

Bezpieczeństwo nieinwazyjnych technik obrazowania serca i naczyń. Stanowisko grupy ekspertów polskiego Klinicznego Forum Obrazowania Serca i Naczyń

Safety of non-invasive cardiovascular imaging techniques. Expert consensus statement of the Polish Clinical Forum for Cardiovascular Imaging

Piotr Lipiec¹, Edyta Płońska-Gościński², Jacek Kuśmierk³, Anna Płachcińska⁴, Ludomir Stefańczyk⁵, Agata Majos⁶, Jan Z. Peruga¹, Piotr Szymański⁷, Mirosław Dziuk⁸, Jerzy Walecki⁹, Cezary Kęпка¹⁰, Jarosław D. Kasprzak¹

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 Kęпка, Mariusz Skowerski, Zbigniew Gąsior, Jerzy Walecki, Piotr Szymański, Katarzyna Mizia-Stec, Anna Klisiewicz, Piotr Hoffman, Piotr Podolec, Piotr Pruszczyk, Jarosław D. Kasprzak, Adam Torbicki

¹Katedra Kardiologii, Uniwersytet Medyczny, Łódź

²Klinika Kardiologii, Pomorski Uniwersytet Medyczny, Szczecin

³Zakład Medycyny Nuklearnej, Uniwersytet Medyczny, Łódź

⁴Zakład Kontroli Jakości Badań i Ochrony Radiologicznej, Uniwersytet Medyczny, Łódź

⁵I Zakład Radiologii i Diagnostyki Obrazowej, Uniwersytet Medyczny, Łódź

⁶II Zakład Radiologii i Diagnostyki Obrazowej, Uniwersytet Medyczny, Łódź

⁷Klinika Wad Nabytych Serca, Instytut Kardiologii, Warszawa

⁸Zakład Medycyny Nuklearnej i Wojskowej, Wojskowy Instytut Medyczny, Warszawa

⁹Zakład Radiologii i Diagnostyki Obrazowej, Centrum Medycznego Kształcenia Podyplomowego, Warszawa

¹⁰Klinika Choroby Wieńcowej i Strukturalnych Chorób Serca, Instytut Kardiologii, Warszawa

WSTĘP

Jesteśmy świadkami szybkiego rozwoju nieinwazyjnych technik obrazowania serca i naczyń, wiążącego się z wzrastającą ich dostępnością oraz coraz powszechniejszym ich stosowaniem w codziennej praktyce klinicznej. Zjawisko to zmusza do refleksji nad bezpieczeństwem tych technik i możliwymi działaniami niepożądanymi. Należy przy tym zwrócić uwagę na stosunkowo rzadkie powikłania, które jednak ze względu na znaczną liczbę wykonywanych procedur stanowią rosnący problem kliniczny.

ECHOKARDIOGRAFIA

Standardowa, spoczynkowa echokardiografia przekłatkowa jest najczęściej stosowaną nieinwazyjną techniką obrazowania w kardiologii. Badanie to, jako całkowicie nieinwazyjne i opar-

te na ultradźwiękach, jest pozbawione działań niepożądanych i może być wykonywane wielokrotnie, bez konieczności jakiegokolwiek przygotowania pacjenta do badania.

Echokardiografia obciążeniowa opiera się na obciążeniowych protokołach wysiłkowych lub farmakologicznych, które mogą się wiązać z wystąpieniem działań niepożądanych zależnych od specyficznego działania bodźca obciążającego lub reakcji pacjenta podwyższonego ryzyka na zwiększone obciążenie serca. Zastosowanie protokołów obciążeniowych warunkuje konieczność selekcji pacjentów z uwzględnieniem przeciwwskazań do poszczególnych protokołów i konieczność wykonywania tych badań w odpowiednio wyposażonej pracowni. Pacjent powinien być w trakcie badania stale monitorowany, tak by umożliwić odpowiednio wczesne stwierdzenie niepokojących objawów, pozwalające na ewentualne

Adres do korespondencji:

dr hab. n. med., prof. nadzw. UM Piotr Lipiec, Katedra Kardiologii, Uniwersytet Medyczny, ul. Kniaziewiczza 1/5, 91–347 Łódź, e-mail: lipiec@ptkardio.pl

Copyright © Polskie Towarzystwo Kardiologiczne

wcześniejsze przerwanie testu i wdrożenie terapii powikłań. Szczegółowe dane na ten temat są zawarte w opublikowanych niedawno wytycznych Sekcji Echokardiografii Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego dotyczących zastosowania echokardiografii obciążeniowej w praktyce klinicznej [1]. Przy zachowaniu wspomnianych środków ostrożności bezpieczeństwo badania jest zbliżone do klasycznej próby wysiłkowej EKG lub nieznacznie wyższe (w przypadku badań z dobutaminą).

Echokardiografia przezprzełykowa jest badaniem bezpiecznym, chociaż może się wiązać z wystąpieniem powikłań o charakterze mechanicznym spowodowanych wprowadzeniem sondy do przełyku lub będących wynikiem stosowanej premedykacji. Również to badanie wymaga selekcji pacjentów z uwzględnieniem przeciwwskazań do procedury, powinno być wykonywane w odpowiednio wyposażonej pracowni przy stałym monitorowaniu pacjenta, który został wcześniej stosownie przygotowany do badania. Szczegółowe informacje na ten temat przedstawiono w aktualnych wytycznych Sekcji Echokardiografii Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego dotyczących zastosowania echokardiografii przezprzełykowej w praktyce klinicznej [2].

Echokardiografia kontrastowa polega na podaniu dożylnym środków o charakterystyce przepływu zbliżonej do erytrocytów, które dzięki zdolności do silnego rozpraszania fal dźwiękowych powodują wzmocnienie sygnału powracającego do głowicy ultrasonograficznej i dostarczają informacji o przepływie krwi w obszarze zainteresowania. Od wielu lat środki kontrastowe tzw. generacji 0 (płyny infuzyjne energicznie wymieszane z krwią pacjenta i niewielką ilością powietrza) są stosowane głównie w celu wykrywania wad przeciekowych na podstawie uwidocznienia pasażu kontrastu do jam lewego serca technikami echokardiografii przezprzełykowej lub doplera przezczaszkowego. Możliwe działania niepożądane to incydenty niedokrwienia ośrodkowego układu nerwowego wynikające z prawo-lewego przecieku i zatorowania przez pęcherzyki powietrza zawarte w podawanej zawieszynie. Choć są one rzadkie (w badaniu Romero i wsp. [3] zaobserwowano 5 incydentów na ponad 3300 badań), należy w codziennej praktyce przestrzegać zasad pozwalających na zmniejszenie ich ryzyka: ograniczyć objętość podawanej zawiesziny do koniecznego minimum, dokładnie i energicznie wymieszać powietrze z płynem bezpośrednio przed podaniem, podawać ze strzykawki w pozycji pionowej i nie wstrzykiwać ostatniego 1 ml zawiesziny zawierającego największe pęcherzyki, a tym bardziej powietrza znajdującego się nad zawiesziną pęcherzyków w płynie.

Środki kontrastowe generacji II stosowane w celu poprawy wizualizacji granic wsierdza są również uważane za bezpieczne, a ich działania niepożądane są rzadkie i niegroźne; do najczęstszych należą m.in.: bóle głowy, mdłości i wymioty, przemijające zaburzenia smaku i podrażnienia w miejscu dożylnego podania [4]. Możliwe i bezpieczne jest również ich stosowanie w trakcie badań obciążeniowych [5]. Ponieważ jednak opisano przypadki ciężkiej hipotonii, bradykardii, za-

trzymania krążenia, zawału serca i zgonu, czasowo związane, choć bez ewidentnego związku przyczynowo-skutkowego z podaniem kontrastu, Europejska Agencja ds. Leków (EMA) i analogiczna agencja amerykańska (FDA) wprowadziły dla wybranych środków kontrastowych ostrzeżenia dotyczące ich stosowania u pacjentów niestabilnych klinicznie — w zależności od środka kontrastowego całkowite przeciwwskazanie lub wymaganie dotyczące monitorowania tych chorych przez 30 min po zastosowaniu kontrastu [6, 7]. Ich wykorzystywanie jest również przeciwwskazane z prawo-lewymi lub dwukierunkowymi przeciekami. W ostatnim czasie jednak FDA wycofała wymagania dotyczące monitorowania niestabilnych pacjentów po podaniu jednego ze środków kontrastowych [7].

Podsumowując, badania echokardiograficzne, w tym bardziej złożone procedury, jak testy obciążeniowe czy echokardiografia przezprzełykowa, należą do najbezpieczniejszych nieinwazyjnych technik obrazowania i przy uwzględnieniu zalecanych środków ostrożności mogą być bezpiecznie stosowane u większości pacjentów z chorobami serca i naczyń.

TECHNIKI RADIOIZOTOPOWE

Radioizotopowe badania perfuzji, funkcji i żywotności mięśnia sercowego znalazły stałe miejsce w praktyce klinicznej. Metodą radioizotopową zdecydowanie najczęściej wykorzystywaną w diagnostyce kardiologicznej jest scyntygrafia perfuzyjna mięśnia sercowego.

Stosowane w radioizotopowych technikach diagnostycznych radiofarmaceutyki są podawane drogą zwykłej iniekcji dożylną, a ilość wprowadzanej substancji jest tak znikoma (zwykle rzędu mikrogramów w 1–2 ml soli fizjologicznej), że nie powoduje żadnych uchwytnych zaburzeń ustrojowych. Reakcje uboczne po podaniu radiofarmaceutyków są niezwykle rzadkie, a jeżeli już występują, to mają zazwyczaj charakter łagodnych reakcji uczuleniowych, takich jak: uczucie ciepła, ból głowy, nudności, świąd skóry, czasem pokrzywka. Radiofarmaceutyki należą do najbezpieczniejszych pod tym względem „środków kontrastowych”.

Ryzyko zdrowotne dla pacjentów, poza możliwością wystąpienia powikłań związanych z zastosowaniem wysiłkowego lub farmakologicznego testu obciążeniowego, wynika więc praktycznie jedynie z faktu emisji przez atomy promieniotwórcze, będące immanentną składową radiofarmaceutyków, promieniowania jonizującego gamma lub pozytonów w pozytonowej tomografii emisyjnej, które w wyniku anihilacji emitują również kwantowe promieniowanie gamma. Wielkość tego ryzyka jest zależna od dawki promieniowania jonizującego. Dawki promieniowania, jakie pochłaniają poszczególne narządy pacjenta, są zdefiniowane jako stosunek pochłoniętej energii promieniowania do masy obszaru pochłaniającego. Jednostką dawki pochłoniętej jest grej (Gy).

Biologiczne następstwa promieniowania jonizującego można ująć w 2 zasadnicze kategorie, określone jako tzw. następstwa deterministyczne (zwane też tkankowo-narządo-

Tabela 1. Dawki efektywne dla pacjenta w radioizotopowych procedurach kardiologicznych [10–13]

Badanie	Radiofarmaceutyk	Aktywność [MBq]	Dawka efektywna [mSv]
Scyntygrafia perfuzyjna mięśnia sercowego (SPECT)	^{99m} Tc-MIBI (spocz.)	740	6,7
	^{99m} Tc-MIBI (wys.)	740	5,8
	^{99m} Tc-tetrofosmina (spocz.)	740	5,6
	^{99m} Tc-tetrofosmina (wys.)	740	5,2
	²⁰¹ Tl (chlorek)	74	16,0
Scyntygrafia perfuzyjna mięśnia sercowego (PET)	⁸² Rb wys./spocz.	2 × 740	5,0
	¹³ N NH ₃ spocz./wys.	2 × 550	2,2
	H ₂ ¹⁵ O spocz./wys.	2 × 740	1,4
Angiokardiografia radioizotopowa techniką bramkową (planarna, SPECT)	^{99m} Tc-krwinki czerwone	740	5,2
Badanie żywotności mięśnia sercowego (PET)	¹⁸ F fluorodezoksyglukoza	370	7,0

wymi) i stochastyczne [8, 9]. Następstwa deterministyczne, pojawiające się na skutek zniszczenia przez promieniowanie istotnej części komórek tkanki lub narządu, nie występują nigdy w wyniku stosowania radiofarmaceutyków dla celów diagnostycznych. Następstwa stochastyczne to takie, których wystąpienie rozważa się w kategoriach prawdopodobieństwa. Ich przyczyną jest uszkodzenie przez promieniowanie komórek somatycznych i rozrodczych. Komórki, które przeżyją napromienienie, mogą być nośnikami mutacji w wyniku uszkodzenia DNA. Zmiany o charakterze mutacyjnym mogą prowadzić do rozwoju złośliwych nowotworów i następstw dziedzicznych (ujawniających się w postaci wad rozwojowych u potomstwa osób napromienionych).

W dozymetrii w celu oceny ekspozycji całego ustroju pacjenta stosuje się tzw. dawki efektywne [8]. Wielkość dawki efektywnej uwzględnia zarówno różnice w dawkach pochłoniętych przez poszczególne narządy (z uwzględnieniem różnej tzw. skuteczności biologicznej różnych rodzajów promieniowania jonizującego, jeżeli radiofarmaceutyk emituje więcej niż 1 rodzaj promieniowania), jak i różnice podatności tych narządów na wywołanie tzw. uszczerbku na zdrowiu, który może zostać spowodowany przez nowotwory wywołane promieniowaniem. Jednostką dawki efektywnej jest siwert (Sv). Dawki efektywne dla pacjenta w diagnostycznych radioizotopowych procedurach kardiologicznych przedstawiono w tabeli 1. Są one niższe lub porównywalne z dawkami efektywnymi radiologicznych procedur stosowanych w diagnostyce kardiologicznej. Obecnie dominuje przekonanie, że w zakresie małych i średnich dawek prawdopodobieństwo indukcji nowotworów oraz następstw dziedzicznych jest wprost proporcjonalne do dawki promieniowania i zależności te nie mają charakteru progowego (nie istnieją dawki progowe, poniżej których te efekty by nie występowały) [8, 9].

Ryzyko wystąpienia wad rozwojowych w wyniku popromiennych mutacji w komórkach rozrodczych jest bardzo

niskie — rzędu 10⁻⁶ (1 na milion) dla dawki pochłoniętej 1 mGy przez pierwsze 2 pokolenia (dawki pochłonięte przez gonady na skutek typowych badań scyntygraficznych nie przekraczają kilku do kilkudziesięciu mGy) [10, 11]. Natomiast ryzyko umieralności z powodu złośliwych nowotworów wywołanych przez promieniowanie jonizujące szacuje się dla poziomu dawek stosowanych w badaniach diagnostycznych na 10⁻⁴–10⁻⁵ (1:10 000–1:100 000) na mSv [9]. Na przykład ryzyko towarzyszące scyntygrafii perfuzyjnej mięśnia sercowego (przy dawce efektywnej rzędu 10 mSv na badanie w warunkach obciążenia wysiłkiem i w spoczynku) można oszacować na 0,1–1 promila. W celu oceny tego ryzyka z właściwej perspektywy wartości te można porównać z ryzykiem umieralności z powodu nowotworów występujących w populacjach ludzkich, wynoszącym w krajach rozwiniętych ok. 25% [9].

Należy ponadto pamiętać, że potencjalnie niekorzystne następstwo jest odłożone w czasie w stosunku do momentu napromienienia. Najkrótszy okres utajnienia dla białaczek popromiennych wynosi 2–3 lata (śr. 7 lat), a dla nowotworów litych 10–15 lat (śr. > 20 lat). Z tego względu ryzyko zachorowania na nowotwór na skutek napromienienia w trakcie badań z zastosowaniem promieniowania jonizującego zmniejsza się z wiekiem. Prawdopodobieństwo indukcji nowotworu po 60. rż. jest znacznie, prawdopodobnie ok. 5-krotnie, niższe niż wartości przeciętne (w wyniku mniejszej oczekiwanej pozostałej długości życia) [9].

Uwzględniając powyższe fakty, należy uznać, że stosowanie metod medycyny nuklearnej w diagnostyce, w tym kardiologicznej, wiąże się z bardzo niewielkim ryzykiem radiacyjnym. Badanie radioizotopowe, o ile jest wykonane we właściwy sposób i z istotnych wskazań, jest dla pacjenta źródłem korzyści zdrowotnych zdecydowanie przewyższających potencjalnie istniejące (bardzo niewielkie) zagrożenie dla życia i zdrowia.

Tabela 2. Procedury stosowane w tomografii komputerowej w ocenie serca i dużych naczyń a zagrożenia [16]

Procedura	Droga dożylna	Środek cieniujący (stężenie ≥ 370 mmol/ml)	Radiacja — dawka efektywna [mSv]
Wskaźnik uwapnienia tętnic wieńcowych (<i>calcium score</i>)	Niewymagane	Niestosowany	1–12
Ocena morfologii i funkcji serca	Kaniula 20 G (śr. wewnętrznej 0,8 mm)	50–80 ml (4–4,8 ml/s)	20–30
Angiografia tętnic płucnych	Kaniula 20 G (śr. wewnętrznej 0,8 mm)	1,5 ml/kg cc (4 ml/s)	10–30
Angiografia aorty piersiowej	Kaniula 20 G (śr. wewnętrznej 0,8 mm)	1,5 ml/kg cc (4 ml/s)	15–25
Angiografia tętnic wieńcowych	Kaniula 18 G (śr. wewnętrznej 1 mm)	50–80 ml (4,8–7 ml/s)	8–18/1–4*

*Z bramkowaniem prospektywnym

TOMOGRAFIA KOMPUTEROWA

Badania metodą tomografii komputerowej (CT) nabrały znaczenia w kardiologii od czasu wprowadzenia skanerów wielorządowych (MSCT) pozwalających na szybką akwizycję danych. Bramkowanie badania na podstawie EKG pozwoliło na ocenę zmian miażdżycowych, analizę drożności tętnic wieńcowych oraz określenie morfologii i funkcji mięśnia sercowego [14]. Kolejnym krokiem było wprowadzenie aparatów dwuźródłowych i badania dwuenergetycznego (akwizycja danych jest szybsza, a obrazowanie może się odbywać przy zastosowaniu promieniowania o różnych parametrach energetycznych) — rozwiązanie to nie tylko poprawia rozdzielczość czasową badania, ale także rozdzielczość tkankową, pozwalając m.in. na ocenę perfuzji narządowej [14, 15].

Zagrożenia związane z CT można sklasyfikować w 3 grupach: związane z drogą podania środka cieniującego, związane z oddziaływaniem ogólnoustrojowym środka cieniującego, związane z radiacją [15, 16]. Stopień występowania tych zagrożeń ściśle wiąże się z typem procedury oraz z uwarunkowaniami konstytucjonalnymi pacjenta, co wpływa zarówno na ilość zastosowanego środka cieniującego, jak i na zakres akwizycji oraz warunki prądowe lampy rentgenowskiej, które wpływają na poziom radiacji [14–16]. Dane te, w zależności od typu akwizycji, zestawiono w tabeli 2.

Większość procedur CT w ocenie serca i dużych naczyń wymaga podania dużej objętości jodowego środka kontrastowego w bolusie. Prędkość podania jest duża — od 4 ml/s w badaniach dużych naczyń i ocenie morfologii serca do 4,8–7 ml/s w badaniach naczyń wieńcowych. Wymaga to sprawnego zastosowania drogi dożylną (wenflon co najmniej różowy, preferowany zielony) założonej do naczyń zgięcia łokciowego [17]. Powikłania związane z podaniem środka poza naczynie, najczęściej w konsekwencji uszkodzenia ściany lub pęknięcia cewnikowanego naczynia, obecnie są rzadkością ze względu na monitorowanie ciśnienia podania w trakcie iniekcji (wstrzykiwacz automatycznie przerywa

podanie w odpowiedzi na wzrost ciśnienia odpływu). Jeśli jednak dojdzie do wynaczynienia środka cieniującego, należy je szczegółowo ocenić i odnotować. Trzeba ocenić obrzęk i napięcie obszaru wynaczynienia (efekt masy), tętno na tętnicy promieniowej i łokciowej, wypełnienie kapilar obwodowych po ucisku oraz czucie i motorykę w obrębie kończyny. W celu ograniczenia powikłań kończyna powinna być uniesiona, a w miejscu wynaczynienia można zastosować okład z lodu. W przypadku stwierdzenia zaburzeń ukrwienia lub/i zaburzeń czucia jest zalecana konsultacja chirurgiczna i dalsze leczenie w zależności od skali urazu. Konsultacja jest wskazana także wówczas, jeśli objętość wynaczynionego środka przekracza 100 ml lub 60 ml, ale podanego w okolicy nadgarstka lub dłoni. W przypadkach tych istnieje ryzyko powstania owrzodzenia skóry i wtórnej infekcji miejscowej lub uogólnionej. Ryzyko jest wysokie zwłaszcza u chorych wyniszczonych z niedokrwiem kończyn, z cukrzycą, chorobami układowymi lub poddawanych immunosupresji

Środki cieniujące oparte na jodzie mogą wykazywać działanie nefrotoksyczne lub powodować reakcje pseudoalergiczne (objawy nietolerancji środka cieniującego mogą wystąpić już przy pierwszej ekspozycji). Nefropatia po podaniu radiologicznych środków cieniujących jest w Europie trzecią co do częstości przyczyną wystąpienia ostrej niewydolności nerek, powstałej w trakcie hospitalizacji. Nefropatią kontrastową (CIN) określa się ostrą niewydolność nerek u osoby z prawidłową ich czynnością przed zabiegiem diagnostycznym z użyciem środka kontrastującego bądź istotne pogorszenie funkcji nerek u pacjentów z uprzednio rozpoznaną przewlekłą niewydolnością nerek. Istotne pogorszenie funkcji nerek definiuje się na podstawie norm laboratoryjnych — obniżenie klirensu kreatyniny o $\geq 25\%$ lub wzrost stężenia kreatyniny w surowicy krwi o $\geq 25\%$ bądź o $\geq 0,5$ mg/dl ($44,2 \mu\text{mol/l}$) w stosunku do wartości przed zabiegiem w okresie 24–72 godzin po podaniu środka kontrastowego [18]. Nefropatia po-kontrastowa występuje u 3,3–16,5% chorych po procedurach

z użyciem środków kontrastowych, a częstość jej występowania zależy głównie od wydolności nerek: przy prawidłowej filtracji kłębuszkowej ryzyko rozwoju nefropatii nie przekracza 5%, u osób ze stężeniem kreatyniny 2 mg/dl wynosi ok. 20%, a przy stężeniu kreatyniny > 5 mg/dl dochodzi do 50% [18]. Im wyższe jest wyjściowe stężenie kreatyniny w surowicy, tym ryzyko wystąpienia niewydolności nerek jest większe. Chorzy, u których rozwinęła się pokontrastowa niewydolność nerek, charakteryzują się wyższym szacunkowym ryzykiem zgonu w obserwacji odległej w porównaniu z pacjentami bez CIN.

Do czynników ryzyka rozwoju nefropatii po podaniu radiologicznych środków kontrastowych należą czynniki wynikające ze stanu zdrowia pacjenta poddanego procedurze z zastosowaniem kontrastu oraz czynniki wynikające z samej procedury. Pierwsze obejmują: rozpoznaną uprzednio niewydolność nerek (definiowaną jako spadek filtracji kłębuszkowej < 60 ml/min/1,73 m² lub stężenie kreatyniny ≥ 1,5 mg/dl), cukrzycę, zwłaszcza nefropatię cukrzycową, podeszły wiek, odwodnienie, hipotonię, zastoinową niewydolność serca (zwłaszcza w III i IV klasie wg NYHA), obniżenie frakcji wyrzutowej lewej komory, ostry zawał serca, wstrząs kardiogeny, szpiczaka plazmocytozy, stan po przeszczepieniu nerki, hipalbuminię (< 35 g/l) i niedokrwistość z obniżeniem hematokrytu (< 39% u mężczyzn, < 36% u kobiet) [19]. Część z tych czynników ryzyka można modyfikować, nawadniając pacjenta, zatrzymując czynne krwawienie i przetaczając masę erytrocytarną, podając albuminy, unikając leków potencjalnie nefrotoksycznych czy pogarszających funkcję niewydolnych nerek. Czynniki ryzyka nefropatii zależne od samej procedury są modyfikowalne. Należą do nich: objętość podawanego środka kontrastowego, dotętnicze podanie kontrastu, wysoka osmolarność czy też wielokrotne podanie kontrastu w ciągu 72 godzin.

Przed wykonaniem badania należy zebrać wywiad, szczególnie dotyczący przebiegu wcześniejszych badań kontrastowych czy istnienia czynników ryzyka rozwoju nefropatii po podaniu środków cieniujących. Za podstawę profilaktyki CIN uważa się odpowiednie nawodnienie pacjenta w postaci płynów przyjmowanych doustnie i dożylnie przed procedurą związaną z podawaniem kontrastu oraz nawodnienie dożylnie w trakcie i po zakończeniu procedury. Do planowego badania z użyciem kontrastu pacjent powinien być na czczo — powstrzymać się jedynie od przyjmowania pokarmów, a przyjmować płyny doustnie w ilości ok. 1–1,5 l. Płyny należy podawać doustnie lub dożylnie (co jest preferowane u pacjentów hospitalizowanych, stosując nawodnienie izotoniczne za pomocą roztworu 0,9% NaCl) w ciągu 12 godzin przed badaniem w ilości 1 ml/kg mc./h. Nawodnienie trzeba kontynuować także po zakończeniu badania. Pacjentów z ciężką niewydolnością serca można nawadniać dożylnie tylko w razie bezwzględnej konieczności, monitorując stan kliniczny chorego.

W badaniach klinicznych stosowano wiele leków potencjalnie skutecznych, jednak jak wykazały wyniki badań klinicznych, nie zapobiegały one wystąpieniu nefropatii

kontrastowej, a często były dodatkowym czynnikiem obciążającym rokowanie. Również do niedawna zalecana w licznych rekomendacjach N-acetylocysteina w świetle publikowanych doniesień nie zapobiega wystąpieniu CIN i nie poprawia rokowania chorych z CIN [20].

Kluczowe w zmniejszeniu ryzyka alergicznych reakcji pokontrastowych jest zebranie wywiadu. Pacjentom, u których w przeszłości notowano ciężką nietolerancję środków cieniujących opartych na jodzie (anafilaksja, zapaść krążeniowo-oddechowa, wstrząs), nie powinno się go podawać ponownie. U osób z reakcją niewielką (reakcje skórne, kaszel, łzawienie, nudności, wymioty), chorujących na astmę lub zgłaszających silne reakcje alergiczne jest zalecana premedykacja (50 mg prednizonu doustnie 13, 7 h i 1 h przed badaniem lub dożylnie 200 mg hydrokortyzonu 6 h i 2 h przed badaniem).

Jak przedstawiono w tabeli 2, narażenie na promieniowanie jonizujące podczas badań serca i dużych naczyń nie jest małe [16, 17]. Szczególnie wysokie dawki notuje się przy zastosowaniu protokołów sterujących akwizycją na podstawie retrospektywnych odczytów krzywej EKG (nowoczesne bramkowanie prospektywne znamiennie obniża to narażenie). Dawka zależy też istotnie od doświadczenia ośrodka, masy pacjenta (rośnie wraz z masą ciała i szerokością obszaru skanowania) oraz od częstości rytmu serca (w przypadku skanerów jednoźródłowych szybki rytm zwiększa dawkę) [15, 16].

REZONANS MAGNETYCZNY

Badania metodą rezonansu magnetycznego (MRI) są uznawane za bezpieczne zarówno pod względem oddziaływania pola magnetycznego na organizm człowieka, jak i wykorzystywanych tu środków kontrastujących. Jednak niezwykle dynamiczny rozwój metody będący odzwierciedleniem jej rosnącej wartości klinicznej i ciągle nowych zastosowań, w tym kardiologicznych, ściśle wiąże się z wprowadzaniem coraz silniejszych, statycznych pól magnetycznych, szybszych gradientów, silniejszych impulsów o wysokiej częstotliwości, większego natężenia hałasu, które mogą mieć negatywne efekty biologiczne [21].

Obecnie dopuszczone dla obrazowania w praktyce klinicznej są statyczne pola magnetyczne o sile 0,2–4,7 T. Wpływ narażenia krótkoterminowego pól o tych wartościach został już wielokierunkowo zbadany w aspekcie: wzrostu, morfologii, rozmnażania komórek, struktury DNA, ekspresji genów, rozwoju pre- i post-natalnego, przepuszczalności bariery krew–mózg, aktywności nerwów, zmian hematologicznych, regulacji temperatury, odporności immunologicznej, czynności układu sercowo-naczyniowego, a nawet funkcji poznawczych i zachowania. W żadnym z raportów nie stwierdzono działań niepożądanych w tych obszarach [22]. Do dziś natomiast nie określono efektów biologicznych długoterminowego oddziaływania pola magnetycznego. Stało się to palącą, rzeczywistą potrzebą kliniczną ze względu na lawinowy wzrost liczby wykonywanych MRI. Zwłaszcza w odniesieniu do tych

Tabela 3. Powikłania nieinwazyjnych technik obrazowania serca i naczyń stosowanych w praktyce klinicznej

Procedura	Charakter najistotniejszych powikłań	Ryzyko powikłań doraźnych	Ryzyko powikłań odległych
Echokardiografia spoczynkowa	–	–	–
Echokardiografia obciążeniowa	Wynikające z zastosowanego bodźca obciążającego	++	–
Echokardiografia przezprzetykowa	Mechaniczne	+	–
Scyntygrafia perfuzyjna	Działanie niepożądane premedykacji		
	Działanie promieniowania jonizującego	+	++
Tomografia komputerowa	Wynikające z zastosowanego bodźca obciążającego		
	Działanie środków kontrastowych	+++	+++
Rezonans magnetyczny	Działanie promieniowania jonizującego		
	Wpływ pola magnetycznego na implantowane urządzenia	+	+
	Odległe działanie środków kontrastowych		

pacjentów, u których istnieje konieczność powtarzania badań w związku z monitorowaniem rozwoju choroby czy oceną skuteczności wdrożonych procedur terapeutycznych.

Gradientowe pola magnetyczne mają realny wpływ na stymulację nerwów obwodowych i serca, ale — co ważne — w zakresach niedostępnych jeszcze w instalacjach klinicznych. Hałas panujący w skanerze MRI wpływa na rozdrażnienie, trudności w komunikacji werbalnej oraz czasowe i stałe upośledzenie słuchu [23].

Rzeczywiste zagrożenia przy kierowaniu na MRI serca i naczyń stanowią: urządzenia metaliczne przewodzące o wydłużonym kształcie, tj. elektrody, przewody, odprowadzenia EKG, prowadniki, cewniki, klipsy naczyniowe, zastawki serca i pierścienie w plastyce zastawek, spirale, filtry, stenty, rozruszniki serca. Poza niepożądanymi działaniami mechanicznymi obiekty metaliczne mogą powodować efekty termiczne, tj. oparzenia I–III° [24]. Różnorodność tych urządzeń i ich intensywny rozwój uniemożliwiają krótkie i przejrzyste zdefiniowanie producentów czy typów jako jednoznacznie zalecanych lub niedopuszczalnych. Stenty wieńcowe, sztuczne zastawki i szwy na mostku są z reguły bezpieczne. W przypadkach wątpliwych najwygodniejszym i najskuteczniejszym sposobem weryfikacji ich bezpieczeństwa i źródłem potrzebnych informacji jest strona internetowa <http://www.mrisafety.com/>.

Koniecznym nawykiem powinno stać się przekazywanie pacjentom informacji o wszczepianym implancie, protezie itd. dostarczanych przez producenta, jak również opisu zabiegu przez operatora, zwłaszcza w procedurach nietypowych. W 2005 r. zaktualizowano międzynarodowe oznaczenia materiałów medycznych na ich opakowaniach i ulotkach wykorzystujące klasyfikację: MR Safe (kolor zielony) MR *Conditional* (kolor żółty) i MR *Unsafe* (kolor czerwony), znacznie ułatwiające określenie ich własności w polu magnetycznym.

Interesujący dla środowiska kardiologicznego jest fakt, że dziś MRI w pewnej grupie chorych z rozrusznikami serca są

możliwe, choć nie w zakresie diagnostyki serca. Konieczne jest ciągłe monitorowanie funkcji życiowych, stosowanie odpowiednio zaprojektowanych sekwencji (m.in. obniżających energię impulsu RF czy pól gradientowych) oraz kontrola rozrusznika po badaniu. Trwają prace nad nową generacją kardiostymulatorów, ale nadal chorzy zależni od stymulacji zewnętrznej stanowią grupę, u której MRI jest bezwzględnie przeciwwskazany [25].

Oddzielną kategorię zagrożeń stanowią metaliczne ciała obce, których identyfikacja może być trudna nawet dla samych pacjentów. Dlatego też kluczową rolę stanowi dokładne badanie podmiotowe i przedmiotowe oraz właściwie ułożone ankiety przed MRI, których kolejne wersje są wciąż doskonałe. Należy podkreślić, że metaliczne obiekty w ciałach pacjentów są dla nich źródłem możliwych zagrożeń biologicznych, a także przyczyną artefaktów, często znacznie obniżających wartość diagnostyczną badania. Wskazania do badań serca czy naczyń w tej grupie chorych muszą być więc wnikliwie rozważone.

Rezonans magnetyczny serca wymaga podania środków kontrastujących. Mogą one stanowić przyczynę wystąpienia objawów niepożądanych. Reakcje ostre nie odbiegają od typowych objawów alergicznych dla środków kontrastujących zawierających w swym składzie jod, a stosowanych w obrazowaniu rentgenowskim. Najpoważniejsze jednak są reakcje późne, zwłaszcza systemowe zwłóknienie nefrogeniczne. Do chorych o wysokim ryzyku jego wystąpienia należą pacjenci z przewlekłą chorobą nerek w stadium zaawansowania 4 (GFR < 30 ml/min/1,75 m²), dializowani, po przeszczepie wątroby. U tych chorych nie powinno się stosować żadnych środków kontrastujących. W razie konieczności klinicznej jest dopuszczalne podanie wyłącznie środków o najniższym ryzyku wystąpienia działań niepożądanych, takie jak środki o budowie cyklicznej cząsteczek. Należą do tej grupy: gadobutrol, gadoterate meglumine i gadoteriol. U osób badanych

z prawidłową czynnością nerek ryzyko wystąpienia objawów ubocznych, przy stosowaniu ustalonych dawek, jest minimalne [26].

PODSUMOWANIE

Nieinwazyjne techniki obrazowania serca i naczyń, często mylnie postrzegane jako całkowicie bezpieczne, wiążą się jednak z określonym ryzykiem działań niepożądanych, z wyjątkiem spoczynkowej echokardiografii przezklatkowej (tab. 3). Ryzyko to można jednak w znaczącej części przypadków zmniejszyć poprzez odpowiednią kwalifikację i przygotowanie pacjentów, zastosowanie adekwatnych protokołów badań oraz środków kontrastowych, a także monitorowanie i ocenę chorych w trakcie procedury i po jej zakończeniu.

Konflikt interesów: Piotr Lipiec — Bracco, GE, Philips; Jarosław D. Kasprzak — Bracco, GE.

Piśmiennictwo

1. Płońska-Gościński E, Gackowski A et al. Rekomendacje 2011 Sekcji Echokardiografii Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego dotyczące zastosowania echokardiografii obciążeniowej w praktyce klinicznej. *Kardiologia Pol*, 2011; 69: 642–648.
2. Szyszka A, Płońska-Gościński E, Kasprzak JD et al. Rekomendacje 2011 Sekcji Echokardiografii Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego dotyczące zastosowania echokardiografii przezprzełykowej w praktyce klinicznej. *Kardiologia Pol*, 2011; 69: 755–760.
3. Romero JR, Frey JL, Schwamm LH et al. Cerebral ischemic events associated with 'bubble study' for identification of right to left shunts. *Stroke*, 2009; 40: 2343–2348.
4. 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.
5. Wejner-Mik P, Lipiec P, Kasprzak JD. Perfuzyjna echokardiografia obciążeniowa czasu rzeczywistego dla oceny rokowania u pacjentów z podejrzeniem stabilnej choroby niedokrwiennej serca. *Pol Przegl Kardiol*, 2012; 14: 13–17.
6. Strona internetowa European Medicines Agency: www.ema.europa.eu, aktualne dane w dniu 05.11.2012.
7. Strona internetowa US Food and Drug Administration: www.fda.gov, aktualne dane w dniu 05.11.2012.
8. ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP* 37 (2–4).
9. Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej (International Commission on Radiological Protection). Promieniowanie i Ty i Twój pacjent. Przewodnik dla lekarzy opracowany przez grupę roboczą pod przewodnictwem prof. dr. hab. Juliana Linieckiego. Elsevier, Łódź 2011.
10. ICRP, 1988. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. ICRP Publication 53. *Ann. ICRP* 18 (1–4).
11. ICRP, 1998. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals (Addendum to ICRP Publication 53). ICRP Publication 80. *Ann. ICRP* 28 (3).
12. Schwaiger M, Ziegler S, Nekolla SG. PET/CT: challenge for nuclear cardiology. *J Nucl Med*, 2005; 46: 1664–1678.
13. Stabin, MG. Radiopharmaceuticals for nuclear cardiology: radiation dosimetry, uncertainties and risk. *J Nucl Med*, 2008; 49: 1555–1563.
14. Taylor AJ, Cerqueira M, Hodgson JM et al. ACCF/SCCT/ACR/AHA/ASE/ASNC/NASCI/SCAI/SCMR 2010 appropriate use criteria for cardiac computed tomography. A report of the American College of Cardiology Foundation Appropriate Use Criteria Task Force, the Society of Cardiovascular Computed Tomography, the American College of Radiology, the American Heart Association, the American Society of Echocardiography, the American Society of Nuclear Cardiology, the North American Society for Cardiovascular Imaging, the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *J Am Coll Cardiol*, 2010; 56: 1864–1894.
15. ICRP, 2007. Managing Patient Dose in Multi-Detector Computed Tomography (MDCT). ICRP Publication 102. *Ann. ICRP* 37 (1).
16. Gerber TC, Carr JJ, Arai AE et al. Ionizing radiation in cardiac imaging: a science advisory from the American Heart Association Committee on Cardiac Imaging of the Council on Clinical Cardiology and Committee on Cardiovascular Imaging and Intervention of the Council on Cardiovascular Radiology and Intervention. *Circulation*, 2009; 119: 1056–1065.
17. Rybicki FJ. Protocol fundamentals for coronary computed tomography angiography. *US Cardiology*, 2005; 2: 119–121.
18. Klinger M, Penar J. Ostra niewydolność nerek po stosowaniu radiologicznych środków cieniujących. In: Matuszkiewicz-Rowińska J ed. Ostra niewydolność nerek. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2006: 214–221.
19. Mehran R, Aymong ED, Nikolsky E et al. A simple risk score for prediction of contrast-induced nephropathy after percutaneous coronary intervention: development and initial validation. *J Am Coll Cardiol*, 2004; 44: 1393–1399.
20. Berwanger O; ACT Investigators. Acetylcysteine for Prevention of Renal Outcomes in Patients Undergoing Coronary and Peripheral Vascular Angiography. Main Results From the Randomized Acetylcysteine for Contrast-Induced Nephropathy Trial (ACT). *Circulation*, 2011; 124: 1250–1259.
21. Coskun O. Magnetic resonance imaging and safety aspects. *Toxicol Ind Health*, 2011; 27: 307–213.
22. Chakeres DW, Kangarlou A, Boudoulas H et al. Effect of static magnetic field exposure of up to 8 Tesla on sequential human vital sign measurements. *J Magn Reson Imag*, 2003; 18: 346–352.
23. Shellock FG, Crues JV. MR procedures: biologic effects, safety, and patient care. *Radiology*, 2004; 232: 635–652.
24. Gill A, Shellock FG. Assessment of MRI issues at 3-Tesla for metallic surgical implants: findings applied to 61 additional skin closure staples and vessel ligation clips. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2012; 14: 3.
25. Halshok O, Goitein O, Abu Sham'a R et al. Pacemakers and magnetic resonance imaging: no longer an absolute contraindication when scanned correctly. *Isr Med Assoc J*, 2010; 12: 391–395.
26. Perazella MA. Current status of gadolinium toxicity in patients with kidney disease. *Clin J Am Soc Nephrol*, 2009; 4: 46146–46149.