły wlew iv dobutaminy, rozpoczynając od dawki 5ug/kg/min, następnie zwiększanej o 5-10 ug/kg/min co 3-8 minut, aż do 40 ug/kg/min. W ocenie stenozy aortalnej maksymalna dawka wynosi 20 ug/kg/min. Akwizycja obrazów powinna rozpocząć się po upływie 2-3 minut po każdym zwiększeniu dawki dobutaminy. DSE nie pozwala na oszacowanie skurczowego ciśnienia w tętnicy płucnej i ocenę ciężkości niedomykalności mitralnej ze względu na wazodylatacyjne działanie dobutaminy.

Echokardiografia obciążeniowa w niskoprzepływowej niskogradentowej stenozie aortalnej

Niskoprzepływową, niskogradentową stenozę aortalną (LFLG AS) definiuje się w oparciu o współistnienie średniego gradientu przezastawkowego <40 mm Hg, efektywnej powierzchni zastawki aortalnej (AVA) <1,0 cm² (0,6 cm²/m²) i wskaźnika objętości

wyrzutowej (SVi) lewej komory (LV) $<35 \text{ ml/m}^2$. Może jej towarzyszyć obniżona (typ klasyczny) lub zachowana (typ paradoksalny) frakcja wyrzutowa (EF) LV.

Echokardiograficzna próba dobutaminowa (DSE) z małą dawką leku może być użytecznym narzędziem diagnostycznym w klasycznej LFLG AS, dostarczającym informacji na temat nasilenia zwężenia (zmiany średniego gradientu przez zastawkowy i AVA w odpowiedzi na zwiększenie przepływu aortalnego) i rezerwy kurczliwości LV (zmiany SV i EF). Protokół DSE w ocenie klasycznej LFLG AS rozpoczyna się od niskiej dawki dobutaminy 2,5-5 $\mu\text{g/kg/min}$, a następnie prędkość infuzji zwiększa się co 3-5 minut do maksymalnej dawki 20 $\mu\text{g/kg/min}$ [10]. Zaleca się unikanie wysokich dawek dobutaminy ze względu na zwiększone ryzyko arytmii i możliwość przeszacowania ciężkości zwężenia w trakcie dużego przyspieszenia przepływu wywołanego wysokimi stężeniami leku [10,12].

Zestaw ocenianych parametrów uzyskanych na początku i na każdym etapie infuzji powinien obejmować co najmniej pomiary przepływu przez zastawkę aortalną za pomocą doplera fali ciągłej (optymalnie z okna akustycznego z najwyższą rejestrowaną prędkością przepływu), w drodze odpływu LV (LVOT) za pomocą doplera pulsacyjnego i rejestracje kurczliwości LV w osi długiej przymostkowej oraz w projekcji koniuszkowej 4- i 2-jamowej. Pomiar średnicy LVOT przeprowadza się wyjściowo i wartość ta jest używana do obliczenia AVA z równania ciągłości podczas całego testu [3,10].

Raport z DSE powinien obejmować maksymalną prędkość przepływu przez zastawkę, gradient średni, SV i AVA na każdym etapie badania; pomiary EF powinny być odnotowane przynajmniej wyjściowo i na szczycie próby.

DSE w klasycznej LFLG AS może przynieść następujące wnioski, istotne z klinicznego punktu widzenia [10,11]:

1. Wzrost średniego gradientu przezaortalnego >30 mmHg (optymalnie >40 mmHg) przy $AVA <1,0$ cm² w dowolnym momencie wlewu dobutaminy, co sugeruje prawdziwie ciężką AS.
2. Wzrost AVA do $>1,0$ cm², co sugeruje, że stenoza nie jest ciężka.
3. Brak wzrostu $SV \geq 20\%$ odzwierciedlający brak rezerwy kurczliwości (przepływu), który jest czynnikiem predykcijnym wysokiej śmiertelności okołoperacyjnej [12]. Należy jednak podkreślić, że stwierdzenie tego zaburzenia nie wyklucza poprawy stanu klinicznego chorego i poprawy odległego przeżycia po operacji chirurgicznej lub TAVI. W związku z tym, pacjenci z brakiem rezerwy przepływu nie powinni być a priori dyskwalifikowani z zabiegu wymiany zastawki aortalnej [3,12].

U niektórych chorych rozbieżność pomiędzy małą AVA i niskim gradientem utrzymuje się w trakcie stymulacji dobutaminą, nie dając jednoznacznego rozstrzygnięcia co do stopnia zwężenia. W tej podgrupie, zwykle charakteryzującej się niewystarczającym wzrostem przepływu przez zastawkę, pomocne jest obliczenie tzw. przewidywanej AVA (*projected AVA*) standaryzującej pomiar AVA do stanu normalnego natężenia przepływu, tj. 250 ml/s [10,13], zgodnie z poniższym wzorem:

$$\text{Projected AVA} = AVA_{\text{rest}} + (\Delta AVA / \Delta Q) \times (250 - Q_{\text{rest}})$$

gdzie AVA_{rest} i Q_{rest} oznaczają AVA i średnie natężenie przepływu przez zastawkę (SV /czas wyrzutu LV) mierzone w spoczynku, a ΔAVA i ΔQ – bezwzględne zmiany w zakresie AVA i Q mierzone w trakcie DSE.

Aby uzyskać wiarygodny pomiar przewidywanej AVA, konieczny jest przynajmniej 15% (optymalnie $\geq 20\%$) przyrost natężenia przepływu przez zastawkę aortalną podczas wlewu dobutaminy [12]. Przewidywana AVA $< 1,0 \text{ cm}^2$ potwierdza obecność prawdziwej ciężkiej postaci AS.

Podgrupa chorych z klasyczną LFLG AS, w której różnicowanie pomiędzy zwężeniem prawdziwie ciężkim i pseudo-ciężkim jest przy pomocy DSE niemożliwe z powodu niewystarczającego wzrostu przepływu przez zastawkę, powinna zostać poddana ocenie uwapnienia zastawki aortalnej z zastosowaniem wielorzędowej tomografii komputerowej (MDCT) [3,10] (ryc. 1).

Paradoksalna LFLG AS. Obecnie nie zaleca się stosowania DSE jako narzędzia diagnostycznego w paradoksalnej LFLG AS. Powodem tego są niewystarczające dowody na korzyści diagnostyczne wynikające z zastosowania DSE w tym przypadku oraz zwiększone ryzyko zaburzeń hemodynamicznych wywołanych przez indukowane wlewem dobutaminy pogorszenie napełniania LV, zawężanie LVOT i następne niedociśnienie u chorych charakteryzujących się zwykle nasiloną koncentryczną przebudową LV z małą jamą LV i restrykcyjnym profilem napływu [10,11]. Zalecanym podejściem diagnostycznym w tej postaci LFLG AS w celu ustalenia ciężkości zwężenia jest MDCT (ryc. 1), natomiast ESE można wykonać jedynie u chorych bezobjawowych lub skąpo-objawowych.

Przed wykorzystaniem dodatkowych metod oceny należy wziąć pod uwagę, że spoczynkowa ocena zastawki aortalnej u pacjentów, u których tempo przepływu przez zastawkę (iloraz objętości wyrzutowej i czasu wyrzutu) przekracza 200 ml/s zwykle nie ulega zmianie po testach obciążeniowych [14].

Echokardiografia obciążeniowa u pacjentów z ciężką bezobjawową stenozą aortalną

Rekomendacje

Pacjenci z ciężką wysokogradentową stenozą aortalną (HG AS), tj. polem powierzchni zastawki (AVA) $< 1 \text{ cm}^2$ i średnim gradientem przez zastawkowym (mAG) $> 40 \text{ mm Hg}$ w spoczynku, u których wystąpią objawy (IB) i/lub dysfunkcja skurczowa lewej komory (LV) (IC) powinni być poddani wymianie zastawki aortalnej chirurgicznej (SAVR), a niektórzy z nich przezcewnikowej (TAVI) [6]. U pacjentów negujących objawy (AAS) zaleca się wykonanie elektrokardiograficznego testu wysiłkowego (ET) w celu wykrycia objawów lub nieprawidłowej reakcji ciśnienia tętniczego w trakcie wysiłku [3,6]. Nie u wszystkich chorych ET pozwala wskazać grupę zagrożoną, dlatego poszukuje się innych metod. Należy podkreślić, że u objawowych pacjentów z AS, próba wysiłkowa jest przeciwwskazana [3].

Wskazania kliniczne

U pacjentów z ciężką bezobjawową paradoksalną LF LG AS SE pozwala na potwierdzenie istotności zwężenia (7,16). U aktywnych fizycznie pacjentów z ciężką AAS echokardiografia obciążeniowa (SE) wysiłkowa (ESE) może służyć nie tylko ujawnieniu objawów, lecz także stratyfikacji ryzyka [15].

Parametry badania

- rodzaje: ESE z wykorzystaniem bieżni ruchomej lub ergometru rowerowego.

Dobutaminowa SE jest przeciwwskazana u pacjentów z ciężką HG AS [7]. Nie wykonuje się jej także u pacjentów z bezobjawową paradoksalną LF LG SA [7].

- protokoły: ESE z wykorzystaniem bieżni ruchomej - klasyczny i zmodyfikowany protokół Bruce'a [3] ESE z wykorzystaniem cykloergometru przeprowadza się na typowym stacjonarnym ergometrze rowerowym lub najlepiej na ergometrze leżankowym,

umożliwiający akwizycję danych bez opóźnień związanych z przemieszczaniem się pacjenta [3,7]. Jednoczesne obrazowanie w trakcie obciążenia małym wysiłkiem pozwala na ocenę rezerwy kurczliwości i zmian globalnego odkształcenia podłużnego (GLS), co pomaga wykryć subkliniczną dysfunkcję skurczową LV [7].

Interpretacja wyniku

Tab. 1. Parametry echokardiograficzne, które należy ocenić w trakcie ESE.

GLS wydaje się być o wiele lepszym od LVEF wskaźnikiem predykcyjnym wystąpienia objawów i zdarzeń sercowych u pacjentów z ciężką bezobjawową HG AS i zachowaną LVEF, choć nie zdefiniowano precyzyjnych punktów odcięcia [3,6].

Tab. 2. Definicje nieprawidłowego wyniku ESE i wartości progowe parametrów klinicznych i echokardiograficznych.

Wpływ na postępowanie

Tab.3. Decyzje terapeutyczne u pacjentów z ciężką AAS poddanych badaniu wysiłkowemu.

Niedomykalność aortalna

Pacjenci z ciężką niedomykalnością aortalną (AR), u których wystąpią objawy powinni być poddani SAVR (IB) [6].

Wskazania kliniczne

U pacjentów z ciężką bezobjawową AR negujących objawy zaleca się wykonanie testu wysiłkowego (ET) w celu wykrycia objawów w trakcie wysiłku [3]. U pacjentów z nieciężką AR można wykonać ET w celu wykluczenia objawów [3].

Parametry badania

- rodzaje: W celu oceny objawów zaleca się raczej ESE niż DSE.

- protokoły: W celu oceny rezerwy kurczliwości najlepiej wykonać ESE z wykorzystaniem cykloergometru leżankowego. Zaleca się wówczas rejestrację w spoczynku, w czasie obciążenia małym wysiłkiem oraz obciążenia maksymalnego. Jeśli wykorzystuje się bieżnię ruchomą zaleca się rejestrację w spoczynku oraz jak najszybciej po zakończeniu wysiłku. Minimalny zestaw danych powinien zawierać w kolejności: obrazowanie dwuwymiarowe LV, rejestrację TR doplerem ciągłym celem oszacowania SPAP oraz rejestrację doplerem kolorowym MR.

Interpretacja wyniku

Dla bezobjawowej ciężkiej AR: ujawnianie objawów z zachowaną lub nie rezerwą kurczliwości. Dla objawowej nieciężkiej AR: ciężka AR ± indukowane wysiłkiem niedokrwienie ± nadciśnienie płucne ± czynnościowa MR.

Wpływ na postępowanie

Pacjenci z ciężką niedomykalnością aortalną (AR), u których wystąpią objawy powinni być poddani SAVR (IB) [6]. Stwierdzono, że brak rezerwy kurczliwości (\square LVEF < 5%) pozwala przewidzieć rozwój dysfunkcji skurczowej LK w trakcie obserwacji oraz po SAVR. Spoczynkowa i wysiłkowa ocena funkcji włókien podłużnych LV z wykorzystaniem parametrów doplera tkankowego może być pomocna w wykryciu wczesnych objawów dysfunkcji skurczowej.

Echokardiografia obciążeniowa w niedomykalności mitralnej

Z uwagi na obecność dynamicznej komponenty wady, pełna ocena kliniczna chorego z nabytą wadą zastawkową z zasady powinna być przeprowadzona zarówno w spoczynku jak i po obciążeniu wysiłkiem lub lekiem. Dynamiczna składowa wady w sposób szczególny ujawnia się w niedomykalności mitralnej (MR). Z jednej strony, zmieniającą się podczas obciążenia funkcja lewej komory (LK) i aparatu podzastawkowego (indukowana

wysiłkiem asynchronia, niedokrwienie, zmiana kształtu LK) może prowadzić do zmiany stopnia nieuszczelnienia zastawki. Z drugiej zaś strony progresja niedomykalności mitralnej poprzez narastanie przeciążenia objętościowego i ciśnieniowego lewego przedsionka będzie indukować wzrost ciśnienia w t. płucnej. Z tego też powodu u większości chorych z niedomykalnością mitralną najbardziej optymalnym sposobem obciążenia jest wysiłek fizyczny. Dobutamina ze względu na swój profil farmakodynamiczny (komponenta wazodylatacyjna) nie jest dobrym stresorem bowiem może zmniejszać stopień funkcjonalnej niedomykalności utrudniając w ten sposób interpretację wyniku testu. Dobutaminowy test echokardiograficzny może mieć jednak zastosowanie w niedokrwiennej MR w szczególnej sytuacji, gdy oprócz oceny nieuszczelnienia zastawki mitralnej zależy nam na ocenie rezerwy kurczliwej/niedokrwienia segmentów tylny-dolno-bocznych LK (dorzecze t. okalającej / prawej t. wieńcowej) i funkcji m. brodawkowego tylny-przyśrodkowego. Poprawa kurczliwości w tym obszarze przy małej dawce dobutaminy i uszczelnienie zastawki z następującym pogorszeniem kurczliwości przy dużej dawce i rozszczelnieniem zastawki (reakcja dwufazowa) wskazują na konieczność rewaskularyzacji w tym obszarze.

Badanie obciążeniowe powinniśmy wykonać u chorych u których istnieje dysproporcja pomiędzy zgłaszanymi objawami a stopniem MR w spoczynkowym badaniu echo. Dotyczy to zarówno chorych z napadową nocną dusznością (przemijający obrzęk płuc) i małą niedokrwinną MR w spoczynkowych badaniach echo jak i tych bezobjawowych u których wada oceniana jest w spoczynku jako hemodynamicznie istotna (tj. średnia lub duża MR bez względu na etiologię). Chorzy w wieku podeszłym adaptując się do zmienionych warunków hemodynamicznych wady często obniżają swoją aktywność fizyczną i maskują w ten sposób objawy kliniczne. Ponadto badanie wysiłkowe pozwala na obiektywną ocenę tolerancji wysiłku i ustalenie czy zgłaszana przez chorego duszność i spadek tolerancji wysiłku mają związek z wadą zastawki czy innymi schorzeniami współistniejącymi (choroby

płuc, choroby mięśni, anemia) czy też słabą adaptacją do wysiłku (brakiem wytrenowania). Dla chorego niewątpliwie największą korzyścią z obciążenia chorego wysiłkiem jest określenie stopnia zaawansowania MR i ustalenie optymalnego czasu przeprowadzenia korekcji zabiegowej (Ryc. 2). U młodych bezobjawowych pacjentek z organiczną hemodynamicznie istotną MR (zespół Barlowa, FED) planujących ciążę, określenie wysiłkowych markerów operacyjności ($PSAP > 50\text{mmHg}$, $\Delta LVEF < 5\%$, $\Delta LV\text{strain} < 2\%$) pomaga w podjęciu decyzji o wcześniejszym zabiegu naprawczym.

Specyfika protokołu echokardiograficznego badania wysiłkowego ogranicza ilość rejestrowanych parametrów echokardiograficznych. W praktyce zapisywane są tylko parametry możliwe do powtórzenia na każdym etapie obciążenia i jednocześnie mające znaczenie diagnostyczne dla oceny problemu klinicznego (Ryc. 3). Ocena badania echokardiograficznego odbywa się on-line (pomiary 2D, dopler) oraz off-line (pomiar strain LK i PK). Test wysiłkowy na ergometrze rowerowym proponować należy pacjentom gorzej wytrenowanym i w wieku podeszłym. Osoby młodsze mogą być obciążane także z wykorzystaniem bieżni ruchomej. Należy jednak pamiętać iż na ergometrze łatwiej dokonywać jest rejestracji obrazów echo (2D+ dopler) niż na bieżni. Test obciążeniowy u chorego z MR limitowany jest objawami lub częstością rytmu przy której możliwa jest czytelna i wiarygodna rejestracja parametrów echo (zwykle ok. 100-120/min). Końcowe punkty diagnostyczne a także kryteria przerwania testu podsumowano w tabeli 4.

Interpretacja parametrów echo zależy od etiologii MR jak i współistnienia spoczynkowych objawów klinicznych. U chorych objawowych z umiarkowanego stopnia organiczną niedomykalnością mitralną ocenioną w badaniu spoczynkowym wykazanie narastania stopnia MR (≥ 1 stopień), dynamicznego nadciśnienia płucnego ($SPAP > 60\text{ mmHg}$), braku rezerwy kurczliwej LK ($\Delta EF < 5\%$, $\Delta \text{strain podłużny LK} < 2\%$) brak rezerwy kurczliwej PK ($\Delta TAPSE < 19\text{ mm}$) wskazują na gorsze odległe rokowanie chorego. Z kolei u chorych z

ciężką, ale bezobjawową organiczną niedomykalnością mitralną ocena wysiłkowa powinna skupić się głównie na analizie narastania objawów klinicznych (duszność), dynamicznego nadciśnienia płucnego (SPAP>60 mmHg) i rezerwy kurczliwej LK, bez konieczności szacowania stopnia MR. Narastanie wartości ERO obserwowane zwykle u tych chorych podczas wysiłku nie ma wartości prognostycznej.

U chorych z niedokrwioną MR i dysfunkcją skurczową LK wzrost ERO po wysiłku o > 13 mm² wskazuje na zaawansowanie pozawałowej przebudowy LK i może pomóc w podjęciu decyzji o jednoczasowym zabiegu rewaskularyzacji oraz plastyki zastawki mitralnej. Z kolei redukcja ERO lub całkowite uszczelnienie zastawki po wysiłku są dowodem na obecność rezerwy kurczliwej i brak niedokrwienia w obszarze ściany tyłno-dolno-bocznej i stanowią o dobrym rokowaniu chorego. Najczęstsze wskazania do badania obciążeniowego i grupy chorych odnoszące potencjalne korzyści podsumowano w tabeli 5.

Echokardiografia obciążeniowa w stenozie mitralnej

Echokardiograficzne badanie obciążeniowe (stress echocardiography – SE) wskazane jest u pacjentów, u których stwierdzamy dysproporcję pomiędzy zgłaszanymi objawami a stopniem wady obserwowanym w badaniu spoczynkowym. SE pozwala nie tylko na doprecyzowanie istotności hemodynamicznej wady natywnej zastawki mitralnej (mitral valve – MV), ale również na dynamiczną ocenę funkcji protezy MV (przy podejrzeniu jej obstrukcji lub niedopasowania pacjent–zastawka, patient-prosthesis mismatch - PPM) oraz zastawki po zabiegu naprawczym (przy podejrzeniu jatrogennej, czynnościowej stenozy) [3,6,17].

W praktyce, pierwszą grupę pacjentów w której wskazane jest wykonanie SE stanowią osoby objawowe z wynikiem spoczynkowego badania sugerującym nieistotne klinicznie zwężenie zastawki mitralnej (mitral stenosis – MS), tj. z polem powierzchni zastawki mitralnej (mitral valve area – MVA) >1,5 cm². Podczas SE może okazać się, że w obliczu zwiększonego

przepływu upośledzenie podatności MV powoduje istotne narastanie średniego rozkurczowego gradientu przez zastawkowego (mean pressure gradient – MPG).

Druga grupa wskazań do wykonania SE to pacjenci bezobjawowi lub z objawami nietypowymi pomimo MVA wskazującego na istotną MS, u których kontrolowane obciążenie może spowodować wystąpienie objawów. Badanie wskazane jest szczególnie u chorych z MVA w przedziale 1,0 – 1,5 cm², o ile oczekują one na duży zabieg chirurgiczny lub planują zajście w ciążę oraz u wszystkich pozostałych przy MVA < 1,0 cm².

Wśród pacjentów po wymianie lub naprawie MV typowym wskazaniem do SE są objawy wskazujące na MS przy MPG oscylującym wokół lub jedynie nieznacznie przekraczającym 5 mmHg w badaniu spoczynkowym. Szczególną podgrupą są tu objawowi pacjenci po zabiegu naprawczym czynnościowej niedomykalności mitralnej, typowo z implantacją ciasnego sztucznego pierścienia zamkniętego. W związku z dysfunkcją skurczową lewej komory w badaniu spoczynkowym możemy mieć do czynienia ze stanem obniżonego przepływu i dlatego już przy MPG > 3 mmHg warto wykonać u nich SE [3] ponieważ może ono ujawnić obecność czynnościowej MS.

Preferowanym stresem jest wysiłek fizyczny (exercise SE – ESE) z wykorzystaniem cykloergometru leżankowego. Wyjściowo, na poszczególnych etapach obciążenia i po jego zakończeniu oceniamy za pomocą doplera fali ciągłej zmiany w zakresie skurczowego ciśnienia w tętnicy płucnej (systolic pulmonary artery pressure – SPAP, kalkulowane na podstawie prędkości fali zwrotnej przez zastawkę trójdzielną) oraz stopień narastania MPG. Jeżeli nie dysponujemy odpowiednim sprzętem możliwe jest również wykonanie klasycznego testu wysiłkowego (cykloergometr, bieżnia) z oceną echokardiograficzną ograniczoną do badania spoczynkowego bezpośrednio przed i po zakończeniu wysiłku. Alternatywą dla obciążenia wysiłkiem fizycznym jest dożylnie podanie dobutaminy (dobutamine SE – DSE) z

dawką maksymalną do 20 ug/kg/min., ze względu na charakterystykę jej działania w takim przypadku oceniamy jedynie MPG [3,17].

Za wartość wskazującą na istotną MS przyjmuje się przekroczenie przez SPAP wartości 60 mmHg w odpowiedzi na wysiłek. Kryteria oceny MPG przedstawia Tabela 6.

Echokardiografia obciążeniowa z oceną zastawki trójdzielnej

Ocena niedomykalności zastawki trójdzielnej (TR) podczas wysiłku jest narzędziem do oceny zaawansowania lewostronnych wad zastawkowych serca i ich następstw hemodynamicznych.

Echokardiografia wysiłkowa z użyciem cykloergometru leżankowego jest preferowaną metodą pozwalającą na oszacowanie skurczowego ciśnienia w tętnicy płucnej (SPAP) na podstawie oceny TR. Gradient fali zwrotnej trójdzielnej powinien być rejestrowany na każdym etapie obciążenia w ocenie stenozy i niedomykalności aortalnej, oraz stenozy i niedomykalności mitralnej [7]. Indukowany wysiłkiem fizycznym SPAP ≥ 60 mmHg jest zwiastunem niekorzystnego rokowania [7]. Ważne jest, aby mierzyć prędkość strumienia TR za pomocą badania doplerowskiego fali ciągłej już na wczesnych etapach wysiłku, ponieważ wczesny wzrost SPAP świadczy o bardziej istotnych hemodynamicznych konsekwencjach wady zastawkowej [3]. Należy podkreślić, że wysiłkowa ocena SPAP nie jest ujęta w definicji kryteriach diagnostycznych rozpoznawania nadciśnienia płucnego.

Echokardiografia obciążeniowa w ocenie protez zastawkowych

Ocena funkcji wszczepionych u chorego zastawek serca wymaga zazwyczaj dużego doświadczenia badającego. Diagnostykę utrudnia różnorodność typów i rozmiarów zastawek powodujących różnego stopnia utrudnienie przepływu. Przy podejrzeniu dysfunkcji protezy wykonanie badania echokardiograficznego przezklatkowego (TTE), uzupełnionego o badanie przezprzełykowe (TEE) może nie być wystarczające [6,18]. W przypadku protezy mechanicznej pomocna może być fluoroskopia rtg, a niekiedy też wykonanie badania

tomograficznego [17]. Dodatkowych cennych informacji diagnostycznych dostarczyć może echokardiograficzne badanie czynnościowe - SE. Aktualne wytyczne towarzystw EACVI i ASE podają wskazania i zasady wykonywania SE u chorych z protezą zastawkową [3]. SE jest wskazane, gdy występuje rozbieżność pomiędzy symptomatologią a obrazem TTE/TEE. Do wykonania SE stosuje się badanie wysiłkowe (ESE) najlepiej na cykloergometrze leżankowym (dla chorych bezobjawowych lub z łagodnymi objawami), a u chorych z istotnymi dolegliwościami lepiej wybrać badanie z zastosowaniem dobutaminy (DSE) w dawce nie przekraczającej 20 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$.

Badanie SE służy diagnostyce zwężenia zastawki lub utrudnienia przepływu przy zbyt małym rozmiarze zastawki (*patient-prosthesis mismatch: PPM*) u chorych z nieco podwyższonym w spoczynku gradientem przez zastawkę. Duży przyrost gradientu w czasie SE (w pozycji aortalnej o > 20 mm Hg, w pozycji mitralnej o > 10 mm Hg) wskazuje na zwężenie zastawki lub PPM, szczególnie gdy kalkulowane ciśnienie skurczowe w tętnicy płucnej (SPAP) wzrasta do > 60 mm Hg. Drugim ważnym wskazaniem do SE z zastosowaniem DSE jest ocena protezy w pozycji aortalnej przy małym rzucie serca dla różnicowania prawdziwego zwężenia z rzekomym zwężeniem lub niedopasowaniem rozmiaru protezy. Wskazaniem do DSE jest: mały przepływ ($\text{SVi} < 35 \text{ml}/\text{m}^2$), stosunkowo niski gradient i efektywna powierzchnia ujścia ($\text{EOA} < 1 \text{cm}^2$, $\text{iEOA} < 0,85 \text{cm}^2/\text{m}^2$, $\text{DVI} < 0,35$). W przypadku rzekomego zwężenia/niedopasowania zastawki pod wpływem dobutaminy dochodzi do poszerzenia $\text{EOA} \geq 0,3 \text{cm}^2$ przy braku lub niewielkim wzroście gradientu. Przy prawdziwej ciężkiej stenozie istotnie wzrasta gradient przy braku zmian EOA (zmiana nie przekracza $0,3 \text{cm}^2$). Ograniczeniem w różnicowaniu jest brak wzrostu wielkości przepływu przez protezę o co najmniej 20%.

Nowe techniki ilościowe w echokardiograficznej obciążeniowej ocenie wad zastawkowych serca.

W ostatnich dekadach znacznie wzrosło doświadczenie w wykorzystaniu zaawansowanych technik oceny ilościowej funkcji miokardium, szczególnie w odniesieniu do pomiarów globalnego skurczowego odkształcenia podłużnego (GLS). Coraz szerzej stosowana jest także echokardiografia trójwymiarowa (3D) dla uzyskania dokładniejszych echokardiograficznych pomiarów objętości jam serca oraz innych parametrów takich jak poprawne anatomiczne pole powierzchni drogi odpływu lewej komory. Zastosowanie wymienionych metod w protokołach obciążeniowych jest jednak mało rozpowszechnione. Mimo znacznej poprawy jakości obrazowania echokardiografia 3D nie zawsze zapewnia dostateczną jakość detekcji wsierdzia, szczególnie na szczycie obciążenia wysiłkiem lub dobutaminą. Znaczenie kliniczne parametrów obciążeniowych uzyskanych tą metodą u pacjentów z wadami serca pozostaje nieustalone. Najprostszy protokół badania stress-echo z wykorzystaniem echokardiografii 3D powinien zawierać dodatkową rejestrację full-volume lewej komory przy częstotliwości odświeżania >15 vol/s w spoczynku i na szczytowym etapie obciążenia.

Wstępne doświadczenia kliniczne są ograniczone do oceny wysiłkowej GLS u pacjentów z bezobjawową AS, u których poszukiwane są wczesne wskaźniki dysfunkcji komór potencjalnie użyteczne do oceny rokowania lub kwalifikacji zabiegowej. U ludzi zdrowych GLS wzrasta podczas próby wysiłkowej o $\frac{1}{4}$ wartości wyjściowych, nieco wyraźniej w części koniuszkowej lewej komory. U pacjentów ze stenozą aortalną wzrost GLS nie następuje lub jest mniejszy (do $\frac{1}{10}$ wartości wyjściowych) [19], co koreluje z nieprawidłowym testem wysiłkowym [20]. Wartości wysiłkowego GLS segmentów podstawnych $< -18\%$ wiążą się z gorszym rokowaniem [21]. Wstępne obserwacje wskazują też na przydatność wysiłkowej oceny pochodnej strainu - wskaźnika globalnej pracy lewej komory (GWI) w tej grupie

chorych – parametr ten estymowany jest na podstawie krzywych odkształcenie podłużne-cisnienie uzyskiwanych techniką śledzenia markerów akustycznych.

U bezobjawowych pacjentów z istotną pierwotną niedomykalnością mitralną wysiłkowa zmiana wartości GLS $>2\%$ może służyć jako wskaźnik zachowanej rezerwy kurczliwości, powiązany z lepszym 2-letnim rokowaniem [22].

Protokół badania z rejestracją obrazów do analizy GLS powinien zawierać rejestrację trzech projekcji koniuszkowych w trybie 2D, zoptymalizowanych pod kątem kompletnej rejestracji ściany komory i zachowaniu częstości odświeżania obrazu $>40\text{Hz}$ (optymalnie 60-80Hz) w spoczynku i na szczytowym etapie obciążenia.

Zastosowanie środków kontrastowych w SE dla poprawy oceny wad serca jest ograniczone do sytuacji, gdy w teście oceniana jest kurczliwość odcinkowa – wtedy komercyjne środki kontrastowe przechodzące przez krążenie płucne mogą zostać użyte dla poprawy oceny źle widocznej granicy wsierdzia. Zastosowanie kontrastu dla wzmocnienia sygnału doplerowskiego, zwłaszcza podczas wysiłku, nie jest zalecane i przy braku dużego doświadczenia w stosowaniu kontrastów może stanowić przyczynę zafałszowania obrysu spektrum.

Podsumowując, w ośrodkach o odpowiednim doświadczeniu, zastosowanie praktyczne do oceny pacjentów z wadami serca mogą obecnie znaleźć pomiary wysiłkowe GLSu u bezobjawowych/skapoobjawowych pacjentów z istotną stenozą aortalną lub istotną pierwotną niedomykalnością mitralną przy zachowanej spoczynkowej funkcji lewej komory serca.

Zastosowanie nowych technik w echokardiografii obciążeniowej innych wad serca stanowi pole do dalszych badań naukowych.

Echokardiografia obciążeniowa w kwalifikacji do zabiegu pozasercowego u pacjenta z wadą zastawkową serca (VHD)

Nieinwazyjna diagnostyka układu sercowo-naczyniowego stanowi element przedoperacyjnej oceny ryzyka powikłań sercowo-naczyniowych. U pacjentów z VHD poddawanych operacjom pozasercowym chorobowość i śmiertelność sercowo-naczyniowa są zwiększone. Stąd echokardiografia powinna być wykonana u każdego chorego z podejrzeniem VHD dla jej potwierdzenia i oceny zaawansowania. Objawowa ciężka stenoza aortalna, objawowa istotna stenoza mitralna lub stenoza mitralna u pacjenta z ciśnieniem skurczowym w tętnicy płucnej $> 50\text{mmHg}$ mogą wymagać wymiany zastawki lub interwencji przezskórnej przed operacją pozasercową. Zabiegi pozasercowe mogą być wykonane bezpiecznie u chorych z bezobjawową ciężką niedomykalnością mitralną i aortalną z zachowaną funkcją lewej komory. Obecność objawów lub dysfunkcji lewej komory nieznacznie podwyższa ryzyko okołozabiegowe, ale korekta wady rzadko jest przeprowadzana przed planowym zabiegiem nie-kardiologicznym [6].

Przedoperacyjne postępowanie u chorych z VHD nie spełniających powyższych kryteriów nie odbiega od stosowanego w populacji ogólnej. Właściwe wybranie metod diagnostycznych (m.in. echokardiografii obciążeniowej) w ocenie przedzabiegowej powinien uwzględniać wydolność fizyczną pacjenta, kliniczne wskaźniki ryzyka oraz ryzyko chirurgicznego zależne od typu zabiegu chirurgicznego. Ryzyko chirurgiczne zależne od typu operacji jest szacowane jako: niskie ($<1\%$, np. zabiegi), pośrednie (1-5%, np. cholecystektomia), wysokie ryzyko ($>5\%$, np. operacje aorty). [23]

Echokardiografia obciążeniowa jest zalecana przed zabiegami wysokiego ryzyka u chorych ze słabą ($< 4\text{ MET}$) wydolnością fizyczną i więcej niż dwoma klinicznymi czynnikami ryzyka (klasa I, poziom dowodów C). Do klinicznych czynników ryzyka należą:

choroba niedokrwienna serca, niewydolność serca, udar mózgu lub przejściowy atak niedokrwienny mózgu, niewydolność nerek, cukrzyca wymagająca insulinoterapii [23].

Zastosowanie echokardiografii obciążeniowej można także rozważyć u chorych z jednym lub dwoma czynnikami ryzyka (klasa IIb, poziom dowodów C). Podobne rekomendacje dotyczą chorych poddawanych zabiegom pośredniego ryzyka. Biorąc pod uwagę małe ryzyko incydentów u chorych kierowanych do zabiegów niskiego ryzyka, rutynowe badania z użyciem nieinwazyjnych testów obciążeniowych nie są zalecane w tej grupie (klasa III, poziom dowodów C) [23].

Preferowaną metodą jest echokardiografia obciążeniowa wysiłkowa. U pacjentów z ograniczoną zdolnością wykonania wysiłku najczęściej wykonuje się echokardiografię obciążeniową z użyciem dobutaminy (DSE) [23,24,25]. Echokardiografia obciążeniowa ma wysoką negatywną wartość predykcyjną, stąd wynik ujemny testu wskazuje na bardzo niskie ryzyko incydentu sercowego u chorego poddanego zabiegowi pozasercowemu.

Piśmiennictwo:

1. Płońska-Gościniak E, Kasprzak JD, Olędzki S i wsp. Polish Stress Echocardiography Registry (Pol-STRESS registry) - a multicentre study. Stress echocardiography in Poland: numbers, settings, results, and complications. *Kardiol Pol.* 2017; 75: 922-930.
2. Lancellotti P, Płońska-Gościniak E, Garbi M i wsp. Cardiovascular imaging practice in Europe: a report from the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2015; 16: 697-702.
3. Lancellotti P, Pellikka PA, Budts W i wsp. The clinical use of stress echocardiography in non-ischaemic heart disease: recommendations from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2016; 17: 1191-1229.
4. Płońska Gościniak E, Gackowski A, Gašior Z i wsp. Echocardiography Working Group of the Polish Cardiac Society. Recommendations of the Echocardiography Working Group of the Polish Cardiac Society for stress echocardiography use in clinical practice 2011. *Kardiol Pol.* 2011; 69: 642-648.
5. Sicari R, Nihoyannopoulos P, Evangelista A i wsp. European Association of Echocardiography. Stress echocardiography expert consensus statement: European Association of Echocardiography (EAE). *Eur J Echocardiogr.* 2008; 9: 415-437.
6. Baumgartner H, Falk V, Bax JJ i wsp. ESC Scientific Document Group. 2017 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J.* 2017; 38: 2739-2791.
7. Lancellotti P, Dulgheru R, Go YY i wsp. Stress echocardiography in patients with native valvular heart disease. *Heart.* 2018; 104: 807-813.

8. Kane GC, Hepinstall MJ, Kidd GM i wsp. Safety of stress echocardiography supervised by registered nurses: results of a 2-year audit of 15,404 patients. *J Am Soc Echocardiogr* 2008; 21: 337–341.
9. Fennich N, Ellouali F, Abdelali S i wsp. Stress echocardiography: safety and tolerability. *Cardiovascular Ultrasound* 2013; 11: 30.
10. Baumgartner H Chair, Hung J Co-Chair, Bermejo J i wsp. Recommendations on the echocardiographic assessment of aortic valve stenosis: a focused update from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2017; 18: 254-275.
11. Chambers JB, Garbi M, Nieman K i wsp. Appropriateness criteria for the use of cardiovascular imaging in heart valve disease in adults: a European Association of Cardiovascular Imaging report of literature review and current practice. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2017; 18: 489-498.
12. Clavel MA, Burwash IG, Pibarot P. Cardiac Imaging for Assessing Low-Gradient Severe Aortic Stenosis. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2017; 10: 185-202.
13. Annabi MS, Clisson M, Clavel MA, Pibarot P. Workup and Management of Patients With Paradoxical Low-Flow, Low-Gradient Aortic Stenosis. *Curr Treat Options Cardiovasc Med*. 2018; 20: 49.
14. Chahal NS, Drakopoulou M, Gonzalez-Gonzalez AM i wsp. Resting aortic valve area at normal transaortic flow rate reflects true valve area in suspected low-gradient severe aortic stenosis. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2015; 8: 1133-1139.

15. Marechaux S, Hachicha Z, Bellouin A i wsp. Usefulness of exercise-stress echocardiography for risk stratification of true asymptomatic patients with aortic valve stenosis. *Eur Heart J* 2010; 31: 1390-1397.
16. Clavel MA, Ennezat PV, Marechaux S i wsp. Stress echocardiography to assess stenosis severity and predict outcome in patients with paradoxical low-flow, low-gradient aortic stenosis and preserved LVEF. *JACC Cardiovasc Imaging* 2013; 6: 175-183.
17. Lancellotti P, Pibarot P, Chambers J i wsp. Recommendations for the imaging assessment of prosthetic heart valves: a report from the European Association of Cardiovascular Imaging endorsed by the Chinese Society of Echocardiography, the Inter-American Society of Echocardiography, and the Brazilian Department of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2016; 17: 589-590.
18. Picano E, Pellikka PA: Stress echo applications beyond coronary artery disease. *Eur Heart J* 2014; 35: 1033-1040.
19. Lech AK, Dobrowolski PP, Klisiewicz A, Hoffman P. Exercise-induced changes in left ventricular global longitudinal strain in asymptomatic severe aortic stenosis. *Kardiol Pol* 2017;75:143-149.
20. Donal E, Thebault C, O'Connor K, . et al. Impact of aortic stenosis on longitudinal myocardial deformation during exercise. *Eur J Echocardiogr* 2011; 12: 235-241.
21. Levy-Neuman S, Meledin G, Gandelman G i wsp. The association between longitudinal strain at rest and stress and outcome in asymptomatic patients with moderate and severe aortic stenosis. *J Am Soc Echocardiogr*. 2019; 32: 722-729.
22. Magne J, Mahjoub H, Dulgheru R i wsp. Left ventricular contractile reserve in asymptomatic primary mitral regurgitation. *Eur Heart J*. 2014; 35: 1608-1616.

23. Kristensen SD, Knuuti J, Saraste A i wsp. Authors/Task Force Members. 2014 ESC/ESA Guidelines on non-cardiac surgery: cardiovascular assessment and management: The Joint Task Force on non-cardiac surgery: cardiovascular assessment and management of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Society of Anaesthesiology (ESA). *Eur Heart J*. 2014; 35: 2383-2431.
24. Fleisher LA. Cardiac risk stratification for noncardiac surgery: update from the American College of Cardiology/American Heart Association 2007 guidelines. *Cleve Clin J Med* 2009; 76 Suppl 4: S9-15.
25. Pannell LM, Reyes EM, Underwood SR. Cardiac risk assessment before non-cardiac surgery. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2013; 14: 316-322.

Tabela 1. Parametry echokardiograficzne oceniane w czasie ESE u pacjentów z ciężką AAS

Sekwencja akwizycji obrazów 2D i danych dopplerowskich	Etapy akwizycji obrazów 2D i danych dopplerowskich	Wynik ESE	Wnioski do raportu po wykonaniu ESE
<p>Rejestracja:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2D LV w projekcjach koniuszkowych - doplerem kolorowym MR, TR - doplerem fali ciągłej TR (do kalkulacji SPAP) oraz prędkości przepływu przez zastawkę aortalną (do kalkulacji MG) - doplerem pulsacyjnym prędkości w LVOT 	<ul style="list-style-type: none"> - w spoczynku - podczas obciążenia małym wysiłkiem - podczas obciążenia maksymalnego 	<p>wystąpienie objawów</p> <p>± spadek/brak wzrostu LVEF i/lub GLS</p> <p>± wystąpienie odcinkowych zaburzeń kurczliwości</p> <p>±wzrost SPAP</p> <p>± pojawienie się/nasilenie MR</p> <p>±wzrost MG</p> <p>± dla paradoksalnej LF</p> <p>LG AS AVA proj \leq/\gt 1,0 cm²</p>	<p>Ciężka AS z objawami w trakcie wysiłku/SPAP/ czynnościową MR/brakiem rezerwy kurczliwości/ indukowanym wysiłkiem niedokrwieniem/niepodatną na przepływ zastawką</p>
<p>2D – dwuwymiarowa; AVA proj – przewidywane pole powierzchni zastawki aortalnej; ESE - wysiłkowa echokardiografia obciążeniowa; GLS – globalne odkształcenie podłużne; LV – lewa komora; LVEF – frakcja wyrzutowa lewej komory; LVOT – droga odpływu lewej komory; LF LG AS – stenoza aortalna z</p>			

niskim przepływem, niskim gradientem i zachowaną LVEF; MG – średni gradient przez zastawkę aortalną; MR – niedomykalność mitralna, SPAP – skurczowe ciśnienie w tętnicy płucnej; TR – niedomykalność trójdzielna

Tabela 2. Kryteria nieprawidłowego wyniku ESE i wartości progowe parametrów echokardiograficznych niekorzystnego rokowania u pacjentów z ciężką AAS [3, 7, 16].

- Objawy: stenokardia, duszność, zawroty głowy, omdlenie, stan przedomdleniowy, zmęczenie przy niskim obciążeniu

- Niedokrwienie:
 - a. ≥ 2 mm obniżenia odcinka ST w porównaniu z badaniem wyjściowym
 - b. pojawienie się lub nasilenie odcinkowych zaburzeń kurczliwości

- Zaburzenia rytmu serca (nieutrwalony i/lub utrwalony częstoskurcz komorowy).

- Kryteria niekorzystnego rokowania:
 - a) dla HG AS: istotny ($>18-20$ mm Hg) przyrost MG, pogorszenie funkcji skurczowej LV, brak rezerwy skurczowej LV ($\Delta EF < 5\%$) oraz wystąpienie wysiłkowego SPAP > 60 mmHg
 - b) dla paradoksalnej LF LG AS: istotny wzrost MG (do wartości $> 30-40$ mm Hg) wzrost MG z AVA proj ≤ 1 cm², pogorszenia funkcji skurczowej LV oraz wystąpienie wysiłkowego SPAP > 60 mmHg)

AAS – bezobjawowa stenoza aortalna; AVA proj – przewidywane pole powierzchni zastawki aortalnej; ESE – wysiłkowa echokardiografia obciążeniowa, HG AS – stenoza aortalna wysokogradientowa; LV – komora lewa; LF LG AS – stenoza aortalna z niskim rzutem, niskim gradientem i zachowaną frakcją wyrzutową; MG - gradient średni; SPAP – skurczowe ciśnienie w tętnicy płucnej

Tabela 3. Decyzje terapeutyczne u pacjentów z ciężką AAS poddanych badaniu wysiłkowemu [3,6,15].

SAVR jest zalecana u pacjentów z ciężką AAS i nieprawidłowym wynikiem ET, w którym udokumentowano objawy w trakcie wysiłku wyraźnie wynikające z wady (IC)
Należy rozważyć SAVR u pacjentów z ciężką AAS i nieprawidłowym wynikiem ET, w którym udokumentowano spadek ciśnienia tętniczego poniżej wartości wyjściowych (IIa C)
Wydaje się, że pacjenci z ciężką AAS i indukowanym wysiłkiem wzrostem SPAP lub ograniczoną rezerwą kurczliwości (Δ LVEF < 5%) wymagają większego nadzoru klinicznego i echokardiograficznego
Obecność czynników predykcyjnych szybkiego pojawienia się objawów i niekorzystnego rokowania może uzasadniać decyzję o przeprowadzeniu wczesnej SAVR u pacjentów z ciężką AAS, zwłaszcza jeśli ryzyko operacyjne jest niskie. Do takich czynników należy zwiększenie MG w trakcie wysiłku > 20 mm Hg [3,6]

Tabela 4. Diagnostyczne punkty końcowe oraz przyczyny przerwania testu.

Diagnostyczne punkty końcowe	Przyczyny przerwania testu
Maksymalna dawka dobutaminy (dotyczy jednoczesowej oceny MR i rezerwy kurczliwej)	Objawy podmiotowe: zmęczenie mięśni, duszność, stenokardia
Maksymalne tolerowane obciążenie wysiłkiem	Niedokrwienie (obniżenia ST o > 2 mm w porównaniu z badaniem wyjściowym)
Docelowa częstość rytmu serca	Nadciśnienie tętnicze (220/120 mm Hg) lub objawowa hipotonia (spadek o >40 mmHg)
Indukcja dużego nadciśnienia płucnego, RVSP >60 mmHg	Nowe zaburzenia kurczliwości odcinkowej
Indukcja ciężkiej MR	Arytmie (VT, SVT, AF, liczna ektopia komorowa)

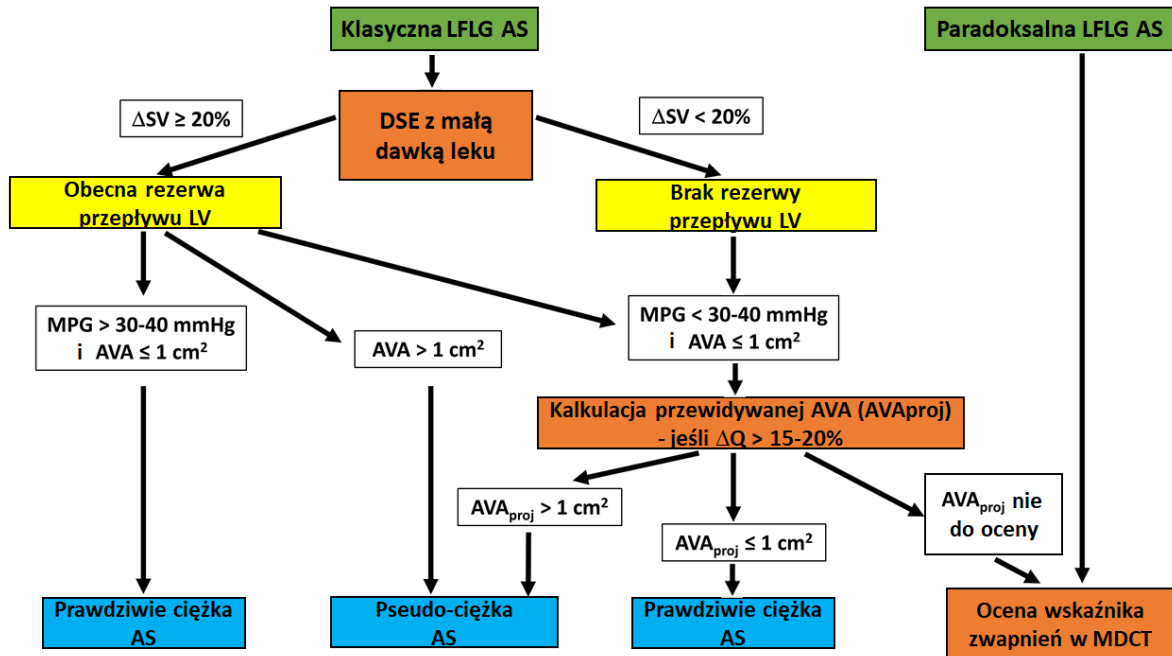
Tabela 5. Najczęstsze wskazania do wykonania badania wysiłkowego chorego z niedomykalnością mitralną w zależności od jej etiologii

NM funkcjonalna	NM organiczna
KMP niedokrwienna: Ocena wskazań do jednoczesowej rewaskularyzacji m. sercowego i naprawy/wymiany zastawki mitralnej	Chorzy bezobjawowi, Ocena zaawansowania wady, ustalenie optymalnego czasu leczenia k-chirurgicznego,
KMP przerostowa Ocena stopnia NM i wskazań do leczenia k-chirurgicznego współistniejącej NM	Chore bezobjawowe przed planowaną ciążą, Ocena zaawansowania wady, ustalenie optymalnego czasu leczenia k-chirurgicznego
Diagnostyka napadowej nocnej duszności , diagnostyka spadku tolerancji wysiłku u chorego ze średnią NM	Chorzy objawowi ze średnią NM, ocena zaawansowania wady i tolerancji wysiłku i sercowej przyczyny duszności

Tabela 6. Kryteria rozpoznania istotnej klinicznie MS na podstawie wartości MPG w SE

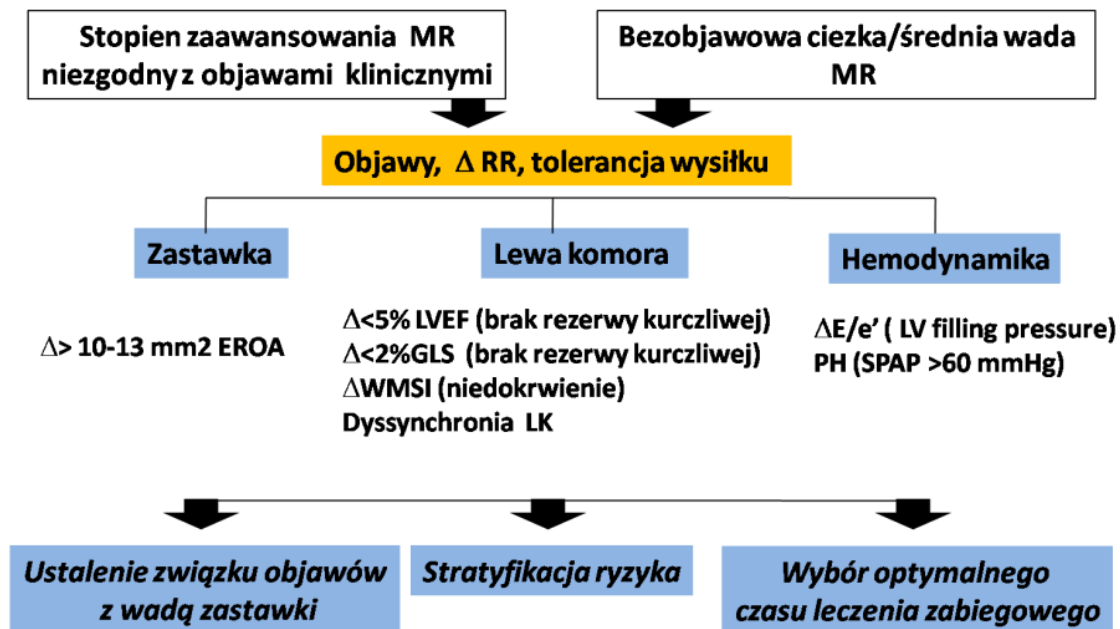
[3,17]

Sytuacja kliniczna	Punkt odcięcia
Zwężenie zastawki natywnej	Wartość bezwzględna MPG – w zależności od stresora: > 15 mmHg (ESE) > 18 mmHg (DSE)
Podjęzanie PPM lub dysfunkcji protezy	Przyrost MPG – w zależności od źródła rekomendacji: > 10 mmHg [3] > 12 mmHg [17]
Czynnościowa MS po naprawie MV	Przyrost MPG: > 7 mmHg

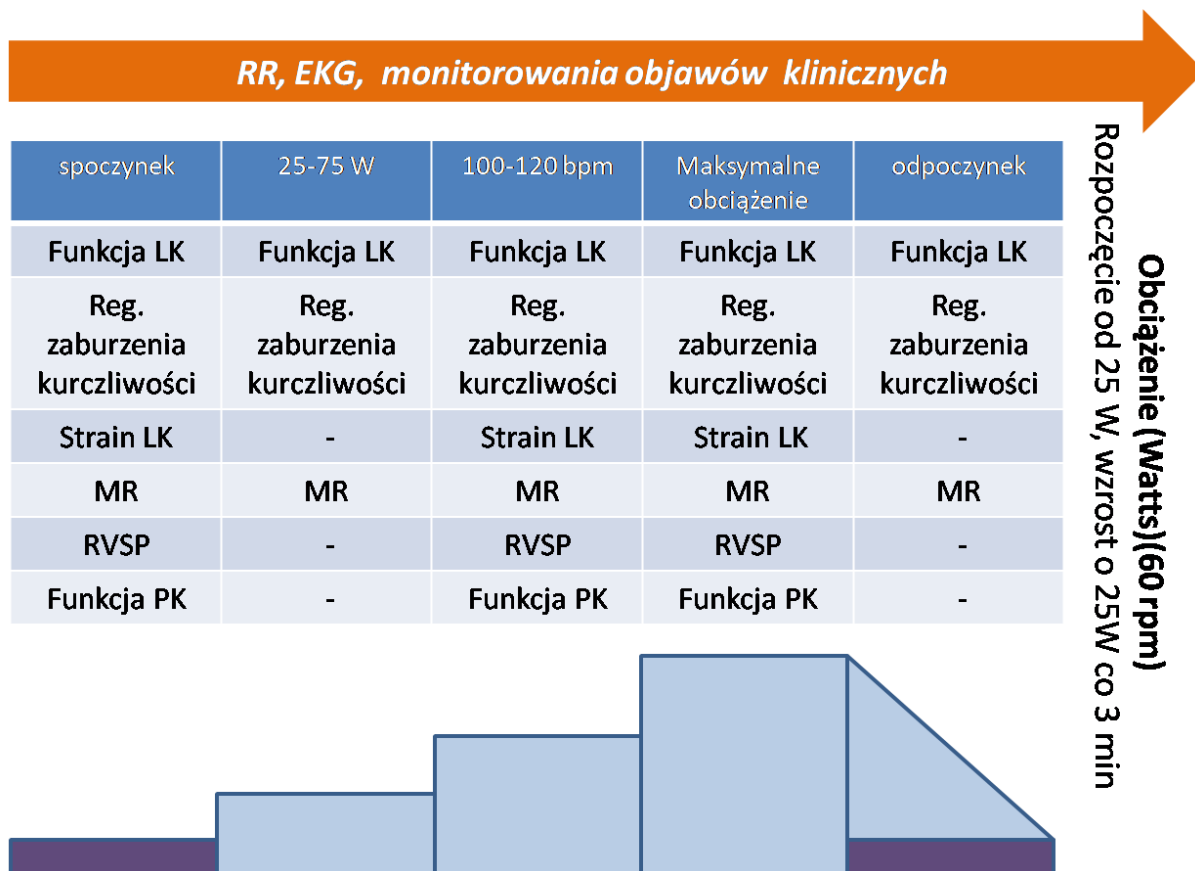


Rycina 1. Strategia różnicowania pomiędzy prawdziwie ciężkim a pseudo-ciężkim niskoprzepływowym, niskogradentowym zwężeniem zastawki aortalnej za pomocą DSE i MDCT.

Podpis: AS = stenoz aortalna; AVA = pole zastawki aortalnej; DSE = echokardiograficzna próba dobutaminowa; LFLG = niskoprzepływowa, niskogradentowa; LV = lewa komora; MDCT = wielorzędowa tomografia komputerowa; MPG = średni gradient przez zastawkowy; SV = objętość wyrzutowa.



Rycina 2. Wskazania, interpretacja badania i podstawowe cele obciążenia wysiłkiem /dobutaminą chorego z niedomykalnością mitralną. Indywidualnej ocenie podlega funkcja samej zastawki, funkcja lewej i prawej komory oraz konsekwencje hemodynamiczne wady [3].



Rycina 3. Protokół badania obciążeniowego wysiłkowego z wykorzystaniem ergometru rowerowego lub bieżni ruchomej u chorego z niedomykalnością mitralną. Funkcja globalna i regionalna LK, wielkość niedomykalności mitralnej monitorowane są przez cały czas trwania testu. Funkcja PK, RVSP, strainu LK oceniane są w spoczynku oraz na szczycie obciążenia.