

Echokardiografia dziecięca w praktyce klinicznej. Rekomendacje 2012 Sekcji Echokardiografii Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego

Paediatric echocardiography in clinical practice. 2012 Recommendations
of the Echocardiography Working Group of the Polish Cardiac Society

Aldona Siwińska¹, Bożena Werner², Andrzej Rudziński³, Wanda Kawalec⁴, Jadwiga Moll⁵,
Lesław Szydłowski⁶, Jerzy Stańczyk⁷, Jarosław D. Kasprzak⁸, Zbigniew Gąsior⁹, Edyta Płońska-Gościński¹⁰

¹Klinika Kardiologii Dziecięcej, I Katedra Pediatrii, Uniwersytet Medyczny, Poznań

²Klinika Kardiologii Wieku Dziecięcego i Pediatrii Ogólnej, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Warszawa

³Klinika Kardiologii Dziecięcej, Uniwersytet Jagielloński, Kraków

⁴Klinika Kardiologii, Instytut „Pomnik Centrum Zdrowia Dziecka”, Warszawa

⁵Klinika Kardiologii Dziecięcej, Instytut Centrum Zdrowia Matki Polki, Łódź

⁶Katedra i Klinika Kardiologii Dziecięcej, Śląski Uniwersytet Medyczny, Katowice

⁷Klinika Kardiologii i Reumatologii Dziecięcej, Uniwersytet Medyczny, Łódź

⁸Klinika Kardiologii, Uniwersytet Medyczny, Łódź

⁹Klinika Kardiologii, Śląski Uniwersytet Medyczny, Katowice

¹⁰Klinika Kardiologii, Pomorski Uniwersytet Medyczny, Szczecin

Abstract

Echocardiography has become the primary imaging tool in the diagnosis and assessment of cardiological disorders in children. The purposes of this paper are to describe indications for paediatric echocardiography, define optimal instrumentation and laboratory setup for paediatric echocardiographic examinations and establish a baseline list of recommended measurements to be performed in a complete paediatric echocardiogram.

Key words: echocardiography, children, clinical praxis

Kardiol Pol 2012; 70, 6: 632–640

WSTĘP

Badanie echokardiograficzne zajmuje szczególne miejsce w diagnostyce kardiologicznej u dzieci. Powinno je poprzedzać pełne badanie podmiotowe i przedmiotowe dziecka. Uzyskanie diagnostycznego obrazu echokardiograficznego jest u nich zwykle łatwiejsze niż u dorosłych, zwłaszcza u noworodków i niemowląt. U najmłodszych pacjentów okno echokardiograficzne (obszar, na którym serce przylega bezpośrednio do klatki piersiowej) jest duże z powodu szerokiego śródpiersia, co jest spowodowane występowaniem większej niż u dorosłych grasicy, a także nieskostniałych mostka i żeber. Istotny jest także

fakt, że badanie echokardiograficzne może być wykonane natychmiast, przy łóżku chorego dziecka, a uzyskane wyniki najczęściej są wystarczające do ustalenia rozpoznania i podjęcia decyzji dotyczącej sposobu postępowania.

W pracowniach echokardiografii pediatricznej muszą być wykonywane badania w całej populacji dziecięcej, tj. od 0 do 18 rż., a w pracowniach kardiologii prenatalnej badania układu sercowo-naczyniowego u płodów. Lekarzom wykonującym te badania stawia się wymagania znajomości stosowanych technik echokardiograficznych, fizjologii krążenia w okresie prenatalnym i po urodzeniu oraz wrodzonych i na-

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

bytych wad, a także chorób układu sercowo-naczyniowego i wynikających z nich zaburzeń hemodynamicznych [1, 2].

Kompleksowa echokardiograficzna ocena serca uwzględnia informacje uzyskane z różnych technik badania echokardiograficznego — badanie w prezentacji M, dwuwymiarowej (2D) oraz ocenę przepływów metodą Dopplera, z użyciem fali pulsacyjnej, ciągłej, kodowanej kolorem, a także doplera tkankowego [2–6]. Coraz większe znaczenie w diagnostyce echokardiograficznej u dzieci odgrywa badanie 3D, zwłaszcza w diagnostyce wrodzonych wad serca [7–9].

W pracowniach echokardiografii pediatrycznej o najwyższym stopniu referencyjności wykonuje się również echokardiograficzne badania przezprzełykowe, diagnostyczne i monitorujące zabiegi interwencyjne oraz kardiochirurgiczne, a także badania śródsercowe i obciążeniowe („stres echo”).

WYMAGANIA WOBEC PRACOWNI ECHOKARDIOGRAFII DZIECIĘCEJ

Pracownie echokardiograficzne dzielą się na trzy klasy: A, B, C, zgodnie ze Standardami Echokardiografii Klinicznej SEPTK, przyjętymi przez Zarząd Główny Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego i opublikowanymi w Kardiologii Polskiej z aktualizującymi je modyfikacjami [2]. Każda pracownia echokardiografii powinna być kierowana przez lekarza posiadającego akredytację SEPTK. Pomieszczenie powinno spełniać normy BHP w zakresie klimatyzacji i zaciemnienia. Optymalnie w skład pracowni powinien wchodzić oddzielny pokój, w którym badania byłyby analizowane i konsultowane. W celu zapewnienia odpowiedniej jakości aparat powinien być systematycznie konserwowany i raz do roku serwisowany. Badanie echokardiograficzne musi być rejestrowane w zakresie odpowiadającym ostatecznym wnioskom i archiwizowane. Na standardowe badanie przezklatkowe należy zarezerwować nie mniej niż 30 min, a na złożone, nie mniej niż 50 min. Badania przezprzełykowe i obciążeniowe wymagają, wraz z przygotowaniem pacjenta i sprzętu, minimum 60 min. Ze względu na brak standardów szkolenia techników sonografistów w naszym kraju badanie powinien wykonywać i interpretować lekarz kardiolog dziecięcy/pediatra-kardiolog lub pediatra po szkoleniu odpowiadającym wymogom akredytacyjnym. Kwalifikacje operatora są określone w zasadach akredytacji indywidualnej Sekcji Echokardiografii PTK [2, 10].

PRZYGOTOWANIE DZIECKA DO BADANIA ECHOKARDIOGRAFICZNEGO

Na badanie echokardiograficzne jest wymagana zgoda opiekunów prawnych, a w przypadku pacjenta powyżej 16 r. również jego zgoda. Należy szczegółowo poinformować rodziców o celu i zakresie badania, a dziecku przekazać informację o badaniu w sposób odpowiedni do jego wieku.

- Badany noworodek jest zazwyczaj w cieplarni lub inkubatorze. Musi być swobodny dostęp do klatki piersiowej i możliwość manewrowania głowicą. W miejscach jej przykładania nie należy umieszczać elektrod EKG. Jeżeli wcześniej

założono elektrody do EKG w obrębie okna echokardiograficznego, należy je usunąć na tyle wcześniej, aby zapobiec rozdrażnieniu dziecka w czasie ich zdejmowania.

- Noworodki i niemowlęta powinny być badane na czczo, a nie bezpośrednio po karmieniu, ponieważ uciskiem głowicy można spowodować wymioty, szczególnie jeżeli jest ona umieszczona w dołku podsercowym.
- Obecność infekcyjnych zmian skórnych wymaga założenia na głowicę jałowej osłonki i jej usunięcia po badaniu do pojemnika z materiałem zakaźnym.
- Dziecko powinno być spokojne w trakcie badania. W przypadku małych dzieci najlepiej gdy badanie jest wykonywane we śnie. W razie niepokoju dziecko wymaga płytkiej sedacji.
- Rodzice powinni być obecni przy badaniu i powinni przynieść ulubione przez dziecko zabawki, książeczki itd.
- Żel do badania powinien być ciepły i hipoalergiczny oraz spełniać wymogi bakteriologiczne. Zaleca się stosowanie jedynie takich substancji, które posiadają atest i spełniają normy bezpieczeństwa.
- Starsze dzieci mają prawo do intymności podczas badania i powinny mieć ją zapewnioną. Należy dołożyć wszelkich starań, aby badanie przeprowadzić bez zbędnego odkrywania ciała i obecności osób postronnych. Zawsze należy szczegółowo poinformować młodocianą/młodocianego o celu i zakresie badania. Wskazane jest, aby odbywało się ono w obecności opiekunów prawnych.
- Przed badaniem należy zdjąć dziecku naszyjnik, łańcuszki i inne przedmioty w celu ułatwienia dostępu do okna akustycznego.

ZASADY STOSOWANIA SEDACJI W TRAKCIE BADANIA ECHOKARDIOGRAFICZNEGO

U niemowląt i małych dzieci przeprowadzenie diagnostycznego badania echokardiograficznego może być trudne lub wręcz niemożliwe ze względu na niepokój dziecka. Jeżeli niemożliwe jest właściwe przygotowanie psychologiczne dziecka lub nie daje ono pożądanego wyniku, należy zastosować płytką sedację. Według zalecenia Specjalisty Krajowego w dziedzinie pediatrii oraz Sekcji Pediatrycznej Polskiego Towarzystwa Anestezjologii i Intensywnej Terapii z 1999 r. płytką sedację może wykonać każdy lekarz pediatra, natomiast sedacja głęboka wymaga udziału anestezjologa [11, 12].

Lekarz przeprowadzający sedację płytką musi znać zasady reanimacji krążeniowo-oddechowej. Lekarz zlecający sedację płytką powinien zebrać wywiad i zbadać dziecko. Powinien także poinformować prawnych opiekunów o planowanym badaniu. Dziecko powinno pozostawać na czczo przez 4–6 h. Dozwolone jest podanie do picia jedynie niewielkiej ilości czystych płynów najpóźniej 2 h przed sedacją. Czynniki, które zwiększają ryzyko sedacji, są wiek do 12 miesięcy i choroby współistniejące. Przy zwiększonym ryzyku powikłań (niewydolność oddechowa, zaburzenia czynności nerek lub wątroby, drgawki lub choroby układu) sedację powinien wykonać anestezjolog. Miejsce, w któ-

rym wykonuje się sedację, powinno być wyposażone w źródło tlenu, urządzenie do odsysania, zestaw do intubacji, rurki dotchawicze i ustno-gardłowe, sprzęt jednorazowy (kaniule dożylnie, cewniki do odsysania), worek samorozprężalny, leki konieczne do prowadzenia reanimacji [11, 12]. Monitorowanie przebiegu sedacji obejmuje: monitorowanie stanu klinicznego (częstotliwość oddechów, kolor skóry i błon śluzowych), pomiar ciśnienia tętniczego, pulsoksymetrię. Sedację można uznać za zakończoną, gdy wartości parametrów krążeniowo-oddechowych są prawidłowe, drogi oddechowe drożne, odruchy obronne sprawne, a dziecko jest wybudzone i może (jeśli pozwala na to wiek) siedzieć i mówić. W tym stanie dziecko można przekazać rodzicom i może ono przebywać w domu pod ich opieką. Zabieg i zastosowanie sedacji płytkiej należy odnotować w dokumentacji medycznej chorego. Na przeprowadzenie sedacji prawni opiekunowie dziecka powinni wyrazić zgodę na piśmie.

Najczęściej stosowanymi lekami są [12–17]:

- midazolam: • Noworodki i niemowlęta do 6. miesiąca życia: jednorazowo 0,04–0,1 mg/kg/d. (mg/kg/dawkę). • Dzieci w wieku od 6 miesięcy do 5 lat: dożylnie 0,05–0,1 mg/kg/d., maks. 0,6 mg/kg/d., nie należy przekraczać dawki 6 mg, niezależnie od masy ciała, doustnie: 0,5 mg/kg/d., doodbytniczo przez specjalny aplikator 0,35–0,45 mg/kg/d. • Dzieci w wieku 5–12 lat: dożylnie 0,025–0,05 mg/kg/d., maks. 0,4 mg/kg/d., nie należy przekraczać dawki 10 mg, niezależnie od masy ciała, doustnie 0,5 mg/kg/d., doodbytniczo 0,35–0,45 mg/kg/d. • Dzieci w wieku 12–16 lat: początkowa dawka powoli dożylnie 2,5 mg, kolejne dawki 1 mg. Dawka maks. niezależnie od masy ciała wynosi 10 mg. U dzieci chorych przy podawaniu dożylnym dawka początkowa wynosi 1–1,5 mg, a kolejne dawki po 1 mg, do maks. dawki 3,5 mg, doustnie 0,5 mg/kg/d., doodbytniczo 0,35–0,45 mg/kg/d.;
- wodzian chloralu: doustnie lub doodbytniczo 20–75 mg/kg/d., maks. do 1 g, na 30–60 min przed planowanym badaniem lub zabiegiem;
- thiopental: w postaci wlewki doodbytniczej (roztwór maks. 10%) lub czopków 20–40 mg/kg/d.;
- phenobarbital: doustnie lub doodbytniczo: 2–3 mg/kg/d.; Można także zastosować sedację dożylną, używając następujących leków: ketamina 1–2 mg/kg/d., propofol 2–2,5 mg/kg/d. lub tiopental 2–3 mg/kg/d., phenobarbital 1–6 mg/kg/d.

Alternatywą dla znieczulenia dożylnego jest znieczulenie wziewne z użyciem sewofluranu (4–7v%) podawanego przez maskę twarzową.

Znieczulenie dożylnie i wziewne za pomocą powyższych leków są przeprowadzane z utrzymaniem oddechu własnego pacjenta, bez używania oddechu zastępczego i intubacji dotchawiczej.

WYTYCZNE DOTYCZĄCE OPISU BADANIA ECHOKARDIOGRAFICZNEGO U DZIECI (SCHEMAT OPISU)

Wynik badania echokardiograficznego powinien zawierać: informację o pracowni i aparaturze, za pomocą której wyko-

nano badanie, datę badania, dane personalne pacjenta, wstępne rozpoznanie i opis badania z wnioskami. Wynik powinien zostać opatrzony podpisem i pieczęcią lekarza, który wykonał badanie. W opisie badania należy ocenić następujące parametry [1, 6, 18–20]:

- położenie przedsionków i ich budowę;
- wzajemne połączenia przedsionkowo-komorowe i komorowo-naczyniowe;
- wielkość jam serca, porównując z normami (prawidłowe, powiększone, poniżej normy). Należy podać wymiary lewej komory (LV): w rozkurczu (LVDd) i w skurczu (LVSD), grubość przegrody międzykomorowej w rozkurczu (IVSD) i tylnej ściany lewej komory w rozkurczu (PWLVD) w badaniu M-mode. W przypadku przerostu przegrody międzykomorowej należy podać, czy jest to przerost koncentryczny, czy asymetryczny. Jeśli ruch przegrody międzykomorowej jest nieprawidłowy, trzeba określić, czy jest paradoksalny, hypokinetyczny, inny;
- czynność skurczową i rozkurczową LV — minimalną wartość frakcji wyrzutowej i frakcji skracania LV w badaniu M-mode oraz wartości liczbowe stosunku prędkości E/A i czasu deceleracji fali E z profilu mitralnego oraz czasu rozkurczu izowolumetrycznego (IVRT). W przypadku zaburzeń kurczliwości odcinkowej należy opisać, których segmentów dotyczą i obliczyć frakcję wyrzutową na podstawie badania dwuwymiarowego (zalecana metoda Simpsona). W przypadku dysfunkcji rozkurczowej należy określić rodzaj zaburzeń (zaburzenia relaksacji, napływ pseudonormalny, restrykcyjny) i podać wartości liczbowe stosunku prędkości E/A oraz czasu deceleracji fali E z profilu mitralnego, czasu rozkurczu izowolumetrycznego (IVRT) i stosunku fali prędkości fal S/D, a także prędkości fali wstępnego przepływu (Ar) w żyłach płucnych i czasu przepływu w żyłach płucnych w czasie skurczu przedsionka;
- spływ żył systemowych i płucnych;
- ciągłość przegród serca, a w przypadku obecności ubytków przegród ocenić ich średnicę i lokalizację oraz zaburzenia hemodynamiczne — powiększenie jam serca, poszerzenie pnia płucnego, oszacować ciśnienie w prawej komorze (RV), ocenić profil krzywej przepływu w pniu płucnym, obliczyć stosunek przepływu płucnego do systemowego;
- zastawki przedsionkowo-komorowe oraz dużych tętnic z oceną morfologii płatków, obecności ewentualnych zwąpień lub wypadania i aparatu podzastawkowego. W przypadku rejestracji fali zwrotnej przez zastawkę trzeba podać jej prędkość, obliczyć gradient ciśnień między sąsiadującymi jamami, ocenić stopień niedomykalności. W przypadku zwężeń zastawek należy podać maksymalny i średni gradient ciśnień przez zastawkę, średnicę pierścienia, w przypadku zastawki mitralnej, trójdzielnej i aortalnej pole powierzchni otwarcia zastawki;
- odejście i początkowy odcinek tętnic wieńcowych;

- łuk aorty (lewostronny, prawostronny, zwężenia), ewentualne inne zmiany morfologii;
- osierdzie (bez zmian, pogrubienie, zwapnienia, separacja blaszek, płyn).

Wynik badania powinien zawierać wnioski oraz komentarz z wyszczególnieniem nieprawidłowości. Należy go zamieścić w dokumentacji pacjenta hospitalizowanego, natomiast pacjent badany ambulatoryjnie powinien otrzymać opis badania z wnioskiem diagnostycznym. Wskazane jest również wpisanie wniosku diagnostycznego do Książeczki Zdrowia Dziecka.

ECHOKARDIOGRAFIA PRZEZKŁATKOWA

Technika badania przezklatkowego u małego dziecka znacznie różni się od badania osoby dorosłej. Badanie przeprowadza się głowicami o większej częstotliwości emitowania fal ultradźwiękowych. Należy podłączyć elektrody do EKG, unikając miejsc, gdzie będzie przykładana głowica echokardiograficzna. Dziecko powinno leżeć na plecach i/lub na lewym boku. U dzieci obowiązuje zasada analizy segmentowej, wymagającej wizualizacji każdej struktury serca i naczyń w logicznym ciągu: żyła główna górna i dolna, prawy przedsionek (RA), zatoka wieńcowa, przegroda międzyprzedsionkowa, zastawka trójdzielna, RV, odpływ z RV, tętnica płucna, żyły płucne, lewy przedsionek (LA), zastawka dwudzielna, LV, przegroda międzykomorowa, tętnice wieńcowe, aorta na całym przebiegu, naczynia odchodzące od łuku. Analizy dokonuje się, stosując odpowiednie standardowe lub inne niezbędne projekcje.

Projekcje badania echokardiograficznego u dzieci nie różnią się w zasadniczy sposób od stosowanych u dorosłych. U małych dzieci głowicę przykładają się zwykle o jedną przestrzeń międzyżebrową wyżej, co wiąże się z innym położeniem serca w klatce piersiowej. Rutynowo stosuje się projekcje podmostkowe w celu uwidocznienia żyły głównej dolnej i aorty w stosunku do kręgosłupa, co pozwala na ocenę położenia przedsionków. Rotowanie głowicy pozwala na ocenę żył wątrobowych, aorty brzusznej i piersiowej, żyły głównej dolnej i górnej, spływu żył płucnych, przegrody międzyprzedsionkowej i międzykomorowej, przedsionków, zastawek przedsionkowo-komorowych oraz komór i ich dróg odpływu. Z powierzchni klatki piersiowej należy uzyskać projekcje przymostkowe w osi długiej — LV, drogi napływu i odpływu RV, projekcje przymostkowe w osi krótkiej — LV na poziomie mięśni brodawkowatych i zastawki dwudzielnej oraz projekcję naczyniową, projekcje koniuszkowe — 4-jamową, 2-, 3- i 5-jamową. W projekcjach nadmostkowych należy zobrazować aortę w osi długiej i poprzecznej, żyłę główną górną i tętnice płucne.

Kolejność analizy przedstawionych etapów badania nie ma znaczenia, ważne jest natomiast, aby żaden punkt postępowania diagnostycznego nie został pominięty. W celu uzyskania informacji umożliwiających postawienie prawidłowej

diagnozy, należy korzystać z wszystkich dostępnych miejsc badania oraz ze wszystkich przekrojów.

Średnicę pierścieni zastawkowych mierzy się jako odległość wewnętrznych punktów przyczepu płatków w czasie otwarcia zastawki (dwudzielnej i trójdzielnej w fazie rozkurczu, aortalnej i płucnej w czasie skurczu serca). Pomiary wszystkich struktur serca u dzieci powinny być wyrażane również jako Z-score/BSA [1, 21–23].

Badanie echokardiograficzne jednowymiarowe (prezentacja M, M-mode) polega na rejestracji ruchu poszczególnych struktur serca znajdujących się na przebiegu wąskiej wiązki ultradźwięków. Przebieg wiązki jest sterowany badaniem dwuwymiarowym [1]. Pomiary wielkości LV i grubości ścian serca wykonuje się w projekcji przymostkowej w osi długiej LV, na poziomie nici ścięgniastych lub w osi krótkiej LV na wysokości maksymalnego wymiaru wewnętrznego LV. Wymiar poprzeczny LV, średnicę RV i grubość przedniej ściany RV, przegrody międzykomorowej i tylnej ściany LV mierzy się w końcowym okresie rozkurczu serca, z początkiem zespołu QRS, oraz w końcowym okresie skurczu, na końcu załamka T. Pomiar stosunku LA do aorty wykonuje się na poziomie płatków zastawki aortalnej. Średnicę aorty wstępującej mierzy się jako wymiar wewnętrzny, od jej przedniej do tylnej ściany w końcowym okresie rozkurczu serca, z początkiem zespołu QRS, wewnętrzny wymiar poprzeczny LA mierzy się w końcowym skurczu jako największą odległość od tylnej ściany aorty do tylnej ściany przedsionka. Zakres normy stosunku LA/Ao wynosi u dzieci 0,7–1,6 (śr. 1,1), frakcji skracania wymiaru poprzecznego LV (FS%) 28–44% (śr. 36%), a frakcji wyrzutowej LV (EF%) 64–83% (śr. 74%).

Normy echokardiograficzne u dzieci uwzględniają wiek, masę ciała i pole powierzchni ciała dziecka [20, 24–26]. U noworodków dokładniejsze jest posługiwanie się normami względem masy ciała, z uwagi na niewielkie w tym okresie życia zmiany pola powierzchni. U dzieci starszych jest preferowane posługiwanie się normami dotyczącymi pola powierzchni ciała [24].

Badanie dopplerowskie umożliwia ocenę kierunku i prędkości przepływu krwi w sercu i naczyniach. Rejestracja przepływów metodą kolorowego doplera umożliwia mapowanie prędkości krwi (dopler ciągły, dopler pulsacyjny) lub tkanek (dopler tkankowy) [1, 6]. Warunkiem rejestracji wiarygodnych przepływów krwi jest równoległy do przepływu przebieg wiązki ultradźwięków.

Badanie metodą fali ciągłej umożliwia rejestrację i pomiar dużych prędkości przepływu krwi do ok. 10 m/s. Użyte spektrum przedstawia prędkości mierzone wzdłuż całej osi badania, bez dokładnego sprecyzowania punktu pomiaru.

Badanie metodą fali pulsacyjnej umożliwia ustalenie z dokładnością do kilku milimetrów punktu pomiaru prędkości. Pomiar ograniczony jest tzw. limitem Nyquista — ok. 2 m/s. Dopplerowska ocena ilościowa obejmuje [1, 6]:

- ocenę różnicy ciśnienia (gradientu). Gradient ciśnienia można obliczyć na podstawie uproszczonego równania Bernoulliego wg wzoru: $\Delta P = 4 \times V^2$ (ΔP — gradient ciśnienia w mm Hg; V — prędkość przepływu w m/s);
- ocenę ciśnienia w RV i tętnicy płucnej. Najprostszym sposobem oceny ciśnienia skurczowego w RV jest określenie gradientu skurczowego między RV a RA z fali niedomykalności zastawki trójdzielnej: $CSPK = 4 V^2 + PP$ ($CSPK$ — ciśnienie skurczowe w RV; V — maks. szybkość fali niedomykalności zastawki trójdzielnej; PP — ciśnienie w RA, przyjmuje się, że w warunkach prawidłowych wynosi ono 5–10 mm Hg). Jeśli nie ma zwężenia drogi odpływu z RV, ciśnienie skurczowe w pniu płucnym jest takie samo jak w RV;
- stosunek przepływu płucnego i systemowego można orientacyjnie wyliczyć ze wzoru: $Qp/Qs = VTP:VAo \times dTP:dAo$ (VTP , VAo — maks. szybkość przepływu w tętnicy płucnej i aortie wstępującej; dTP , dAo — średnica tętnic płucnej i aorty wstępującej). Niewielki błąd popełniony w czasie pomiaru spowodować może istotny błąd ostatecznego wyniku.

ECHOKARDIOGRAFIA PRZEZPRZĘŁKOWA

Echokardiografia przezprzelykowa jest w praktyce pediatrycznej metodą uzupełniającą badanie przezklatkowe w przypadkach niedostatecznej jakości obrazowania i w wybranych sytuacjach klinicznych [27].

Badanie wykonuje się przy użyciu głowicy zapewniającej dobre warunki obrazowania, optymalnie wielopłaszczyznowej, w pracowni echokardiograficznej klasy C wyposażonej w sprzęt i leki do podjęcia akcji resuscytacyjnej przez lekarza posiadającego akredytację indywidualną lub pod jego nadzorem. U małych dzieci badanie wykonuje się w znieczuleniu ogólnym prowadzonym przez zespół anestezjologiczny. W przypadku starszych nastoletnich pacjentów wystarczające jest zwykle dożylnie podanie midazolamu w dawce 0,05–0,1 mg/kg/d. i miejscowe znieczulenie gardła 10% roztworem lignokainy w aerozolu [11, 12, 28].

Do wykonania badania konieczna jest pisemna zgoda opiekunów prawnych, a w przypadku pacjenta powyżej 16 rż. również jego zgoda. Pacjent do badania powinien być na czczo lub 4 h od ostatniego posiłku, z dostępem naczyniowym. Nie ma konieczności stosowania profilaktyki infekcyjnego zapalenia wsierdza. Przed badaniem należy zdezynfekować głowicę w sposób zalecany przez producenta i sprawdzić jej sprawność, kontrolując ciągłość powłoki oraz ruchomość końcówki przy użyciu pokręteł. Przed wprowadzeniem głowicę pokrywa się cienką warstwą lignokainy.

Standardowo stosuje się projekcje przeżołądkowe: podwypustową prawokomorową i lewokomorową, 5-jamową i przezprzelykowe: niską, środkową, wysoką i aortalną. Badanie zaczyna się od poprzecznej płaszczyzny obrazowania w celu uwidocznienia typowych dla danej projekcji struktury

serca, z następową optymalizacją obrazu przez zmianę kąta płaszczyzny i pozycji głowicy. Konieczne jest rejestrowanie obrazów oraz podanie w opisie badania zastosowanych projekcji i pozycji głowicy.

Podstawowym zastosowaniem echokardiografii przezprzelykowej u dzieci jest uzupełnienie badania przezklatkowego w przypadkach wątpliwości diagnostycznych, a także monitorowanie przeznaczeniowych zabiegów interwencyjnych, śródoperacyjna ocena funkcji zastawek przedsionkowo-komorowych i dużych naczyń po zabiegach naprawczych, resztkowych przecieków i funkcji komór oraz ocena pooperacyjna w przypadkach, gdy niemożliwe jest wykonanie badania przezklatkowego [29].

Bezwzględny przeciwwskazaniem do badania przezprzelykowego są: przetoka tchawiczoprzelykowa, zwężenie przelyku, zaburzenia oddychania i brak współpracy u pacjentów badanych bez sedacji. Do względnych przeciwwskazań należą: wcześniejsza operacja przelyku i możliwość rezydualnych zwężeń lub uchyłków przelyku, żyłaki przelyku, krwawienie z przelyku, ring naczyniowy lub inna patologia łuku aorty upośledzająca drożność dróg oddechowych, ciężka koagulopatia, uraz lub niestabilność kręgosłupa szyjnego.

ECHOKARDIOGRAFIA OBCIĄŻENIOWA

Echokardiografia obciążeniowa jest metodą służącą do oceny kurczliwości mięśnia sercowego w warunkach prowokujących potencjalne niedokrwienie [30, 31]. Najczęściej stosowaną formą obciążenia w testach echokardiograficznych jest wysiłek, środki farmakologiczne (dobutamina, dypirydamol) i stymulacja elektryczna. Ogólne zasady echokardiograficznego testu obciążeniowego są podobne niezależnie od rodzaju obciążenia i polegają na porównaniu kurczliwości mięśnia sercowego w spoczynku i w warunkach stopniowo zwiększanego obciążenia.

Badanie wykonuje się w pracowni wyposażonej w aparat echokardiograficzny umożliwiający dobrą wizualizację struktur serca, cyfrową rejestrację i analizę obrazów z poszczególnych etapów badania. Konieczne jest wyposażenie pracowni echokardiograficznej w sprzęt do zastosowania odpowiedniej formy obciążenia (cykloergometr, bieżnia, pompa infuzyjna, stymulator), monitorowania stanu pacjenta oraz sprzęt i leki do podjęcia reanimacji.

Na wykonanie badania konieczna jest zgoda opiekunów prawnych dziecka, a w przypadku pacjenta powyżej 16 rż. również jego zgoda. W każdym przypadku konieczne jest poinformowanie, na czym polega badanie, jaka może być reakcja ze strony układu sercowo-naczyniowego na zastosowane obciążenie, zwłaszcza podawane leki oraz jakie objawy są niepokojące. Pacjent do badania powinien być na czczo lub 4 h od ostatniego posiłku, z dostępem naczyniowym.

Podstawowym zastosowaniem echokardiografii obciążeniowej w kardiologii dziecięcej jest diagnostyka niedokrwienia w następstwie zaburzeń perfuzji wieńcowej u osób z [32–34]:

- wrodzonymi nieprawidłowościami odejścia i przebiegu tętnic wieńcowych;
- wrodzonymi lub nabytymi przetokami wieńcowymi;
- pozapalnymi zmianami w tętnicach wieńcowych (choroba Kawasaki);
- wrodzonymi wadami serca po leczeniu kardiochirurgicznym z przeszczepieniem tętnic wieńcowych (korekcja anatomiczna przełożenia wielkich pni tętniczych, operacja nieprawidłowego odejścia lewej tętnicy wieńcowej od tętnicy płucnej, operacja Rossa lub Kono-Rossa w wadach zastawki aortalnej);
- po interwencyjnym i operacyjnym leczeniu zmian w tętnicach wieńcowych (stentowanie, pomosty naczyniowe, zamykanie przetok wieńcowych);
- po przeszczepieniu serca.

Echokardiografia obciążeniowa znajduje również zastosowanie w ocenie rezerwy kurczliwości u pacjentów ze schorzeniami onkologicznymi otrzymującymi leki kardiotoksyczne [35]. Ponadto w przypadkach istotnych zaburzeń kurczliwości w przebiegu wad zastawkowych pozwala na prognozowanie efektu leczenia interwencyjnego lub operacyjnego (zwężenie zastawki aortalnej z upośledzeniem funkcji skurczowej LV). W przypadkach niemożności wykonania lub interpretacji elektrokardiograficznego testu wysiłkowego echokardiografia obciążeniowa może być badaniem alternatywnym.

ZAAWANSOWANE TECHNIKI ECHOKARDIOGRAFICZNE

Echokardiografia trójwymiarowa

Trójwymiarowe badanie echokardiograficzne (echokardiografia 3D) w większości ośrodków kardiologii dziecięcej stanowi uzupełnienie klasycznego badania echokardiograficznego i nie jest rutynowo stosowana w pediatricznej kardiologii klinicznej. Jest ono szczególnie przydatne w diagnostyce przedoperacyjnej wrodzonych wad serca, a także do monitorowania zabiegów kardiochirurgicznych i kardiologicznych zabiegów interwencyjnych [36–38]. Trójwymiarowe obrazy mogą być rejestrowane przez ścianę klatki piersiowej i przezprzelykowo. Szczególną opcją echokardiografii 3D jest dynamiczna prezentacja przestrzenna (*volume rendering*), która uwidacznia strukturę serca *en face*, w perspektywie, jaką kardiochirurg uzyskuje po torakotomii. Ułatwia to planowanie leczenia zabiegowego. Do najważniejszych zalet techniki 3D należy możliwość rekonstruowania obrazów dwuwymiarowych w obrębie zarejestrowanego zbioru danych (w tym także obrazów niedostępnych w badaniu standardowym ze względów anatomicznych) i pomiarów objętości struktur serca bez uproszczonych założeń geometrycznych [9, 39–42].

Obrazowanie trójwymiarowe pozwala na lepsze zrozumienie funkcjonowania zastawek ze względu na wizualizację w przestrzeni składowych aparatu zastawkowego. Dodatkowe informacje z badania 3D pozwalają w miarę pre-

cyzyjne ustalić mechanizm niedomykalności, co ma szczególne znaczenie w przypadku operacji naprawczej zastawki. W przypadku sztucznych zastawek możliwa jest identyfikacja nawet niewielkich rozmiarów skrzepin. Badania kliniczne przeprowadzone w populacji dorosłych udowodniły, że echokardiografia 3D jest najdokładniejsza spośród ultradźwiękowych metod ilościowych w ocenie objętości, kształtu i funkcji przedsionków i komór serca oraz pól powierzchni zastawek mitralnej i aortalnej [8, 39, 40, 42]. Głównymi wskazaniami do wykonania echokardiografii 3D w kardiologii dziecięcej są:

- ocena złożonych anomalii morfologicznych serca (np. złożone wady wrodzone, masy wewnątrzsercowe);
- planowanie leczenia zabiegowego (zabiegu kardiochirurgicznego, kardiologicznego zabiegu interwencyjnego) — prezentacja stosunków przestrzennych we wrodzonych wadach serca;
- zaawansowana ocena ilościowa (objętości, pola, odległości), gdy jest potrzebna maksymalna dokładność pomiaru lub nie jest on możliwy w anatomicznie dostępnych projekcjach;
- ocena synchronii LV.

Echokardiografia kontrastowa

Echokardiografia kontrastowa polega na dożylnym podaniu roztworu z mikropęcherzykami powietrza lub obojętnego biologicznie gazu o niskiej rozpuszczalności w osoczu w celu wzmocnienia obrazu echokardiograficznego oraz sygnału doplerowskiego, zakontraktowania jam serca lub badania perfuzji mięśnia sercowego [43–45]. Środki kontrastowe nieprzechodzące przez krążenie płucne są uzyskiwane poprzez energiczne ręczne mieszanie (przestrzykiwanie między strzykawkami) płynów do wstrzyknięć, np. soli fizjologicznej, dekstranu, albuminy, z niewielką ilością (0,5–1 ml) powietrza lub też gotowych preparatów. Wskazania do echokardiografii kontrastowej z użyciem substancji nieprzechodzących przez krążenie płucne obejmują [43, 45, 46]:

- wzmocnienie niedostatecznie czytelnego sygnału doplerowskiego z prawych jam serca — najczęściej niedomykalności zastawki trójdzielnej;
- diagnostykę wad przeciekowych — uwidocznienie przedostawania się kontrastu na stronę lewą lub ubytku („negatywnego”) kontrastu po stronie prawej w wypadku przecieku lewo-prawego. Do tej grupy wskazań należy wykrywanie drożnego otworu owalnego w badaniu przezprzelykowym. Za diagnostyczne uznaje się przejście na stronę lewą 3–5 pęcherzyków w czasie do 5 cykli serca od pojawienia się kontrastu w RA podczas próby Valsalvy lub kaszlu;
- identyfikację przetrwałej żyły głównej górnej lewej i innych zaburzeń spływu systemowego;
- kontrastowanie prawych jam serca — określenie granic wsierdza, guzów i skrzepin wewnątrzsercowych.

Badanie echokardiograficzne z użyciem substancji kontrastowych przechodzących przez krążenie płucne jest stosowane rzadziej niż u dorosłych. Można je wykonać we wszystkich uprzednio wymienionych sytuacjach oraz [44]:

- u dzieci ze złą jakością obrazu echokardiograficznego — kontrastowanie lewostronnych jam serca w celu poprawy określenia granicy wsierdza (i umożliwienia pełnej oceny odcinkowej całkowitej czynności serca) lub uwidocznienia mas wewnątrzsercowych. Metoda jest zalecana w echokardiografii obciążeniowej u pacjentów ze złą jakością obrazu w celu wzmocnienia niedostatecznie czytelnego sygnału doplerowskiego z lewostronnych jam serca;
- w przypadku oceny perfuzji mięśnia sercowego po podaniu dożylnym: ocena rokowania dzieci po zawale serca (spoczynkowa ocena żywotności) lub przy podejrzeniu ostrego zespołu wieńcowego.

Tkankowa echokardiografia doplerowska

Tkankowa echokardiografia doplerowska (TDI) jest cenną metodą uzupełniającą ocenę funkcji komór serca u dzieci [47–51]. Klasycznymi technikami TDI są: kolorowe kodowanie poruszających się fragmentów mięśnia sercowego w prezentacji jedno- i dwuwymiarowej oraz technika doplera pulsacyjnego. Do oceny globalnej czynności skurczowej i rozkurczowej LV wykorzystuje się analizę ruchu pierścienia zastawki dwudzielnej, RV — pierścienia zastawki trójdzielnej [49, 52–57]. Do oceny regionalnej funkcji komór wykorzystuje się pomiar prędkości miokardialnych z użyciem fali pulsacyjnej [49–51]. Metoda umożliwia ilościową ocenę regionalnej czynności komory serca w odniesieniu do wybranego jej segmentu zarówno w kierunku równoległym do osi długiej komory z projekcji koniuszkowych, jak i poprzecznie z projekcji przymostkowych. Zaletą TDI jest jej ilościowy charakter oraz brak zależności od wielkości obciążenia wstępnego komory, natomiast wadą zależność prędkości badanego fragmentu mięśnia sercowego od funkcji otaczającego go miokardium. Z kolei wielkość odkształcenia mięśnia sercowego (*strain*) i szybkość odkształcania (*strain rate*) są całkowicie niezależne od czynności sąsiednich segmentów miokardium. Ocenę odkształcenia mięśnia sercowego przeprowadza się w trzech kierunkach: podłużnym — wzdłuż osi długiej komory serca, poprzecznym — w poprzek ściany komory i okrężnym — wzdłuż ściany komory w płaszczyźnie poziomej. Najnowszym osiągnięciem TDI jest technika śledzenia markerów akustycznych (*speckle tracking imaging*) wykorzystująca obecność w mięśniu sercowym plamek (*speckle*) odbijających fale ultradźwiękowe w sposób stosunkowo niezmienny w czasie całego cyklu serca, co umożliwia pomiar prędkości ruchu tkanki i jej odkształcenia niezależnie od kąta, pod jakim ta tkanka się porusza [58–60]. Plamki stanowią naturalne markery akustyczne, których pozycje można śledzić, mierząc zmiany odległości poszczególnych markerów w skurczu i roz-

kurczu. Jest to metoda szybka i powtarzalna. Pomiar podłużnego odkształcenia dwuwymiarowego (*strain 2D*) oparty na algorytmie śledzenia markerów akustycznych pozwala na wykrycie nawet utajonej dysfunkcji komór. U dzieci TDI stosuje się do oceny [52, 54, 57, 58, 61–63]:

- funkcji komór serca, czynności skurczowej i rozkurczowej LV, RV i pojedynczej komory;
- regionalnej czynności mięśnia sercowego i wykrywania zaburzeń związanych z niedokrwieniem miokardium u dzieci z wadami tętnic wieńcowych, chorobą Kawasaki, po operacji anatomicznej przełożenia wielkich pni tętniczych (*arterial switch*) i operacji Rossa;
- asynchronii skurczu komór serca i kwalifikacji do terapii resynchronizującej oraz wyników leczenia.

Echokardiografia wewnątrzsercowa

Echokardiograficzne badanie wewnątrzsercowe (ICE) jest inwazyjną metodą diagnostyczną wykorzystującą małą głowicę (5–10 MHz) umieszczoną na końcu cewnika [64]. Diagnostyka ICE jest stosowana jako technika monitorowania w kardiologii interwencyjnej i elektrofizjologii. Manipulacje w sercu cewnikiem zakończonym głowicą echokardiograficzną wymagają dużego doświadczenia w wykonywaniu inwazyjnych procedur kardiologicznych u dzieci.

Rozpowszechnienie tej metody w kardiologii dziecięcej jest jak dotąd niewielkie m.in. z powodu wysokich kosztów jednorazowych głowic [65]. W związku z tym wskazania do przeprowadzenia ICE u dzieci są względne i wybór metody monitorowania wymaga indywidualnych decyzji. Nie ma wskazań do ICE w trakcie prostych zabiegów elektroterapii, np. implantacji kardiostymulatorów. Wskazania do badania mogą obejmować [66]:

- monitorowanie zabiegów kardiologii interwencyjnej (implantacje zapinek w ubytki przegród serca; cewnikowanie transeptalne, septostomia balonowa; walwuloplastyka mitralna; implantacje filtrów żylnych);
- zabiegi elektrofizjologiczne wymagające precyzyjnego pozycjonowania elektrod (ablace);
- ocenę tętnic płucnych przy kwalifikacji do leczenia zabiegowego nadciśnienia płucnego.

PERSPEKTYWY ECHOKARDIOGRAFII

Echokardiografia pediatryczna podlega nieustannej ewolucji związanej z szybkim postępem technologicznym i nowymi metodami terapii. Współczesne techniki oferują możliwość bardzo dobrego obrazowania zmian w układzie sercowo-naczyniowym, oceny zaburzeń hemodynamicznych i funkcji serca. W związku z miniaturyzacją sprzętu zwraca się uwagę na możliwość stosowania echokardiografii jako szeroko dostępnego badania podstawowego, stanowiącego rozszerzenie badania przedmiotowego. Z kolei istniejące technologie pozwalają na badania zaawansowane, wykonywane w ośrodkach referencyjnych, obejmujące wszechstronną ocenę mor-

fologiczną i czynnościową układu sercowo-naczyniowego, przy użyciu echokardiografów wysokiej klasy. Postęp technologii głowic matrycowych doprowadził do zwiększenia wykorzystania trybów rejestracji trójwymiarowej, co ma szczególne znaczenie w diagnostyce i monitorowaniu leczenia wrodzonych wad serca. Kierunki dalszego rozwoju echokardiografii to zwiększenie zakresu oceny jakościowej i ilościowej morfologii oraz funkcji serca, w tym obiektywizacja i automatyczna ocena bardziej złożonych parametrów jego funkcji.

Konflikt interesów: nie zgłoszono

Písmiennictwo

- Cheitlin MD, Amstrong WF, Aurigemma GP et al. ACC/AHA/ASH 2003 Guideline update for the Clinical Application of Echocardiography: Summary Article: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/ASE Committee to Update the 1997 Guidelines for the Clinical Application of Echocardiography). *Circulation*, 2003; 108: 1146–1162.
- Kawalec W, Moll J, Siwinska A et al. The accreditation standards call for physician echocardiographers and pediatric echocardiography laboratory accreditation. *Echocardiography Section of the Polish Cardiac Society*: http://www.echo.ptkardio.pl/p_stp_akredytacja.htm.
- Haddad F, Hunt SA, Resenthal DN, Murphy DJ. Right ventricular function in cardiovascular disease. Part I: anatomy, physiology, aging, and functional assessment of the right ventricle. *Circulation*, 2008; 117: 1436–1448.
- Hoosen EGM, Hugo-Hamman C, Cilliers AM et al. Guidelines for paediatric echocardiography in South Africa. *SA Heart*, 2007; 4: 42–45.
- Kjaergaard J, Snyder EM, Hassager C, Oh JK, Johnson BD. Impact of preload and afterload on global regional right ventricular function and pressure: a quantitative echocardiography study. *J Am Echocardiogr*, 2006; 19: 515–521.
- Lai WW, Geva T, Shirali GS et al. Guidelines and standards for performance of a pediatric echocardiogram: a report from the Task Force of the Pediatric Council of the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*, 2006; 19: 1413–1430.
- Balestrini L, Fleishman C, Lanzoni L et al. Real-time 3-dimensional echocardiography evaluation of congenital heart disease. *J Am Soc Echocardiogr*, 2000; 13: 171–176.
- Seliem MA, Fedec A, Cohen MS et al. Real-time 3-dimensional echocardiographic imaging of congenital heart disease using matrix-array technology: freehand real-time scanning adds instant morphologic details not well delineated by conventional 2-dimensional imaging. *J Am Soc Echocardiogr*, 2006; 19: 121–129.
- Simpson JM. Real-time three-dimensional echocardiography of congenital heart disease using a high frequency paediatric matrix transducer. *Eur J Echocardiogr*, 2008; 9: 222–224.
- Kasprzak JD, Hoffman P, Płonska E et al. Echokardiografia w praktyce klinicznej. Standardy Sekcji Echokardiografii Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego 2007. *Kardiologia Polska*, 2007; 65: 1–21.
- Mason KP. The pediatric sedation service: who is appropriate to sedate, which medications should I use, who should prescribe the drugs, how do I bill? *Pediatr Radiol*, 2008; 38 (suppl. 2): 218–224.
- Januszewicz P, Szyreter T, Migdał M. Stosowanie sedacji płytkiej przez pediatrów. Zalecenia Specjalisty Krajowego w dziedzinie pediatrii oraz Sekcji Pediatrycznej Polskiego Towarzystwa Anestezjologii i Intensywnej Terapii (1999). *Medycyna Praktyczna Pediatria*, 1999; 3: 91–101.
- Krauss B, Green SM. Procedural sedation and analgesia in children. *Lancet*, 2006; 367: 766–780.
- Meyer S, Grundmann U, Gottschling S, Kleinschmidt S, Gortner L. Sedation and analgesia for brief diagnostic and therapeutic procedures in children. *Eur J Paediatr*, 2007; 166: 291–302.
- Nicolson SC, Montenegro LM, Cohen MS et al. Comparison of the efficacy and safety of chloral hydrate versus inhaled anesthesia for sedating infants and toddlers for transthoracic echocardiograms. *J Am Soc Echocardiogr*, 2010; 23: 38–42.
- Warden CN, Bernard PK, Kimball TR. The efficacy and safety of oral pentobarbital sedation in pediatric echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*, 2010; 23: 33–37.
- Wheeler DS, Jensen RA, Poss WB. A randomized, blinded comparison of chloral hydrate and midazolam sedation in children undergoing echocardiography. *Clin Pediatrics*, 2001; 40: 381–387.
- Lopez L, Colan SD, Frommelt PC et al. Recommendations for quantification methods during the performance of a pediatric echocardiogram: a report from the Pediatric Measurements Writing Group of the American Society of Echocardiography Pediatric and Congenital Heart Disease Council. *J Am Soc Echocardiogr*, 2010; 23: 465–495.
- O'Leary PW, Durongpisitkul K, Cordes TM et al. Diastolic ventricular function in children: a Doppler echocardiographic study establishing normal values and predictors of increased ventricular end-diastolic pressure. *Mayo Clin Proc*, 1998; 73: 616–628.
- Overbeek LIH, Kapusta L, Peer PGM, de Korte CL, Thijssen JM, Daniels O. New reference values for echocardiographic dimensions of healthy Dutch children. *Eur J Echocardiogr*, 2006; 7: 113–121.
- Olivieri L, Arling B, Friberg M, Sable C. Coronary artery Z score regression equations calculators derived from a large heterogeneous population of children undergoing echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*, 2009; 22: 159–164.
- Petersen MD, Du W, Skeens ME, Humes RA. Regression equations for calculation of z scores of cardiac structures in a large cohort of healthy infants, children, and adolescents: an echocardiographic study. *J Am Soc Echocardiogr*, 2008; 21: 922–934.
- Zilberman MV, Khoury PR, Kimball RT. Two-dimensional echocardiographic valve measurements in healthy children: gender — specific differences. *Pediatr Cardiol*, 2005; 26: 356–360.
- Kampmann C, Wiethoff CM, Wenzel A et al. Normal values of M mode echocardiographic measurements of more than 2000 healthy infants and children in central Europe. *Heart*, 2000; 83: 667–672.
- Lytrivi ID, Bhatla P, Ko HH et al. Normal values for left ventricular volume in infants and young children by the echocardiographic subxiphoid five-sixth area by length (bullet) method. *J Am Soc Echocardiogr*, 2011; 24: 214–218.
- Lipshultz SE, Miller TL. Establishing norms for echocardiographic measurements of cardiovascular structures and function in children. *J Appl Physiol*, 2005; 99: 386–388.
- Kavanaugh-McHugh A, Tobias JD, Doyle T et al. Transesophageal echocardiography in pediatric congenital heart disease. *Cardiol Rev*, 2009; 81: 288–306.
- Mart CR, Parrish M, Rosen KL et al. Safety and efficacy of sedation with propofol for transoesophageal echocardiography in children in an outpatient setting. *Cardiol Young*, 2006; 16: 152–156.
- Szyska A, Płonska-Gosciniak E, Kasprzak JD et al. Recommendation of the Echocardiography Working Group of the Polish Cardiac Society for transoesophageal echocardiography use in clinic practice 2011. *Kardiologia Polska*, 2011; 69: 755–760.
- Płonska-Gosciniak E, Gackowski A, Gasior Z et al. Recommendations of the Echocardiography Working Group of the Polish Cardiac Society for stress echocardiography use in clinical practice 2011. *Kardiologia Polska*, 2011; 69: 642–648.

31. Sicari R, Nihoyannopoulos P, Evangelista A et al. Stress echocardiography expert consensus statement. European Association for Echocardiography (EAE) (a registered branch for the ESC). *Eur J Echocardiogr*, 2008; 9: 415–437.
32. McCrindle BW, Li JS, Minich LL et al. Coronary artery involvement in children with Kawasaki disease: risk factors from analysis of serial normalized measurements. *Circulation*, 2002; 116: 174–179.
33. Pahl E, Sehgal R, Chrystof D et al. Feasibility of exercise stress echocardiography for the follow-up of children with coronary involvement secondary to Kawasaki disease. *Circulation*, 1995; 91: 122–128.
34. Pahl E, Duffy, Chaudhry FA. The role of stress echocardiography in children. *J CV Ultrasound Allied Tech*, 2000; 17: 507–512.
35. Salama M, Gaber R, El Shazly H. Right ventricle function assessment in doxorubicin treated children (value of dobutamine stress echocardiography, tissue Doppler imaging). *Heart Mirror J*, 2009; 3: 64–69.
36. Cheng TO, Xie MX, Wang XF, Wang Y, Lu Q. Real-time 3-dimensional echocardiography in assessing atrial and ventricular septal defects: an echocardiographic-surgical correlative study. *Am Heart J*, 2004; 148:1091–1095.
37. Chan KL, Liu X, Asch KJ, Beauchesne LM, Burwash IG. Comparison of real-time 3-dimensional echocardiography with conventional 2-dimensional echocardiography in the assessment of structural heart disease. *J Am Soc Echocardiogr*, 2004; 17: 976–980.
38. Wong PC, Gao H, Sklansky M. Real-time transthoracic three-dimensional echocardiography enhances evaluation of congenital atrioventricular valve disease. *Circulation*, 2003; 108: IV535.
39. Acar P, Marx GR, Saliba Z, Sidi D, Kachaner J. Three-dimensional echocardiographic measurement of left ventricular stroke volume in children: comparison with Doppler method. *Pediatr Cardiol*, 2001; 22: 116–120.
40. Dorosz JL, Bolson EL, Waiss MS, Sheehan FH. Three-dimensional visual guidance improves the accuracy of calculating right ventricular volume with two-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*, 2003; 16: 675–681.
41. Kapetanakis S. Three-dimensional echocardiography. *Hospital Chronicles*, 2010; 5: 52–55.
42. Inge Rabben SI. Technical principles of transthoracic three-dimensional echocardiography. In: Badano LP, Lang RM, Zamorano JL eds. *Textbook of real-time three dimensional echocardiography*. Springer-Verlag, London 2011: 9–24.
43. Waggoner AD, Ehler D, Adams D et al. Guidelines for the cardiac sonographer in the performance of contrast echocardiography: recommendations of the American Society of Echocardiography Council on Cardiac Sonography. *J Am Soc Echocardiogr*, 2001; 14: 417–420.
44. Tang SC, Zhang YO, Zhu Q, Zhou TF. Diagnostic contrast echocardiography in children with congenital heart disease. *Chin Med J (Engl)*, 1990; 103: 464–469.
45. Senior R, Becher H, Monaghan M et al. Contrast echocardiography: evidence-based recommendations by European Association of Echocardiography. *Eur J Echocardiogr*, 2009; 10: 194–212.
46. Olszewski R, Timperley J, Szmigielski C et al. The clinical applications of contrast echocardiography. *Eur J Echocardiogr*, 2007; 8: S13–S23.
47. Ayabakan C, Ozkutlu S. Left ventricular myocardial velocities in healthy children: quantitative assessment by tissue Doppler echocardiography and relation to the characteristics of filling of the left ventricle. *Cardiol Young*, 2004; 14: 156–163.
48. Kapusta L, Thijssen JM, Cuypres MH, Peer PG, Daniels O. Assessment of myocardial velocities in healthy children using tissue Doppler imaging. *Ultrasound Med Biol*, 2000; 26: 229–237.
49. Kutty S, Deatsman SL, Nugent ML, Russell D, Formmelt PC. Assessment of regional right ventricular velocities, strain, and displacement in normal children using velocity vector imaging, Echocardiography, 2008; 25: 294–307.
50. Mori K, Hayabuchi Y, Nii M, Manabe T. Left ventricular wall motion velocities in healthy children measured by pulsed wave Doppler tissue echocardiography: normal values and relation to age and heart rate. *J Am Soc Echocardiogr*, 2000; 13: 1002–1011.
51. Rychik J, Tian ZY. Quantitative assessment of myocardial tissue velocities in normal children with Doppler tissue imaging. *Am J Cardiol*, 1996; 77: 1254–1257.
52. Eidem BW, McMahon CJ, Cohen RR et al. Impact of cardiac growth on Doppler tissue imaging velocities: a study in healthy children. *J Am Soc Echocardiogr*, 2004; 17: 212–221.
53. Formmelt PC, Ballweg JA, Whitstone BN, Formmelt MA. Usefulness of Doppler tissue imaging analysis of tricuspid annular motion for determination of right ventricular function in normal infants and children. *Am J Cardiol*, 2002; 89: 610–613.
54. Hiarada K, Orino T, Yasuoka K, Tamura M, Takada G. Tissue Doppler imaging of left and right ventricles in normal children. *Tohoku J Exp Med*, 2000; 191: 21–29.
55. Ichihashi K, Sato A, Shiraishi H, Momoi M. Tissue Doppler combined with pulsed-wave Doppler echocardiography for evaluating ventricular diastolic function in normal children. *Echocardiography*, 2011; 28: 93–96.
56. Koestenberger M, Ravekes W, Everett AD et al. Right ventricular function in infants, children and adolescents: reference values of the tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE) in 640 healthy patients and calculation of z score values. *J Am Echocardiogr*, 2009; 22: 15–19.
57. Watanabe M, Ono S, Thomomasa T et al. Measurement of tricuspid annular diastolic velocities by Doppler tissue imaging to assess right ventricular function in patients with congenital heart disease. *Pediatr Cardiol*, 2003; 24: 463–467.
58. Robertson DA, Cui W, Chen Z, Madronero LF, Cuneo BF. Annular and septal Doppler tissue imaging in children: normal z-score tables and effects of age, heart rate, and body surface area. *J Am Echocardiogr*, 2007; 20: 1276–1284.
59. Koopman LP, Slorach C, Hui W et al. Comparison between different speckle tracking and color tissue Doppler techniques to measure global and regional myocardial deformation in children. *J Am Soc Echocardiogr*, 2010; 23: 919–928.
60. Koopman LP, Slorach C, Manlhiot C et al. Assessment of myocardial deformation in children using Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) data and vendor independent speckle tracking software. *J Am Soc Echocardiogr*, 2011; 24: 37–44.
61. Xu J, Peng Y, Li C et al. Feasibility of assessing cardiac systolic function using longitudinal fractional shortening calculated by two-dimensional speckle tracking echocardiography. *Echocardiography*, 2011; 28: 402–407.
62. Teske AJ, De Boeck BW, Melman PG et al. Echocardiographic quantification of myocardial function using tissue deformation imaging. A guide to image acquisition and analysis using tissue Doppler and speckle tracking. *Cardiovascular Ultrasound*, 2007; 5: 27.
63. Mertens L, Seri I, HonD et al. Targeted neonatal echocardiography in the neonatal intensive care unit: practice guidelines and recommendations for training. *EJH*, 2011; 12: 715–736.
64. Bruce CJ, Friedman PA. Intracardiac echocardiography. *Eur J Echocardiogr*, 2001; 2: 234–244.
65. Patel A, Cao QL, Koenig PR, Hijazi ZM. Intracardiac echocardiography to guide closure of atrial septal defects in children less than 15 kilograms. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2006; 2: 287–291.
66. Alboliras ET, Hijazi ZM. Comparison of costs of intracardiac echocardiography and transesophageal echocardiography in monitoring percutaneous device closure of atrial septal defect in children and adults. *Am J Cardiol*, 2004; 94: 690–692.