

Współczesna kardiologiczna diagnostyka obrazowa w ciąży. Stanowisko grupy ekspertów polskiego Klinicznego Forum Obrazowania Serca i Naczyń

Cardiac contemporary imaging during pregnancy. Expert consensus statement of the Polish Clinical Forum for Cardiovascular Imaging

Agata Leśniak-Sobelga¹, Zbigniew Gąsior², Magdalena Kostkiewicz¹, Jolanta Miśko^{3, 4}, Krzysztof Rytlewski⁵, Piotr Podolec¹, Edyta Płońska-Gościński⁶

Polskie Kliniczne Forum Obrazowania Serca i Naczyń: Edyta Płońska-Gościński, Magdalena Kostkiewicz, Piotr Lipiec, Tomasz Miszański-Jamka, Andrzej Szyszka, Mieczysław Pasowicz, Andrzej Gackowski, Tomasz Kukulski, Mirosław Dziuk, Cezary Kępka, Mariusz Skowerski, Zbigniew Gąsior, Jerzy Walecki, Piotr Szymański, Katarzyna Mizia-Steć, Anna Klisiewicz, Piotr Hoffman, Piotr Podolec, Piotr Pruszczyk, Jarosław D. Kasprzak, Mirosław Kowalski, Adam Torbicki

¹Klinika Chorób Serca i Naczyń, Uniwersytet Jagielloński, *Collegium Medicum*, Szpital im. Jana Pawła II, Kraków

²Katedra i Klinika Kardiologii, Śląski Uniwersytet Medyczny, Katowice

³Zakład Radiologii, Pracownia Rezonansu Magnetycznego, Instytut Kardiologii, Warszawa

⁴Międzyleski Szpital Specjalistyczny, Centrum Diagnostyki Obrazowej, Warszawa

⁵Klinika Położnictwa i Perinatologii, Uniwersytet Jagielloński, *Collegium Medicum*, Kraków

⁶Klinika Kardiologii, Pomorski Uniwersytet Medyczny, Szczecin

WSTĘP

Liczbę kobiet w ciąży z chorobami układu sercowo-naczyniowego ocenia się na ok. 1%. Przyjmuje się, że najliczniejszą grupę (74%) stanowią ciężarne z wadami wrodzonymi serca (skorygowanymi lub nieskorygowanymi chirurgicznie), natomiast z nabytymi wadami serca — 22% [1].

BADANIE ECHOKARDIOGRAFICZNE

Według wytycznych Europejskiego Towarzystwa Kardiologicznego (ESC) z 2011 r., dotyczących postępowania diagnostyczno-leczniczego u kobiet w ciąży z chorobami kardiologicznymi echokardiografia (z użyciem metody doplera kolorowego, doplera fali pulsacyjnej i fali ciągłej) jest podstawowym badaniem diagnostycznym u ciężarnej, rekomendowanym w klasie I C [1]. Nie wiąże się z narażeniem pacjentki na promieniowanie, jest proste do przeprowadzenia, powszechnie dostępne, tanie i powtarzalne w razie konieczności, wskazań [1, 2]. Dostarcza dokładnych informacji na temat wielkości i funkcji jam serca, morfologii i czynności zastawek, hemodynamicznych skutków wrodzonych i na-

bytych patologii, etiologii i stopniu zaawansowania wady. W sposób nieinwazyjny pozwala na monitorowanie progresji wady, ułatwia podejmowanie decyzji terapeutycznych, w tym konieczności chirurgicznej interwencji.

W przebiegu ciąży dolegliwości i objawy ze strony układu oddechowego i układu sercowo-naczyniowego, takie jak obniżenie sprawności fizycznej, duszność wysiłkowa, zawroty głowy, omdlenia, bóle w klatce piersiowej, zaburzenia rytmu serca, hiperwentylacja — mogą sugerować chorobę serca. Dlatego też echokardiografia jest szczególnie ważnym narzędziem diagnostycznym u kobiet w ciąży pozwalającym wykluczyć chorobę serca. Powinna być wykonana u każdej ciężarnej, u której stwierdzono szmer sercowy [3–5]. Z kolei u pacjentek z rozpoznaną wcześniej chorobą serca badanie to umożliwia precyzyjne monitorowanie wpływu przeciążenia objętościowego w ciąży na istniejącą patologię.

Wskazania obejmują podejrzenie lub rozpoznanie choroby serca. Częstość wykonywania to: od 1 × w czasie ciąży (klasa WHO I) do 1 × co 1–4 tygodnie w przypadku ciężkich wad serca, stanowiących przeciwwskazania do zajścia w ciążę

Adres do korespondencji:

dr n. med. Agata Leśniak-Sobelga, Klinika Chorób Serca i Naczyń, Uniwersytet Jagielloński, *Collegium Medicum*, Szpital im. Jana Pawła II, ul. Prądnicka 80, 31–202 Kraków, e-mail: alesniak@szpitaljp2.krakow.pl

Copyright © Polskie Towarzystwo Kardiologiczne

(klasa WHO IV). Badanie przeprowadza się u pacjentki leżącej na lewym boku, aby wyeliminować niekorzystne zmiany objętości wyrzutowej i minutowej serca. Jeśli konieczne jest ułożenie ciężarnej w pozycji leżącej na plecach, czas ten powinien być jak najkrótszy.

Interpretując wynik echokardiografii u kobiet w ciąży, należy uwzględnić zmiany fizjologiczne w przebiegu ciąży, będące przejawem adaptacji układu sercowo-naczyniowego do przeciążenia objętościowego: niewielkie zwiększenie wymiaru rozkurczowego (ok. 4–7%) i skurczowego lewej komory (LV), objętości końcoworozkurczowej i końcowoskurczowej LV, wymiaru lewego przedsionka (o ok. 12%), prawej komory i prawego przedsionka (ok. 20%) oraz zmniejszenie tych wartości po porodzie. Wskaźniki kurczliwości LV (frakcja wyrzutowa i odsetkowe skracanie LV) nie zmieniają się, zaobserwowano natomiast wzrost średniej prędkości skracania włókien okrężnych LV. Dochodzi do poszerzenia pierścieni zastawkowych: płucnego, trójdzielnego i mitralnego, występują czynnościowe niedomykalności zastawek płucnej, trójdzielnej, mitralnej — ustępujące po porodzie. Wzrasta masa mięśnia LV. Na skutek zwiększonego przepływu przez zastawki dochodzi do wzrostu gradientów ciśnień, co należy uwzględnić w ocenie zaawansowania zwężeń zastawek [6]. Gradienty ciśnień zależą od zmian rzutu serca, dlatego nie są wiarygodnymi wskaźnikami stopnia zwężenia zastawek, natomiast mają znaczenie rokownicze. Rekomenduje się pomiar echokardiograficzny powierzchni ujścia metodą planimetryczną, niezależny od zwiększonego obciążenia w czasie ciąży [4].

W trzecim trymestrze ciąży u ok. 25–44% kobiet obserwuje się niewielki wysięk osierdziowy (ryc. 1) [6].

Oceniając czynność sztucznej zastawki u kobiety w ciąży, należy uwzględnić fakt, że wzrost objętości krwi krążącej zwiększa przepływ i gradient przez wszczepione zastawki. W dużych rozmiarach zastawek wzrost gradientu jest niewielki, trudności diagnostyczne istnieją natomiast u chorych

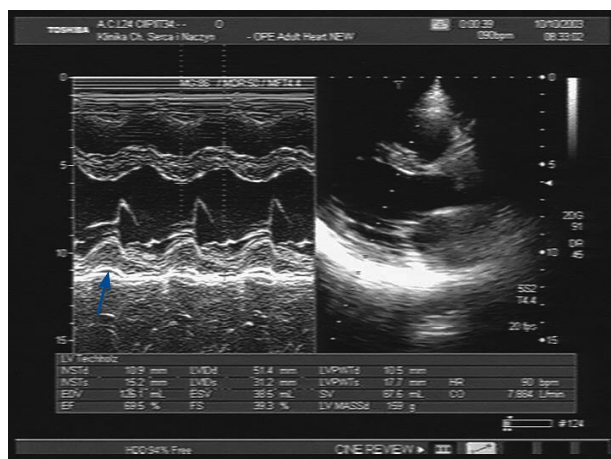
z wszczepionymi małymi rozmiarami zastawek, u których ciąża stwarza zjawisko niezgodności hemodynamicznej, charakteryzujące się znacznym wzrostem gradientu (ryc. 2) [7].

W przypadku konieczności wykonania obciążeniowego badania echokardiograficznego (*stress echo*) zaleca się użycie dobutaminy — FDA kategoria B, natomiast adenozyyna jest zaliczana do FDA kategorii C [8].

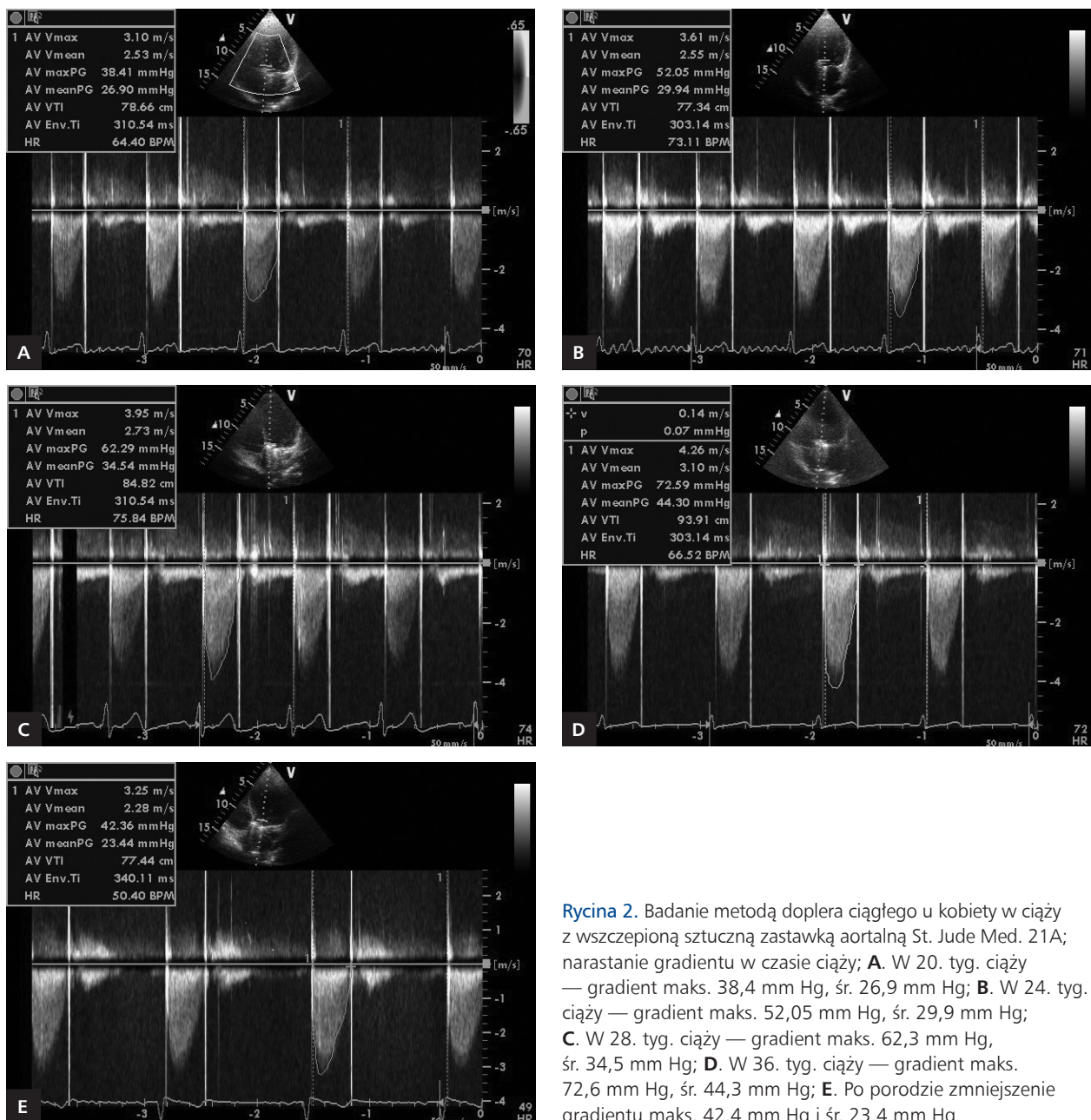
ECHOKARDIOGRAFIA PRZEZPRZEŁYKOWA

Echokardiograficzne badanie przezprzełykowe (TEE) jest rzadko wykonywane u kobiet w ciąży, ponieważ brakuje zaleceń rutynowego przeprowadzania takiego badania w czasie ciąży, bez względu na rodzaj schorzenia kardiologicznego u pacjentki. Zazwyczaj wystarczające jest echokardiograficzne badanie przezklatkowe (TTE). Wskazania do wykonania TEE u kobiet w ciąży przedstawiono w tabeli 1.

U ciężarnej z niediagnozowaną dotychczas wadą serca, z objawami ze strony układu sercowo-naczyniowego, TEE można wykonać wtedy, gdy TTE nie pozwala na rozpoznanie wady lub jej ocenę ilościową, ze względu na złe warunki obrazowania przezklatkowego [1, 2]. Badanie przezprzełykowe ma przewagę nad przezklatkowym w obrazowaniu uszka lewego i prawego przedsionka, żył płucnych, przegrody międzyprzedsionkowej i aorty. U kobiety w ciąży z rozpoznaną w TTE wadą serca nie ma potrzeby wykonywać TEE. Wyjątkiem może być ciasna stenozą mitralną z nadciśnieniem płucnym > 50 mm Hg i utrzymującymi się mimo farmakoterapii objawami, ale tylko wtedy, gdy planowany jest zabieg przezskórnej balonowej komisurotomii. Wykonuje się go u ciężarnej będącej w III lub IV klasie wg NYHA, najlepiej między 20. a 24. tygodniem ciąży. W celu zapewnienia precyzji przemieszczania cewnika w sercu, natychmiastowej oceny efektu zabiegu i zminimalizowania ekspozycji na promieniowanie rentgenowskie (RTG) najlepiej zastosować w czasie zabiegu TEE [3]. Podobnie u kobiety w ciąży z wrodzoną wadą przeciekową — ubytkiem w przegrodzie międzyprzedsionkowej (ASD) nasilone dolegliwości mogą stanowić wskazanie do wykonania TEE w celu kwalifikacji do zabiegu przezskórnego zamknięcia ASD, a następnie do monitorowania zabiegu za pomocą TEE. Zabiegi takie wykonuje się niezwykle rzadko, przeciwwskazaniem stanowi zespół Eisenmengera. Szczególną grupę stanowią kobiety w ciąży z wszczepioną sztuczną zastawką serca. W czasie ciąży wzrasta ryzyko powikłań zakrzepowych. Wystąpienie duszności lub objawów zatorowości obwodowej u ciężarnej z wszczepioną sztuczną zastawką stanowi pilne wskazanie do TTE, a następnie TEE, które może pomóc w rozpoznaniu dysfunkcji zastawki spowodowanej jej zakrzepicą i umożliwić wdrożenie odpowiedniej farmakoterapii. Rzadkim wskazaniem do TEE jest podejrzenie tętniaka aorty wstępującej lub ocena wymiarów rozpoznanej już wcześniej tętniaka aorty, gdy obraz TTE jest niejednoznaczny. W piśmiennictwie można znaleźć kazuistyczne opisy TEE u kobiet w ciąży z zespołem



Rycina 1. Niewielka ilość płynu (strzałka) w worku osierdziowym u zdrowej kobiety w 34. tygodniu ciąży



Rycina 2. Badanie metodą doplera ciągłego u kobiety w ciąży z wszczepioną sztuczną zastawką aortalną St. Jude Med. 21A; narastanie gradientu w czasie ciąży; **A.** W 20. tyg. ciąży — gradient maks. 38,4 mm Hg, śr. 26,9 mm Hg; **B.** W 24. tyg. ciąży — gradient maks. 52,05 mm Hg, śr. 29,9 mm Hg; **C.** W 28. tyg. ciąży — gradient maks. 62,3 mm Hg, śr. 34,5 mm Hg; **D.** W 36. tyg. ciąży — gradient maks. 72,6 mm Hg, śr. 44,3 mm Hg; **E.** Po porodzie zmniejszenie gradientu maks. 42,4 mm Hg i śr. 23,4 mm Hg

Marfana i rozwarstwieniem aorty, zazwyczaj w ciężkim stanie ogólnym, wykonywanego podczas cięcia cesarskiego, po którym niezwłocznie przeprowadzono operację aorty.

U pacjentek stabilnych hemodynamicznie wystąpienie migotania lub trzepotania przedsionków trwającego ponad 48 h wymaga wykonania TEE przed kardiowersją w celu wykluczenia wytworzenia się skrzepliny w przedsionku, jeżeli nie stosowano wcześniej długotrwałej antykoagulacji.

Echokardiografia przezprzełykowa jest bezpieczna dla kobiety w ciąży [1]. Zasady jej wykonywania są identyczne jak u pozostałych kwalifikowanych osób. Ciężarna nie powinna przyjmować pokarmów co najmniej 4 h, a najlepiej 6 h przed

badaniem, płyny można przyjmować do 2 h przed badaniem. Należy zwracać szczególną uwagę na obecność treści żołądkowej, ryzyko cofania się treści pokarmowej i zachłyśnięcia oraz nagłego wzrostu ciśnienia śródbrzusznego. Antykoagulacja nie jest przeciwwskazaniem do wykonania TEE. Przy stosowaniu sedacji należy monitorować stan płodu. Po badaniu zaleca się powstrzymanie od przyjmowania pokarmów i płynów przez co najmniej 2 h. Osoby, u których zastosowano sedację, nie powinny prowadzić pojazdów przez co najmniej 12 h. Według aktualnych zaleceń nie jest konieczne stosowanie profilaktyki infekcyjnego zapalenia wsierdzia przed TEE [1, 2, 9].

Tabela 1. Wskazania do wykonania TEE u kobiet w ciąży

| |
|--|
| Objawowa, niediagnozowana dotychczas wada serca, trudna do oceny w TTE |
| Ciasna stenozą mitralną, z utrzymującymi się objawami mimo farmakoterapii, z nadciśnieniem płucnym, przy planowaniu wykonania PMC w czasie ciąży |
| Duszność lub zatorowość obwodowa u ciężarnej z wszczepioną sztuczną zastawką |
| ASD przy pogarszającym się stanie krążenia ciężarnej |
| Śródzabiegowe TEE w czasie PMC lub przezskórnego zamykania ASD |
| Podejrzanie lub ocena wymiarów tętniaka aorty, gdy obraz TTE jest niejednoznaczny |
| Przed kardiowersją z powodu migotania/trzepotania przedsiionków > 48 h, gdy nie stosowano antykoagulacji |

ASD — ubytek w przegrodzie międzyprzedsionkowej; PMC — przezskórna komisurotomia mitralna; TEE — echokardiograficzne badanie przezprzełykowe

SCYNTYGRAFIA

Należy na wstępie zaznaczyć, że badanie diagnostyczne i terapia z użyciem izotopów mogą być wykonywane jedynie w sytuacjach ratowania życia oraz braku możliwości przeprowadzenia innych badań obrazowych lub innego sposobu leczenia (bez użycia promieniowania).

Na skutek oddziaływania promieniowania gamma na tkankę żywą zachodzą w niej zmiany zależne od rodzaju promieniowania, jego natężenia i energii, a także rodzajów tkanki, położenia źródła promieniowania i czasu ekspozycji [10]. Promieniowanie jonizujące oddziałując z tkanką żywą, powoduje jonizację atomów i zmianę przebiegu biologicznych procesów w komórce. Nie wszystkie zmiany w strukturach biologicznych, zwłaszcza w cząsteczkach kwasów nukleinowych i chromosomach, ujawniają się w organizmie od razu po napromieniowaniu. Wiele następstw ma miejsce w znacznie późniejszym czasie, jako tzw. zmiany późne. Mogą to być zmiany somatyczne, trwałe dla danego organizmu oraz zmiany genetyczne, przekazywane następnym pokoleniom.

Cząstki elementarne przenikają strukturę komórek i mogą powodować zaburzenia stanu ich równowagi, który, choć trwa bardzo krótko, może być groźny w skutkach. Gdy takie zaburzenie równowagi nastąpi, komórka może stracić zdolność do wykonywania swych zadań i do rozmnażania lub też może powstać i zacząć się rozmnażać komórka o właściwościach niepożądanych dla organizmu. Zmiany rozpoczynają się od uszkodzenia spirali kwasu deoksyrybonukleinowego (DNA). Przerwanie lub uszkodzenie DNA może sprawić, że komórki rozmnożone z uszkodzonej komórki są inne niż macierzysta komórka przed uszkodzeniem. Każdy mieszkaniec Ziemi otrzymuje średnio w ciągu roku dawkę 2,4 milisiwertów [mSv] związaną z naturalnym tłem promieniowania. Za bezpieczną dawkę roczną przyjmuje się 3 mSv. Przy dzisiejszej technice badań scyntygraficznych negatywne skutki związane z na-

promieniowaniem są praktycznie wyeliminowane [11, 12]. Dopuszczalna roczna dawka pochłonięta promieniowania wynosi 0,15–1,25 Gy, a podczas badań scyntygraficznych pacjent otrzymuje 0,01–0,1 Gy. Organizm płodu wykazuje jednak szczególną wrażliwość na promieniowanie [13]. Już niewielkie dawki na chrząstkę mogą zwolnić lub powstrzymać wzrost kości i doprowadzić do deformacji. Napromieniowanie kobiet między 8. i 16. tygodniem ciąży może spowodować poważne uszkodzenia mózgu dzieci nienarodzonych. W tym okresie formuje się kora mózgowa, której rozwój może zostać zahamowany przez promieniowanie. Napromienienie mózgu płodu w późniejszym okresie w czasie radioterapii może powodować u dziecka zmiany charakteru, utraty pamięci, a nawet demencję.

Badania diagnostyczne

Wykonanie scyntygrafii w celach diagnostycznych u kobiet w ciąży musi być szczególnie uzasadnione i ograniczone do przypadków, gdy nie można przeprowadzić innych badań obrazowych. Należy poinformować pacjentkę i przedyskutować z nią spodziewane korzyści i ryzyko związane z badaniem. Najprostszą metodą zmniejszenia dawki promieniowania jest zalecenie picia dużych ilości płynów (najlepiej wody) w celu nawodnienia i wymuszenia diurezy, co ułatwi eliminację dawki z organizmu [13].

U kobiet w ciąży najczęściej stosowaną procedurą diagnostyczną z użyciem izotopów jest scyntygrafia wentylacyjno-perfuzyjna płuc, wykonywana w przypadku podejrzenia zatorowości płucnej. Do oceny perfuzji płuc stosuje się preparat makroalbuminowy znakowany technetem, natomiast do oceny wentylacji — Xenon — gaz znakowany izotopowo (^{127}Xe lub ^{133}Xe). Dawka pochłonięta przez płód podczas tego badania jest bardzo niewielka i wynosi 0,00014–0,00025 Gy. Chociaż dawka ta jest minimalnie wyższa od dawki, jaką otrzymuje płód w trakcie tomografii komputerowej (CT), to w przypadku scyntygrafii znacznie mniejsza jest ekspozycja na gruczoły piersiowe ciężarnej, co w konsekwencji wiąże się z mniejszym ryzykiem wystąpienia raka piersi [8, 14–16].

Leczenie preparatami promieniotwórczymi

Zaleca się, aby kobieta w ciąży nie była leczona izotopowo, z wyjątkiem sytuacji klinicznych, kiedy jest to terapia bezpośrednio ratująca życie [17]. Jeżeli leczenie izotopowe jest konieczne, trzeba dokładnie obliczyć dawkę promieniowania, którą otrzymuje płód, i należy przedstawić pacjentce, oprócz spodziewanych korzyści, ryzyko związane z malformacjami i występowaniem nowotworów u płodu.

Należy również poinformować pacjentkę, że jeżeli terapia przedłuży się na okres połogu i karmienia, radioaktywny związek może wydzielać się również z pokarmem. Może wówczas zaistnieć konieczność przerwania karmienia piersią w tych przypadkach.

Skutki promieniowania dla płodu przy stosowaniu terapii są zależne od jego wieku. W przypadku radioterapii jodem przyjęta dawka promieniowania może wywołać poronienie samoistne płodu poniżej 8 tygodnia. Powyżej 8 tygodnia może dojść do powstania poważnych wad rozwojowych i nowotworów [18].

Należy jeszcze raz podkreślić, że zarówno badanie, jak i terapia z użyciem izotopów może być wykonywana jedynie w sytuacjach ratowania życia oraz w przypadku, gdy inne badania obrazowe, lub inny sposób terapii, bez użycia promieniowania, nie są możliwe do przeprowadzenia.

BADANIA RADIOLOGICZNE (RTG, CT, MRI)

Według wytycznych ESC opublikowanych w 2011 r. dotyczących postępowania diagnostycznego u kobiet w ciąży z chorobami kardiologicznymi badanie metodą rezonansu magnetycznego serca lub dużych naczyń (MRI) bez podania kontrastu paramagnetycznego powinno być wykonane, jeżeli echokardiografia jest niewystarczająca do uzyskania diagnozy (klasa IIa, C), natomiast CT w obrębie klatki piersiowej — jeżeli konieczne jest przeprowadzenie badania ze wskazań życiowych (klasa IIb, C) [1].

Najbezpieczniejszym okresem do wykonywania tych badań jest czas po zakończeniu organogenezy, czyli > 12. tygodnia ciąży.

Przed wykonaniem MRI czy CT należy udzielić ciężarnej jak najwięcej rzetelnych informacji na temat samego badania i związanego z nim ryzyka.

Badanie RTG i tomografia komputerowa

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia w sprawie warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji medycznej (Dz.U.05.194.1625) § 17 wykonywanie badań rentgenodiagnostycznych u kobiet w ciąży jest ograniczone do niezbędnych przypadków, w sytuacji jeżeli nie mogą być one przeprowadzone po rozwiązaniu, z jednoczesnym zastrzeżeniem, że przy ich wykonywaniu należy zapewnić maksymalną ochronę płodu.

Według prawa Bergonie'go i Tribondeau, określonego w 1906 r., promieniotwórczość komórek ludzkich jest proporcjonalna do szybkości podziałów komórkowych i odwrotnie proporcjonalna do stopnia ich zróżnicowania — młode, niezróżnicowane i często dzielące się komórki są najbardziej promieniowrażliwe. Jest zatem oczywiste, że ekspozycja medyczna, czyli dawka promieniowania pochłoniętego przez komórki w fazie jaja płodowego, fazy zarodkowej i wczesnej płodowej może prowadzić do ich uszkodzenia.

Efekt, który jest odpowiedzialny za 75% uszkodzeń komórkowych po napromieniowaniu, ma charakter chemiczny: wolne rodniki powstające pod wpływem promieniowania jonizującego uszkadzają DNA intensywnie dzielącej się komórki w fazie jaja płodowego i organogenezy, co może skutkować powstaniem wad wrodzonych, prowadzić do defektów

genetycznych w komórkach i nowotworzenia. Zwiększona promieniotwórczość płodu wynika również z bogatego unaczynienia komórek i ich zwiększonego zaopatrzenia w tlen.

Skutki napromieniowania zarodka lub płodu zależą od wielkości dawki i okresu ciąży: w okresie wczesnej ciąży napromieniowanie dużą dawką może prowadzić do śmierci zarodka, a w okresie organogenezy do wystąpienia wad wrodzonych lub zgonu wewnątrzmacicznego płodu.

Co oznacza jednak duża dawka promieniowania i jakie dawki otrzymuje zarodek/płód przy standardowych badaniach radiologicznych? Czy w trakcie badania RTG, w którym nie ma bezpośredniej ekspozycji na promieniowanie może dojść do uszkodzenia zarodka/płodu? Z badań przeprowadzonych na zwierzętach o zbliżonej do człowieka promieniotwórczości wynika, że takiego ryzyka nie stwierdza się poniżej dawki ekspozycyjnej 100 mSv (dawka jednoznaczna przy promieniowaniu RTG z dawką pochłoniętą 100 mGy). Naturalne ryzyko zdarzeń niepożądanych, czyli niezależne od czynników zewnętrznych ryzyko poronienia, zaburzeń organogenezy w trakcie ciąży i ryzyko wystąpienia upośledzenia czy nowotworzenia w dzieciństwie, wynosi ok. 28,6% (większość zdarzeń to samoistne poronienia) [19]. W praktyce nie jesteśmy w stanie odróżnić naturalnego ryzyka tych zdarzeń i popromiennych powikłań w przypadku kobiet w ciąży poddanych badaniom z zastosowaniem promieniowania jonizującego. Oceniono, że napromieniowanie zarodka/płodu dawką 50 mSv zwiększa ryzyko wystąpienia zdarzeń niepożądanych o 0,17% [20]. Według badaczy były to skutki tzw. stochastyczne, czyli niezależne od dawki pochłoniętego promieniowania ryzyko przyszłego nowotworzenia w wyniku uszkodzenia DNA komórki. Zgodnie z tą opinią przy dawce 50 mSv ryzyko wystąpienia nowotworu w dzieciństwie zwiększa się z 1:3000 do 1:2000.

W 2008 r. *American College of Radiology* (ACR) opublikowało wytyczne dotyczące stosowania metod diagnostycznych u kobiet w ciąży z oceną ryzyka związanego z każdą metodą obarczoną promieniowaniem jonizującym [21, 22]. Wytyczne te oparto na wynikach licznych badań przeprowadzonych na zwierzętach, analizach epidemiologicznych ofiar ataku nuklearnego w Japonii oraz pacjentek poddanych radioterapii z powodu raka macicy [23]. Na podstawie uzyskanych danych, stwierdzono, że ryzyko pojawienia się jakichkolwiek powikłań przy dawce pochłoniętej przez zarodek/płód poniżej 100 mGy (100 mSv) jest bardzo mało prawdopodobne (10 z 19). Nie potwierdzono również wcześniejszej opinii, by dawka 50 mSv wyzwała ryzyko nowotworzenia w okresie dzieciństwa [21, 24, 25]. Według zebranych informacji nie ma żadnych dowodów, że dawka do 50 mSv powoduje jakiegokolwiek negatywne skutki, nawet te określane jako stochastyczne [26]. Uważa się, że przy dawce pochłoniętej poniżej 100 mSv nie powinno się doradzać kobiecie przerwania ciąży. Ekspozycja medyczna na powyżej 150 mSv wiąże się ze zwiększonym prawdopodobieństwem uszkodzenia

zarodka/płodu, natomiast dawka 200 mSv jest uznana za graniczną do zalecania przerwania ciąży, gdyż prawdopodobieństwo uszkodzenia jest wysokie [20]. W standardowej CT narządów oddalonych od miednicy zagrożenie takimi dawkami nie istnieje.

Większa część dawki promieniowania pochłanianej przez zarodek/płód przy badaniach radiologicznych w diagnostyce kardiologicznej pochodzi z promieniowania rozproszonego (Comptona). Fotony z wiązki pierwotnej, które uległy rozproszeniu, nie znikają całkowicie, a jedynie zmieniają swój kierunek i energię. W ten sposób powstaje promieniowanie rozproszone, które mimo że wiązka pierwotna była skierowana tylko na obszar klatki piersiowej, dociera do narządów miednicy małej.

Dawki promieniowania (głównie rozproszonego), które otrzymuje zarodek/płód przy badaniach kardiologicznych z użyciem promieniowania jonizującego wynoszą znacznie poniżej 50 mSv (50 mGy), z wyjątkiem badania obejmującego miednicę małą [27]:

- RTG klatki piersiowej — 0,0001 mGy (< 0,01 mGy);
- angiografia CT naczyń płucnych (zatorowość) — 0,01–0,66 mGy;
- angiografia CT naczyń wieńcowych z prospektywnym bramkowaniem EKG — ok. 1 mGy;
- angiografia TK naczyń wieńcowych z retrospektywnym bramkowaniem EKG — ok. 3 mGy;
- CT klatki piersiowej — 0,3 mGy;
- CT jamy brzusznej i miednicy (np. w rozwarstwieniu aorty) — 6,7–56 mGy;
- koronarografia — 0,074–1,5 mGy;
- fluoroskopia w trakcie przezskórnej interwencji wieńcowej, ablacji — 0,094–0,244 mGy/min.

W przypadku promieniowania RTG 1 mGy (dawka pochłonięta) równa się 1 mSv (dawka efektywna).

Ochrona przed ekspozycją medyczną w fazie jaja płodowego, gdy kobieta nie wie jeszcze, że jest w ciąży, wymaga zastosowania prostej zasady wprowadzonej przez *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) tzw. „ten day rule”, czyli wykonywania RTG u kobiet w wieku prokreacyjnym jedynie w ciągu 10 dni od początku cyklu menstruacyjnego. Takie postępowanie chroni przed nieświadomym napromieniowaniem zarodka jeszcze przed jego zagnieżdżeniem się w macicy.

W sytuacjach, gdy konieczne jest przeprowadzenie u kobiety w ciąży klasycznego RTG czy CT w diagnostyce kardiologicznej, należy rozważyć, czy zaniechanie wykonania badania prowadzącego do właściwej diagnozy nie jest większym zagrożeniem dla płodu niż ryzyko radiacyjne. Angiografia CT naczyń płucnych przy podejrzeniu zatorowości czy angiografia CT aorty przy podejrzeniu jej rozwarstwienia dostarczają minimalną dawkę pochłoniętą przez zarodek/płód i powodują niewielką ekspozycję.

Wielofazowych badań CT klatki piersiowej unika się w czasie ciąży, ponieważ są one obarczone wyższą niż angiografia CT dawką pochłoniętego promieniowania i należy przy nich indywidualnie dobierać parametry lampy rentgenowskiej (kolimację, czyli ograniczenie wiązki do obszaru badanego i filtrację, czyli redukcję ilości promieniowania o niskiej energii), a także czas ekspozycji, wielkość napromieniowanego pola oraz zastosowanie osłon absorbujących część promieniowania pierwotnego i rozproszonego.

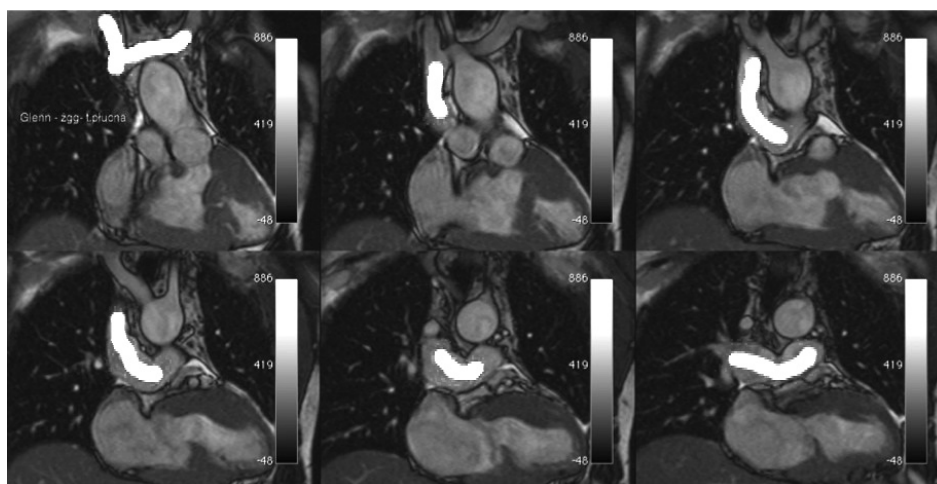
W ekspozycji na promieniowanie jonizujące w celach diagnostycznych stosowana jest tzw. zasada ALARA (*as low as reasonable achievable*), sformułowana po raz pierwszy w 1977 r. Zgodnie z nią dawki promieniowania należy ograniczyć w sposób maksymalny, ale równocześnie rozsądny. Oznacza to takie zmniejszenie dawek, aby zostały jeszcze utrzymane istotne diagnostycznie elementy obrazu radiograficznego [1]. Osłony zewnętrzne stosowane na obszar miednicy obniżają dawkę dla zarodka/płodu o 3% [28].

Według ekspertów ICRP [12] jest mało prawdopodobne, aby ekspozycja medyczna stosowana w rutynowych badaniach w obrębie klatki piersiowej spowodowała jakiegokolwiek uszkodzenie płodu.

Kontrast jodowy stosowany dożylnie przy badaniach radiologicznych przechodzi przez łożysko, ale nie ma on jednak działania teratogenne, nie powoduje też innych niekorzystnych efektów. Wyniki badań z 2010 r. potwierdziły, że pojedyncze dożylnie podanie kontrastu jodowego w czasie ciąży nie ma zauważalnego wpływu na funkcję tarczycy dziecka [29], ale wielokrotne badania z kontrastem mogą spowodować niedoczynność tarczycy w wyniku nagromadzenia jodu w owodni. Niskoosmolarne kontrasty jodowe wg amerykańskiej Agencji ds. Żywności i Leków (FDA) charakteryzują się kategorią B w warunkach ciąży, czyli mogą być stosowane i nie zagrażają uszkodzeniem zarodka/płodu [30].

Rezonans magnetyczny

W 1991 r. organizacja sprawdzająca bezpieczeństwo wykonywania badań MRI — *The Safety Committee of the Society of Magnetic Resonance Imaging* ogłosiła, że nie ma jakichkolwiek doniesień na temat szkodliwości MRI u kobiet w ciąży [31] i dotychczas nie ma informacji, które zmieniałyby tę sytuację mimo wielu MRI wykonanych u kobiet w ciąży z zastosowaniem skanerów 1,5- i 3-teslowych [32]. W 2010 r. powstały nowe wytyczne ACR (*ACR–SPR Practice Guideline for the Safe and Optimal Performance of Fetal Magnetic Resonance Imaging*) dotyczące badań płodu i kobiet w ciąży — obowiązuje zasada wyższości korzyści diagnostycznych nad nieznanymi potencjalnymi niekorzystnymi efektami na zarodek/płód. Domniemane ryzyko, niepoparte dotychczas żadnymi doniesieniami, to biologiczny efekt stałego, silnego pola magnetycznego i zmieniających się szybko gradientów pola magnetycznego mogących teoretycznie wywołać efekt uszkodzenia cieplnego płodu w pierwszym trymestrze ciąży [33].



Rycina 3. Pacjentka z wrodzoną wadą serca w postaci czynnościowo pojedynczej komory serca z wytworzonym zespoleniem Glenna. Za pomocą rezonansu magnetycznego (MRI) serca bez użycia środka kontrastowego można sprawdzić drożność połączenia żylnopłucnego oraz tętnic płucnych. Stosując metodę kinematograficzną badania MRI i angiografię kontrastu fazowego MRI, można bez podawania kontrastu ocenić funkcję systemowej komory i przepływy w dużych naczyniach

Dlatego też obowiązuje ograniczenie zarówno czasu trwania, jak i energii dostarczonej ciężarnej w czasie MRI ($SAR < 3 \text{ W/kg}$). W trakcie MRI płód jest narażony na silny hałas, ale nie ma doniesień o uszkodzeniu z tego powodu narządu słuchu [34].

Badanie MRI serca może być uzasadnione u kobiet ciężarnych z wrodzonymi wadami serca, rozwarstwieniem lub koarktacją aorty. Zawsze jako pierwsze badanie diagnostyczne należy wykonać echokardiografię [1]. W sytuacji, gdy badanie to jest nierozstrzygające, np. nie uzyskano odpowiedniej jakości obrazu lub nadal są wątpliwości diagnostyczne, wówczas bezkontrastowe MRI stanowi właściwe narzędzie obrazowe.

Szczególne wskazania do MRI serca obejmują złożone wady wrodzone, najczęściej po zabiegach naprawczych (ryc. 3), w których zgodnie z wytycznymi ESC badanie MRI serca ma wyższość nad echokardiografią [35]:

- ocena parametrów funkcjonalnych prawej komory w tetralogii Fallota lub systemowej prawej komorze;
- ocena drogi odpływu prawej komory i conduitów prawa komora–tętnica płucna;
- ilościowa ocena niedomykalności płucnej;
- ocena tętnic płucnych (tętniak, stenoza) i aorty (tętniak, rozwarstwienie, koarktacja);
- ocena drożności żył płucnych i systemowych.

Większość kobiet w ciąży z wymienionymi powyżej rozpoznaniem należy do grupy III WHO, charakteryzującej się ryzykiem powikłań powyżej 20%, wymagającej bardzo częstej kontroli w czasie ciąży [36]. Hemodynamiczne skutki ciąży: zwiększony rzut serca i zmniejszony opór obwodowy nakładające się na istniejącą wadę serca mogą powodować objawy kliniczne wymagające weryfikacji w badaniu MRI.

Badania perfuzji i żywotności serca w MRI także są dopuszczane, jednak z uwzględnieniem ryzyka związanego

z dożylnym podaniem środka kontrastowego — gadolinu. Gadolin podany dożylnie przechodzi z krwią przez łożysko i w dużych dawkach może powodować poronienia, opóźnienie rozwoju dziecka i nieprawidłowości w rozwoju [37]. Według FDA środek kontrastowy paramagnetyczny jest traktowany jako kategoria C, czyli możliwy do stosowania jedynie, gdy zysk z diagnozy przewyższa znacznie ryzyko dla płodu. Szczególnie należy unikać kontrastów o budowie liniowej: gadodiamide (Omniscan), gadoversemide (Optimark) i gadopentate (Magnevist).

Bardzo ważnym wskazaniem do badań obrazowych w czasie ciąży jest podejrzenie zatorowości płucnej — ryzyko jej wystąpienia wzrasta istotnie w czasie ciąży i jest przyczyną aż 20% zgonów wśród ciężarnych [38]. W wytycznych zaleca się zastosowanie CT lub/i scyntygrafii perfuzyjnej i wentylacyjnej do diagnostyki zatorowości płucnej, ale ze względu na zwiększoną w ciąży promieniowrażliwość gruczołów piersiowych można zastąpić CT obrazowaniem MRI bez stosowania kontrastu paramagnetycznego. Nowa technika trójwymiarowego obrazowania naczyń płucnych MRI z zastosowaniem bramkowania EKG i oddechowego pozwala na ocenę zatorowości w obrębie proksymalnych odcinków tętnic płucnych z dużą dokładnością (czułość 89–100%, swoistość 93–98%) [8], a także służy do obrazowania anomalii odejścia tętnic wieńcowych (ryc. 4).

BADANIE ULTRASONOGRAFICZNE

Ultrasonografia (USG) jest podstawowym narzędziem diagnostycznym w czasie ciąży. Zgodnie z standardami Polskiego Towarzystwa Ginekologicznego (PTG) badanie to powinno być wykonywane u wszystkich kobiet w ciąży o przebiegu prawidłowym, co najmniej 3 razy w trakcie jej trwania. W zależności



Rycina 4. Obrazowanie proksymalnych odcinków tętnic wieńcowych z zastosowaniem metody trójwymiarowej rezonansu magnetycznego z bramkowaniem EKG i oddechowym — uwidoczniła anomalię odejścia tętnicy okalającej, która odchodzi od wspólnego pnia z prawej zatoki wieńcowej. Taką samą metodą, bez konieczności podania kontrastu paramagnetycznego, można wykonać badanie tętnic płucnych przy podejrzeniu zatorowości płucnej; PTW — prawa tętnica wieńcowa

od zaawansowania ciąży zakres USG jest różny [39]. Obecnie brakuje badań, których wyniki sugerują niekorzystny wpływ na rozwój płodu, niemniej w czasie wykonywania należy kierować się zasadą minimalnej dawki (ALARA), aby poprawnie przeprowadzić procedury i uzyskać jak najwięcej danych [40]. Informując ciążarną lub oboje partnerów o wyniku badania USG, należy zawsze pamiętać o ograniczeniach tej metody, która nie pozwala na 100-procentowe rozpoznanie patologii, a jedynie na jej wysoce prawdopodobne podejrzenie. Badanie przed ukończeniem 10. tygodnia ciąży powinno być wykonywane jedynie w przypadku patologii związanych z podejrzeniem nieprawidłowego rozwoju ciąży. Zgodnie ze standardami PTG [39] badanie przeprowadzane w tym okresie powinno być wykonywane sondą dopochwową, ze zwróceniem uwagi na następujące elementy: uwidocznienie i lokalizacja jaja płodowego — potwierdzenie obecności ciąży wewnątrzmacicznej i wykluczenie ciąży ektopowej, ocenę pęcherzyka ciążowego i jego pomiar (GS — średnia z 3 wymiarów), położenie w jamie macicy, liczbę pęcherzyków ciążowych, ich kształt (okrągły, spłaszczony, zarysy regularne lub nie), obecność zarodka (tak/nie). Na podstawie pomiaru długości ciemieniowo-siedzeniowej (CRL) należy określić wiek ciążowy, a także obecność czynności serca płodu (FHR) (przy CRL > 6 mm), liczbę zarodków, kosmówek i owodni, obecność pęcherzyka żółtkowego (YS) i opisać jego ewentu-

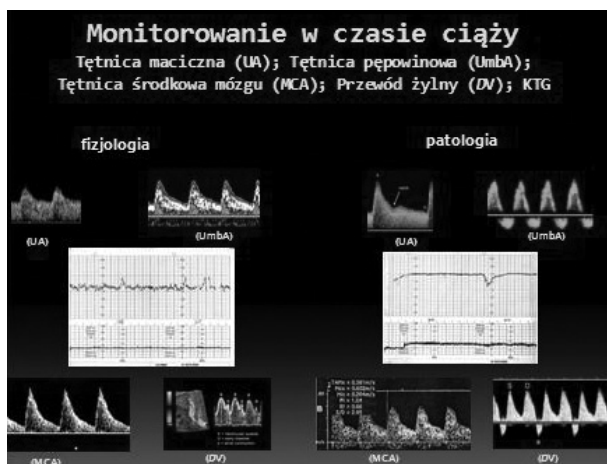
alne nieprawidłowości (kształt, echogeniczność). Należy też przeprowadzić dokładną ocenę narządu rodnego — macicy wraz z szyjką (kształt, budowa, wielkość, struktura) oraz lokalizację i obraz jajników.

Standardowo USG jest wykonywane między 11. a 13. +6. tygodniem ciąży. W trakcie tego badania należy wstępnie ocenić anatomię płodu i oznaczyć ultrasonograficzne markery aberracji chromosomowych. Każda nieprawidłowość powinna stanowić wskazanie do badania rozszerzonego w ośrodku referencyjnym. Opis badania podstawowego musi zawierać: szczegółową ocenę struktury jaja płodowego, liczbę pęcherzyków ciążowych i płodów w jamie macicy, ocenę FHR, wartości pomiarów biometrycznych (CRL, BPD), ocenę anatomii płodu: czaszka (kształt, sierp mózgu, spłoty naczyniówkowe komór bocznych), ściany powłok jamy brzusznej (uwidocznienie przyczepu pępowiny, żołądek, serce płodu — lokalizacja, oś i czynność serca, pęcherz moczowy), kręgosłup, kończyny górne i dolne, ocenę kosmówkowości w ciąży wielopłodowej.

Badanie rozszerzone obejmuje badanie podstawowe oraz określenie dodatkowych markerów aberracji chromosomowych, takich jak: kość nosowa u płodu (NB), przepływ w przewodzie żylnym (DV), przepływ przez zastawkę trójdziałną (TR) oraz tzw. małych markerów, takich jak torbiel spłoty pajęczynówki, poszerzenie miedniczek nerkowych, ognisko hiperechogenne w sercu, hiperechogenne jelito. Na podstawie obrazu USG, danych z wywiadu i wartości markerów biochemicznych (PAPP-A i wolna podjednostka β -hCG) przeprowadza się kalkulację ryzyka wystąpienia aberracji chromosomowych, zwaną testem podwójnym [39].

Celem badania USG w 18.–22. tygodniu ciąży oraz w 28.–32. tygodniu ciąży jest szczegółowa ocena narządów płodu pod kątem oceny anatomii płodu — występowania wad wrodzonych i jego tempa wzrastania wewnątrzmacicznego. Podstawową częścią tego badania jest określenie przybliżonej masy ciała płodu i wieku ciążowego na podstawie parametrów biometrycznych, takich jak: wymiar dwuciemieniowy główki płodu (BPD), obwód główki płodu (HC), obwód brzucha płodu (AC), długość kości udowej (FL), opcjonalnie długość kości ramiennej (HL) oraz wymiar poprzeczny mózdzku (TCD). Należy pamiętać, że określenie szacunkowe masy ciała płodu, a tym samym czasu trwania ciąży na podstawie powyższych parametrów jest obciążone błędem pomiaru, który w pierwszej połowie drugiego trymestru (BPD i FL) można oszacować na od ± 7 do ± 10 dni. W trzecim trymestrze ciąży średni rozrzut szacunkowej oceny wieku ciążowego (ocena wieloparametrowa) wynosi ± 3 tygodnie [39].

W drugim i trzecim trymestrze, poza szczegółową oceną anatomii płodu, w niektórych ośrodkach zalecane jest badanie profilu biofizycznego [41], który w sposób bardziej szczegółowy pozwala oceniać wewnątrzmaciczny dobrostan dziecka. Obejmuje ono ocenę ruchów płodu, napięcie mięśniowe płodu, zapis kardiograficzny (test niestresowy — NT) oraz określenie ilości wód płodowych. Należy zaznaczyć,



Rycina 5. Zasady monitorowania ciąży w trzecim trymestrze za pomocą takich parametrów, jak: przepływ dopplerowski krwi w tętnicy macicznej, tętnicy pępowinowej, tętnicy środkowej mózgu płodu, przewodzie żylnym i zapis kardiokotograficzny

że mała ilość wód płodowych stanowi niezależny czynnik ryzyka patologii płodu. W niektórych ośrodkach kolejnym, badaniem polecanym w drugim i trzecim trymestrze ciąży jest ocena przepływów krwi w jednostce maczyno-płodowej za pomocą metod dopplerowskich [42, 43]. Zgodnie z zasadami postępowania w czasie USG, szczególnie pod koniec drugiego i w trzecim trymestrze, zwraca się uwagę na wzrastanie płodu w celu rozpoznania wewnątrzmacicznego ograniczenia wzrastania płodu (IUGR) (ryc. 5).

Ciąża, u pacjentki ze schorzeniem układu sercowo-naczyniowego jest ciążą wysokiego ryzyka, dlatego poza standardowym USG wymagane jest badanie rozszerzone. Ze względu na fakt, że u kobiet z wrodzonymi wadami serca występuje znacznie wyższe ryzyko wystąpienia wrodzonych wad serca u płodu (4,9% w Polsce, 7% w Wielkiej Brytanii [44, 45]) należy każdej ciężarnej zaproponować rozszerzone badanie USG w pierwszym trymestrze w celu oceny ryzyka wystąpienia wady wrodzonej u płodu. Jednak optymalnym terminem rozpoznawania wady wrodzonej serca u płodu jest okres między 18. a 20. tygodniem ciąży. Ponieważ schorzenia układu sercowo-naczyniowego u kobiety w ciąży wiążą się z ryzykiem przewlekłego niedotlenienia płodu oraz IUGR, każdorazowo USG powinno zawierać, poza badaniem podstawowym opisanym powyżej, także ocenę profilu biofizycznego płodu, a także badanie przepływów dopplerowskich [46].

Częstość wykonywanych badań zależy od rodzaju schorzenia serca, wydolności układu sercowo-naczyniowego oraz od patologii w przebiegu ciąży. Wynosi ona: do 28. tygodnia ciąży dla kobiet w I-II klasie wg NYHA — 1 × w miesiącu, a dla kobiet w III-IV klasie wg NYHA — co 2 tygodnie lub częściej. Natomiast badania po 28. tygodniu ciąży aż do porodu powinny odbywać się co tydzień.

PODSUMOWANIE

Metody obrazowania, w których nie stosuje się promieniowania jonizującego, takie jak echokardiografia i MRI, powinny być preferowane w diagnostyce kardiologicznej kobiet w ciąży. Jednak żadne badanie, nawet obarczone ryzykiem radiacyjnym (CT i RTG), nie powinno być wykluczone ze schematu diagnostycznego, jeżeli może doprowadzić do postawienia właściwej diagnozy w sytuacji występowania niepokojących objawów klinicznych. Nie zawsze możliwe jest uniknięcie ekspozycji medycznej ciężarnych w trakcie diagnostyki. Należy jednak pamiętać, że nie ma dowodów na wystąpienie powikłań po jednorazowym badaniu CT lub RTG. Powinno się również z całą starannością planować CT lub RTG, tak by maksymalnie obniżyć dawkę pochłoniętą promieniowania jonizującego.

Konflikt interesów: nie zgłoszono

Piśmiennictwo

1. Regitz-Zagrosek V, Lundqvist CB, Borghi C et al. ESC Guidelines on the management of cardiovascular diseases during pregnancy. The Task Force on the Management of Cardiovascular Diseases during Pregnancy of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*, 2011; 32: 3147–3197.
2. Standardy Sekcji Echokardiografii Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego 2007. Echokardiografia w praktyce klinicznej. *Kardiologia Pol*, 2007; 65: 8.
3. ACCF/AHA/ACEP/ASNC/SCAI/SCCT/SCMR 2007 Appropriateness Criteria for Transthoracic and Transesophageal Echocardiography. A Report of the American College of Cardiology Foundation Quality Strategic Directions Committee Appropriateness Criteria Working Group, American Society of Echocardiography, American College of Emergency Physicians, American Society of Nuclear Cardiology, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Cardiovascular Computed Tomography, and the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. Endorsed by the American College of Chest Physicians and the Society of Critical Care Medicine. *J Am Coll Cardiol*, 2007; 50: 187–204.
4. Vahanian A, Alfieri O, Andreotti F et al. Guidelines on the management of valvular heart disease (version 2012). The Joint Task Force on the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur Heart J*, 2012; 33: 2451–2496.
5. Dharmarajan L, Hale TM, Velastegui Z et al. Utility of two-dimensional echocardiography in pregnancy and post-partum period and impact on management in and inner city hospital. *J Perinat Med*, 2009; 37: 663–668.
6. Tracz W, Leśniak-Sobelga A. Fizjologia układu krążenia u zdrowej kobiety w ciąży. Choroby serca u kobiet w ciąży. In: Świątecka G, Kornacewicz-Jach Z eds. *Via Media*, Gdańsk 2006.
7. Leśniak-Sobelga A, Tracz W, Podolec P. Ciąża u kobiet z wszczepionymi zastawkami serca. *Kardiologia Po Dyplomie*, 2011; 10: 38–43.
8. Colletti PM, Lee KH, Elkayam U. Cardiovascular Imaging of the pregnant Patient. *AJR* 2013; 200: 515–521.
9. Hryniewiecki T, Gąsior Z, Rużyłło W. *Wady serca*. Medical Tribune Polska, Warszawa 2013.
10. International Commission on Radiological Protection. Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals. Pergamon Press; ICRP Publication 53, Oxford 1988.

11. International Commission on Radiological Protection. Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals. Pergamon Press, ICRP Publication 80, Addendum to ICRP 53, Oxford 1998.
12. International Commission on Radiological Protection. Pregnancy and medical radiation. Pergamon Press; ICRP Publication 84, Oxford 2000.
13. Russell JR, Stabin MG, Sparks RB. Radiation absorbed dose to the embryo/fetus from radiopharmaceuticals. *Health Phys*, 1997; 73: 756–769.
14. Ginsberg JS, Hirsh J, Rainbow AJ, Coates G. Risks to the fetus of radiologic procedures used in the diagnosis of maternal venous thromboembolic disease. *Thromb Haemost*, 1989; 61: 189–196.
15. Chan WS, Ray JG, Murray S et al. Suspected pulmonary embolism in pregnancy: clinical presentation, results of lung scanning, and subsequent maternal and pediatric outcomes. *Arch Intern Med*, 2002; 162: 1170–1175.
16. Einstein AJ, Henzlova MJ, Rajagopalan S. Estimating risk of cancer associated with radiation exposure from 64-slice computed tomography coronary angiography. *JAMA*, 2007; 298: 317–323.
17. Wagner LK, Lester RG, Saldana LR. Exposure of the pregnant patient to diagnostic radiations: a guide to medical management. 2nd Ed. Medical Physics Publishing, Madison WI 1997.
18. Culver CM, Dworkin HJ. Radiation safety considerations for post-iodine-131 thyroid cancer therapy. *J Nucl Med*, 1992; 33: 1402–1405.
19. Brent RL. Utilization of development basic science principles in the evaluation of reproductive risks from pre- and postconception environmental radiation exposure. *Teratology*, 1999; 59: 182–204.
20. Wiesler KM, Bhargava P, Kanal KM et al. Imaging in pregnant patients: examination appropriateness. *RadioGraphics*, 2010; 30: 1215–1229.
21. American College of Radiology. ACR practice guideline for imaging pregnant or potentially pregnant adolescents and women with ionizing radiation. American College of Radiology, Reston, Va 2008.
22. Streffer C; International Commission on Radiation Protection. The ICRP 2007 recommendations. *Radiat Prot Dosimetry*, 2007; 127: 2–7.
23. Patel SJ, Reede DL, Katz DS. Et al. Imaging the pregnant patient for nonobstetric conditions: algorithms and radiation dose considerations. *RadioGraphics*, 2007; 27: 1705–1722.
24. Brent RL. The effect of embryonic and fetal exposure to x-ray, microwaves, and ultrasound: counseling the pregnant and nonpregnant patient about these risks. *Semin Oncol*, 1989; 16: 347–368.
25. ACOG Committee Opinion. Number 299, September 2004 (replaces No. 158, September 1995). Guidelines for diagnostic imaging during pregnancy. *Obstet Gynecol*, 2004; 104: 647–651.
26. Brent RL. Saving lives and changing family histories: appropriate counseling of pregnant women and men and women of reproductive age, concerning the risk of diagnostic radiation exposures during and before pregnancy. *Am J Obstet Gynecol*, 2009; 200: 4–24.
27. Goldberg-Stein SA, Liu B, Hahn PF, Lee SI. Radiation dose management. Part 2. Estimating fetal radiation risk from CT during pregnancy *AJR*, 2012; 198 [web]: W352–W356.
28. Damilakis J, Theocharopoulos N, Perisinakis K et al. Conceptus radiation dose and risk from cardiac catheter ablation procedures. *Circulation*, 2001; 104: 893–897.
29. Bourjeily G, Chalhoub M, Phornphutkul C et al. Neonatal thyroid function: effect of a single exposure to iodinated contrast medium in utero. *Radiology*, 2010; 256: 744–750.
30. American College of Radiology (ACR) website. ACR manual on contrast media, version 7.gm.acr. July 2012.
31. Shellock FG, Kanal E. Policies, guidelines, and recommendations for MR imaging safety and patients management. SMRI Safety Committee. *J Magn Reson Imaging*, 1991; 1: 97–101.
32. MRIsafety.com website. Pregnant patients and MR procedures. www.mrisafety.com/safety_article.asp/subject=50. August 8, 2012.
33. Coakley FV, Glenn OA, Qayyum A et al. Fetal MRI: a developing technique for the developing patient. *Am J Roentgenol*, 2004; 182: 243–252.
34. Glover P, Hykin J, Gowland P et al. An assessment of intraurine sound intensity level during obstetric echo-planar MRI. *Br J Radiol*, 1995; 68: 1090–1094.
35. ESC Guidelines for the management of grown-up congenital heart disease (new version 2010). The Task Force on the Management of Grown-up Congenital Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*, 2010; 31: 2915–2957.
36. Thorne S, MacGregor A, Nelson-Piercy C. Risks of contraception and pregnancy in heart disease. *Heart*, 2006; 92: 1520–1525.
37. Lin SP, Brown JJ. MR contrast agents: physical and pharmacologic basics. *J Magn Reson Imaging*, 2007; 25: 884–899.
38. Abele JT, Sunner P. The clinical utility of diagnostic imaging algorithm incorporating low-dose perfusion scans in evaluation of pregnant patients with clinically suspected pulmonary embolism. *Clin Nucl Med.*, 2013; 38: 29–32.
39. Pietryga M, Borowski D, Bączert J et al. Rekomendacje Sekcji Ultrasonografii Polskiego Towarzystwa Ginekologicznego w zakresie przesiewowej diagnostyki ultrasonograficznej w ciąży o przebiegu prawidłowym (2011). *Ginekol Pol.* 2012; 83: 309–315.
40. Ziskin MC. Update on the safety of ultrasound in obstetrics. *Semin Roentgenol*, 1990; 25: 294–298.
41. Manning FA. Fetal biophysical profile scoring: current assessment. In: Van Geijn HP, Copray FJA eds. A critical appraisal of fetal surveillance. Elsevier Science B.V., Philadelphia 1994.
42. Wladimiroff JW, van den Wijngaard JAGW, Degani S et al. Cerebral and umbilical arterial blood flow velocity waveforms in normal and growth-retarded pregnancies. *Obstet Gynecol*, 1987; 69: 705–709.
43. Habek D, Hodek B, Herman R et al. Fetal biophysical profile and cerebro-umbilical ratio in assessment of perinatal outcome in growth-restricted fetuses. *Fetal Diagn Ther*, 2003; 18: 12–16.
44. Grupa Robocza Europejskiego Towarzystwa Kardiologicznego (ESC) do spraw leczenia dorosłych pacjentów z wrodzonymi wadami serca. Wytyczne dotyczące leczenia dorosłych pacjentów z wrodzonymi wadami serca (nowa wersja 2010). *Kardiol Pol*, 2010; 68 (suppl. IX): 639–696.
45. Wren C, O'Sullivan JJ. Survival with congenital heart disease and need for follow up in adult life. *Heart*, 2001; 85: 438–443.
46. Wan Ahmad WA, Khanom M, Yaakob ZH. Heart failure in pregnancy: an overview. *Int J Clin Pract*, 2011; 65: 848–851.