

Nieinwazyjne badania obrazujące w kardiologii

Izabella Machaj¹, Ewelina Janczewska², Zenon Truszewski², Janusz Trzebicki³, Zbigniew Gaciong¹

¹ Klinika Chorób Wewnętrznych Nadciśnienia Tętniczego i Angiologii, Warszawski Uniwersytet Medyczny

² Zakład Medycyny Ratunkowej, Warszawski Uniwersytet Medyczny

³ I Klinika Anestezjologii i Intensywnej Terapii, Warszawski Uniwersytet Medyczny

Machaj I, Janczewska E, Truszewski Z, Trzebicki J, Gaciong Z. Nieinwazyjne badania obrazujące w kardiologii. Med Og Nauk Zdr. 2015; 21(4): 362–368. doi: 10.5604/20834543.1186906

■ Streszczenie

Wprowadzenie. Nieinwazyjne badanie kardiologiczne to najbezpieczniejsza, a przy tym szybka i relatywnie tania możliwość oceny funkcjonowania układu sercowo-naczyniowego. Popularność oraz szczególna aprobatą i uznanie dla wszystkich stosowanych technik, takich jak: echokardiografia, echokardiografia obciążeniowa, pozytonowa tomografia emisyjna, tomografia emisyjna pojedynczego fotonu, rezonans magnetyczny, związane są nie tylko z odpowiednim wysokiej jakości sprzętem, ale również z dużym doświadczeniem lekarza przeprowadzającego badanie.

Cel pracy. Celem niniejszej pracy jest przedstawienie najczęściej stosowanych metod diagnostycznych w kardiologii nieinwazyjnej jakimi są: echokardiografia, echokardiografia obciążeniowa, pozytonowa tomografia emisyjna, tomografia emisyjna pojedynczego fotonu, rezonans magnetyczny.

Opis stanu wiedzy. Wprowadzenie badania echokardiograficznego do diagnostyki kardiologicznej miało przełomowe znaczenie dla rozwoju tej dziedziny medycyny. Badanie echokardiograficzne obciążeniowe może być wykonywane zarówno metodą obciążenia wysiłkowego, stymulacją elektryczną, jak i metodą obciążenia farmakologicznego. Badanie PET przydatne jest w diagnostyce żywotności mięśnia sercowego – pozwala na pomiar aktywności fizjologicznej mięśnia sercowego. Badania scyntygraficzne najczęściej stosowane są w diagnostyce choroby niedokrwiennej serca oraz u osób, które są obciążone pośrednim ryzykiem wystąpienia choroby niedokrwiennej serca.

Podsumowanie. Mimo iż od dawna mówi się o pandemii chorób sercowo-naczyniowych, to jednak pacjenci podstawowej opieki zdrowotnej nie korzystają z możliwości badań w kierunku ChUK. Wymaga to wprowadzania nowych rozwiązań, planów i programów zdrowotnych na skalę ogólnokrajową.

■ Słowa kluczowe

kardiologia nieinwazyjna, choroby układu krążenia, echokardiografia, pozytonowa tomografia emisyjna, tomografia emisyjna pojedynczego fotonu, rezonans magnetyczny

WPROWADZENIE

Choroby układu krążenia (ChUK) są główną przyczyną zarówno chorobowości, inwalidztwa, jak i przedwczesnej umieralności w krajach rozwiniętych [1]. W Polsce w roku 2010 były odpowiedzialne za około 46,0% zgonów. Według ogólnoświatowych szacunków, choroby sercowo-naczyniowe, mimo istotnych postępów w diagnostyce i leczeniu, w dalszym ciągu pozostaną główną przyczyną zgonów co najmniej do 2020 roku [1, 2]. Częstość incydentów kardiologicznych i neurologicznych wynika przede wszystkim z [3]:

- niedostatecznego poziomu wiedzy na temat prewencji chorób układu krążenia wśród dorosłych
- dużego rozpowszechnienia chorób
- stosunkowo małej wczesnej wykrywalności
- niskiej skuteczności zapobiegania czynnikom ryzyka.

Dominującą rolę w rozwoju i progresji ChUK odgrywają czynniki środowiskowe, w szczególności te związane bezpośrednio z nieprawidłowym trybem życia (niska aktywność fizyczna, nieracionalne odżywianie, nadmierne spożywanie alkoholu, palenie tytoniu). Obniżenie poziomu wyżej wymienionych czynników daje większą szansę na zmniejszenie umieralności z powodu chorób sercowo-naczyniowych, aniżeli poprawa w zakresie diagnostyki i terapii chorób [1, 3].

Adres do korespondencji: Izabella Machaj, Katedra i Klinika Chorób Wewnętrznych, Nadciśnienia Tętniczego i Angiologii Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego ul. Banacha 1a, 02-097 Warszawa
E-mail: izka_iza@op.pl

Nadesłano: 20 lutego 2015; zaakceptowano do druku: 28 października 2015

Nieustanny rozwój kardiologii nieinwazyjnej zawdzięcza się w zdecydowanej mierze osiągnięciom techniki i telemedycyny. Badanie metodami nieinwazyjnymi to najbezpieczniejsza, a przy tym szybka i relatywnie tania możliwość oceny funkcjonowania układu sercowo-naczyniowego [4]. Dzięki kardiologii nieinwazyjnej można zdiagnozować w sposób bezbolesny wiele chorób układu krążenia, unikając agresywnej ingerencji w struktury ciała człowieka, stwarza ona bowiem możliwość podjęcia właściwych decyzji diagnostyczno-terapeutycznych.

Nieinwazyjne metody, które pozwalają zobrazować wnętrze organizmu dzięki wysyłaniu fal dźwiękowych – echokardiografia, np.:

- echokardiografia przezklatkowa/klasyczna (TTE, *transsthoracic echocardiography*)
- echokardiografia obciążeniowa (*stress echo*):
 - echokardiografia adenozynowa lub echokardiograficzny test adenozynowy
 - echokardiografia dipirydamolowa lub echokardiograficzny test dipirydamolowy
 - echokardiografia dobutaminowa lub echokardiograficzny test dobutaminowy
 - echokardiografia wysiłkowa lub echokardiograficzny test wysiłkowy.

Metody wykorzystujące inne zjawiska fizyczne:

- tomografia komputerowa pojedynczego fotonu (PET)
- scyntygrafia perfuzyjna (SPECT)
- rezonans magnetyczny (MRI).

CEL PRACY

Cel niniejszej pracy to przedstawienie najczęściej stosowanych metod diagnostycznych w kardiologii nieinwazyjnej, jakimi są: echokardiografia, echokardiografia obciążeniowa, pozytonowa tomografia emisyjna, tomografia emisyjna pojedynczego fotonu, rezonans magnetyczny.

OPIS STANU WIEDZY

Echokardiografia klasyczna

Wprowadzenie badania echokardiograficznego do diagnostyki kardiologicznej miało ogromne znaczenie dla rozwoju tej dziedziny medycyny. Badanie należy do najpowszechniej stosowanych i uniwersalnych technik obrazowania. Jak każda metoda nieinwazyjna ma wiele zalet: jest mobilna, łatwo powtarzalna, stosunkowo łatwo dostępna i wiąże się z niskim kosztem jednostkowym [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. Na szczególną uwagę zasługuje również wysoka trafność diagnostyczna oraz absolutne bezpieczeństwo pacjentów, którzy jedynie sporadycznie narzekają na niewielki dyskomfort spowodowany uciskiem głowicy [5, 7].

Badanie echokardiograficzne nie należy do metod przesiewowych wykrywających potencjalne choroby w ogólnej populacji społeczeństwa. Decyzja o skierowaniu na TTE powinna opierać się na pewności co do istoty wpływu uzyskanego wyniku na dalszy przebieg postępowania z pacjentem, z uwzględnieniem [5, 6, 7, 10, 11]:

- jakości dostępnej aparatury
- kompetencji osób wykonujących badanie
- dostępu do metod alternatywnych
- wyników badań już przeprowadzonych.

Echokardiogram to specjalistyczne urządzenie ultrasonograficzne, przeznaczone – jak nazwa wskazuje – do badań serca. Emisja i odbiór sygnału ultradźwiękowego jest możliwe dzięki głowicy (sondy), której najważniejszą część stanowi przetwornik piezoelektryczny, zamieniający wiązkę ultradźwięków na energię elektryczną (głowica echokardiogramu wysyła falę ultradźwiękową o częstotliwości w granicach 4–7 MHz dla dzieci i 2–5 MHz dla dorosłych, odbite echa są odbierane i po wzmacnieniu przetwarzane na impulsy elektryczne widoczne na monitorze). Istnieje szereg wymogów, jakie muszą zostać spełnione, by w poradni/szpitalu można było wykonywać badania echokardiograficzne. Sama pracownia powinna odpowiadać wszystkim normom BHP [7, 12, 14].

Standardowe ułożenia pacjenta podczas wykonywanego TTE [7, 12, 13, 14]:

- na lewym boku z lewą ręką umieszczoną pod głową, prawą kończyną górną ułożoną wzdłuż tułowia;
- projekcje przymostkowe uzyskuje się w większym przechyleniu ciała pacjenta na lewy bok, ustawiając sondę w okolicy IV międzyżebrza przy lewym brzegu mostka;
- projekcje koniuszkowe otrzymuje się w płytkim odchyleniu lewobocznym pacjenta, a sondę ustawia się w okolicy uderzenia koniuszkowego;
- projekcje podmostkowe – pozycja na wznak, z kończynami górnymi ułożonymi wzdłuż ciała; sondę ustawia się w okolicy nadbrusza środkowego;
- projekcje nadmostkowe – pozycja na wznak, po odchyleniu głowy pacjenta do tyłu (podłożenie poduszki pod górną część pleców); sonda we wcięciu jarzmowym mostka;

- czasami występuje konieczność ułożenia pacjenta na prawym boku (np. podczas badania w projekcji przymostkowej prawostronnej, w czasie badania pacjenta z dekstro-kardią lub ze znacznym przemieszczeniem śródpiersia na prawą stronę).

W niektórych sytuacjach, gdy optymalne ułożenie ciała pacjenta i prawidłowe ustawienie sondy nie są możliwe (pacjenci unieruchomieni w pozycji na wznak, chorzy z ranami na klatce piersiowej itd.), badanie trzeba wykonać z pominięciem niektórych z wymienionych zasad. W tabeli 1. przedstawiono schorzenia, w których najczęściej zalecane jest badanie echokardiograficzne [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 17].

Skrócone badanie echokardiograficzne wykonywane jest za pomocą przenośnego echokardiografu w celu oceny dominującej patologii i dotyczy przedstawionych w tabeli 1. stanów nagłego zagrożenia życia* (gdzie wymagana jest szybka, często przyłożkowa ocena wielkości jam serca i pni tętniczych, zaburzeń kurczliwości, przerostu mięśnia sercowego, obecności płynu w worku osierdziowym, występowania patologicznych mas wewnętrzsercowych, powikłań mechanicznych zawału serca oraz wstępna ocena morfologii i funkcji zastawek). Badanie może zostać wykonane zarówno za pomocą echokardiografu standardowego, jak i przenośnego (zminiaturyzowane, zasilane baterią urządzenie umożliwiające uzyskiwanie obrazów dwuwymiarowych i kolorowego znakowania przepływu) [7, 14].

Mimo nieinwazyjnego charakteru i dostępności badania, nie należy go wykonywać w sytuacji, gdy wiadomo, że nie wniesie ono dodatkowych informacji w stosunku do tych już uzyskanych przy zastosowaniu innych metod. Według dotychczasowych szacunków liczba nieuzasadnionych skierowań do pracowni echokardiograficznych na badanie w trybie ambulatoryjnym wynosi w Polsce około 30–40%. Zbyt częste kierowanie na powtórne badanie echokardiograficzne dotyczy w szczególności pacjentów [5, 6, 7, 9, 10, 11, 17]:

- ze stabilną chorobą wieńcową
- z tętnakiem przegrody międzyprzedsięwietrza
- z łagodną wadą serca (głównie niedomykalnością mitralną)
- z wypadaniem płatka zastawki mitralnej
- z wszczęzioną sztuczną zastawką (mimo braku zmian obrazu klinicznego)
- z niepowikłanym nadciśnieniem tętniczym
- a także zdrowych kobiet w ciąży.

Echokardiografia obciążeniowa (stress echo)

Badanie echokardiograficzne może być wykonywane zarówno metodą obciążenia wysiłkowego, stymulacją elektryczną, jak i metodą obciążenia farmakologicznego (leki inotropowe lub naczyniorozszerzające), a wybór samego rodzaju zastosowanego obciążenia nie jest jednoznacznie skategoryzowany. Echokardiografia wysiłkowa to tanie i bezpieczne badanie, które jest jednak obarczone pewnymi wadami. Najczęściej przytaczane ograniczenie to utrudniona rejestracja w trakcie wysiłku oraz (w przypadku badań powysiłkowych) zmniejszona czułość związana z opóźnieniem rejestracji. Niezbędna jest również dostateczna tolerancja wysiłku fizycznego pacjenta (osiągnięcie submaksymalnej częstotliwości pracy serca). W przeciwnym razie uzyskany wynik nie może zostać uznany za wiarygodny i diagnostyczny. Echokardiografię farmakologiczną, jako alternatywę dla badania wysiłkowego, wykonuje się zazwyczaj u pacjentów

Tabela 1. Jednostki chorobowe oraz schorzenia, w których najczęściej zlecane jest badanie echokardiograficzne

Jednostka chorobowa/ schorzenie	Przykładowe wskazania do wykonania badania
Choroba wieńcowa	wykluczenie innych przyczyn bólu w klatce piersiowej ustalenie rozpoznania ostrego zespołu wieńcowego – zwłaszcza przy nie diagnostycznym EKG, bloku lewej odnogi pęczka Hissa, stymulacji elektrycznej serca, podejrzenia zawału prawej komory lub ściany tylnej objawy wstrząsu, niestabilności hemodynamicznej pacjenci kierowani na zabieg pierwotnej angioplastyki wieńcowej podejrzenie powikłań zawału serca (pęknięcia wolnej ściany serca, pęknięcie przegrody międzykomorowej, mięśnia brodawkowatego) przed wypisaniem ze szpitala — w celu oceny funkcji skurczowej i rozkurczowej lewej komory, oceny zastawek serca, poszukiwania skrzeplin wewnętrzsercowych
Niewydolność serca	ocena funkcji lewej komory serca, weryfikacja objawów niewydolności serca rozpoznanie dysfunkcji rozkurczowej lewej komory (przy prawidłowej frakcji wyrzutowej) jako przyczyny typowych objawów ocena możliwych przyczyn dysfunkcji mięśnia lewej komory – zaburzenia kurczliwości, przerost ścian serca, wady zastawkowe ocena żywotności danego fragmentu miokardium przed rewaskularyzacją u wszystkich pacjentów z klinicznymi objawami niewydolności serca stwierdzenie po raz pierwszy klinicznych objawów niewydolności serca; kwalifikacja do wszczepienia stymulatora resynchronizującego, do przeszczepu serca; podejrzenie dysfunkcji serca, reakcji odrzucania u biorcy przeszczepu serca
Nadciśnienie tętnicze	u osób z nadciśnieniem II i III stopnia, w przypadku gdy wyniki innych badań wskazują obecność powikłań narządowych
Stany naglego zagrożenia życia *	ostry zespół wieńcowy; ostra niewydolność serca, mechaniczne powikłania zawału, masywny zator tężnicy płucnej, tamponada serca, rozwarczenie aorty, ostra dysfunkcja zastawki
oceny efektów leczenia i rokowań	kontrola funkcji skurczowej lewej komory po zabiegach rewaskularyzacji; ocena czynności lewej komory u pacjentów leczonych zachowawczo z dysfunkcją lewej komory; u pacjentów po zawałe serca i/lub przy występowaniu objawów niewydolności serca; u chorych z dławiącą piersią i współistniejącym nadciśnieniem tętniczym lub cukrzycą
Pierwotne i wtórne kardiomiopatie	kliniczne podejrzenie choroby; zaostrenie dolegliwości lub pojawienie się nowych objawów schorzenia; badania przesiewowe krewnych chorego z kardiomiopatią o możliwym podłożu genetycznym; badania przesiewowe krewnych osób zmarłych nagle w młodym wieku
Nabyte zastawkowe wady serca	ocena pacjenta ze szmerem serca, jeśli istnieje podejrzenie, że jego tłem jest klinicznie istotne schorzenie serca lub dużych naczyń kliniczne objawy zwężenia lub niedomykalności zastawki; konieczność oceny zawałowania wady; badania kontrolne pacjentów z rozpoznaną wadą zastawkową, wystąpienia nowych objawów lub dolegliwości ocena kompensacji wady po zajściu w ciąży pacjentek z rozpoznaną wadą; kwalifikacja do przeskórnego plastyki balonowej, pacjent ze sztuczną zastawką serca
Infekcyjne zapalenie wsierdzia	podejrzenie zapalenia wsierdzia u pacjenta ze sztuczną zastawką, z utrzymującymi się lub nawracającymi stanami gorączkowymi bądź pojawieniem się nowego szmeru ocena czynnościowego znaczenia wady serca u osoby z zapaleniem wsierdzia poszukiwanie następstw i powikłań procesu infekcyjnego kontrola w trakcie antybiotykoterapii u osób z ciężkim przebiegiem choroby
Pozostałe wskazania do wykonania ECHO	wrodzone wady serca, poszukiwanie przyczyn zatorowości tętniczej, choroby osierdzia, podejrzenie choroby aorty piersiowej, ocena echokardiograficzna sportowców, omdlenia

z chorobami naczyń obwodowych, nieprawidłowościami ortopedycznymi, chorobami neurologicznymi oraz innymi współistniejącymi schorzeniami uniemożliwiającymi ruch. Tanim, bezpiecznym i często stosowanym testem w ocenie niedokrwienia i żywotności miokardium jest test dobutaminy (dobutamina podawana dożylnie we wlewie – pocztkowa dawka 5mg/kg/min, zwiększa co 3 minuty do 10, 20, 30, 40 mg/kg/min). W sytuacji niedostatecznej odpowiedzi chronotropowej na zastosowany lek, podaje się dożylnie atropinę (0,25–1 mg, czasem do 2 mg – w przypadku gdy submaxymalna częstotliwość pracy serca nie została osiągnięta). Wadę echokardiografii obciążeniowej farmakologicznie są zaburzenia rytmu, występujące jako działania niepożądane zastosowanego leku [18, 19, 20, 21, 22].

W echokardiografii wysiłkowej, zarówno przeciwwskaźniki do wykonania badania, jak i wskazania do przerwania prowadzonego testu nie odbiegają od tych przytaczanych w związku ze standardowymi próbami wysiłkowymi. W przypadku testu dobutaminowego przeciwwskaźnaniem są groźne arytmie komorowe w wywiadzie. Krytyczne powikłania, jak śmierć lub zawał serca, zdarzają się w trakcie badań obciążeniowych niezwykle rzadko.

Niestanna ewolucja związana z postępem technologicznym wpływa na ciągłą poprawę jakości obrazowania oraz

Tabela 2. Wskazania do echokardiografii obciążeniowej

- identyfikacja niedokrwienia i żywotności mięśnia sercowego – zwłaszcza u pacjentów z pośrednim prawdopodobieństwem schorzenia, z utrudnioną interpretacją EKG, w przypadku:
 - bloku lewej odnogi pęczka Hissa
 - zespołu Wolffa-Parkinsoa-White'a
 - stałej stymulacji u osób zależnych od rozrusznika
 - cech przerostu i przeciążenia lewej komory w EKG
 - spoczynkowego obniżenia ST powyżej 0,5 mm
 - osób z wątpliwym wynikiem elektrokardiograficznej próby wysiłkowej;
- ustalenie rokowania chorego wiążące się z decyzyjami terapeutycznymi (rewaskularyzacja, zabiegowe leczenie wad serca, resynchronizacja, przeszczepienie serca, obciążający zabieg chirurgiczny);
- ocena hemodynamiczna zawałowania wady zastawki mitralnej lub aortalnej;
- określenie rezerwy wieńcowej (gałąź międzykomorowa przednia, rzadziej tylna).

wdrażania coraz to nowszych metod terapii. Echokardiografia obciążeniowa wymaga nie tylko odpowiedniego sprzętu echokardiograficznego umożliwiającego dobrą wizualizację struktur serca badanego, sprzętu wykorzystywanego przy wybranym rodzaju obciążenia (ergometr/bieżnia ruchoma/stymulator/pompa infuzyjna), ale również dużego doświadczenia lekarza przeprowadzającego badanie. Wyniki meta-analiz wskazują na około 80% czułość i swoistość niniejszej metody diagnostycznej [18, 19, 20, 21, 22, 23, 24].

Pozytonowa tomografia emisyjna – PET

Pozytonowa tomografia emisyjna (PET) służy do oceny metabolizmu glukozy, tlenu, perfuzji oraz funkcji receptorów. W badaniu PET wykorzystuje się radionuklidy, które emittują pozytony. Komputer wyświetla przekroje, takie same jak w tomografii. U chorych z przewlekłą niewydolnością serca można śledzić przemiany metaboliczne zachodzące w miokardium dzięki znacznikowi FDG (*fluodeoxyglucose*). Wychwyt FDG w badaniu PET zależy od: stężeń insuliny, glukozy w surowicy krwi oraz metabolizmu glukozy. Jeśli pacjent ma wysokie wartości glikemii wówczas jakość uzyiskiwanych obrazów zmniejsza się [25, 26, 27]. Badanie PET przydatne jest w diagnostyce żywotności mięśnia sercowego. Pozwala na pomiar aktywności fizjologicznej mięśnia sercowego [28]. Istotnym elementem klinicznej oceny pacjentów z niewydolnością serca, chorobą wieńcową i pozawałową jest ocena całkowitej żywotności oraz ocena segmentów lewej komory [29]. Na podstawie badania metodą PET można zakwalifikować pacjenta do rewaskularyzacji lub transplantacji serca. Poniżej przedstawione kryteria doboru pacjentów kwalifikowanych do metody PET [30]:

- objawy niewydolności serca mimo kompleksowego leczenia
- frakcja wyrzutowa lewej komory wynosi poniżej 35%
- obraz tętnic wieńcowych serca wskazuje na możliwość poddania pacjenta rewaskularyzacji.

Brak wskazań do wykonania PET to:

- dolegliwości dławicowe
- małe zaburzenia czynności skurczowej
- obraz tętnic wieńcowych serca wykluczających rewaskularyzację
- znaczna rozstrzeń lewej komory oraz zaawansowana przebudowa.

Narodowy Fundusz Zdrowia refunduje badanie PET w określonych przypadkach [31]:

- u osób z ChNS oraz objawami niewydolności lewej komory, którzy są przez leczeniem rewaskularizacyjnym;
- przed decyzją o transplantacji serca, aby wykluczyć nieodwracalne uszkodzenie podczas procesu zapalnego gdy nie można go wykluczyć za pomocą innych badań.

Pierwsze badanie, które zostało wykonane z wykorzystaniem techniki molekularnej, odbyło się w 1927 roku przez Baumgarta i Weissa. Naukowcy, podając dożylnie radon, mierzyli czasy krążenia. Wysiłkowa scyntygrafia perfuzyjna mięśnia sercowego została wprowadzona w 1973 roku przez H. Williama Straussa. Pierwsze doniesienia o metodzie PET przypadają na lata 50. XX wieku, a pierwszy skaner PET zastosowano w Waszyngtonie na Uniwersytecie St. Louis w połowie lat 70. ubiegłego wieku [32, 33, 34].

Tomografia emisyjna pojedynczego fotonu – SPECT

Tomografia emisyjna pojedynczego fotonu SPECT (*single photon emission computer tomography*) jest szeroko dostępną, nieinwazyjną metodą, za pomocą której można obrazować perfuzję miokardium. Metoda cechuje się bardzo wysoką czułością – ok. 90% oraz swoistością ok. 80%. Badania scyntygraficzne najczęściej stosowane są w diagnostyce choroby niedokrwiennej serca oraz u osób, które są obciążone pośrednim ryzykiem wystąpienia choroby niedokrwiennej serca. Badania te są szczególnie przydatne u kobiet, u których,

w odróżnieniu od mężczyzn, próba wysiłkowa jest mniej swoista, oraz u osób z nieprawidłowym zapisem spoczynkowego EKG. Scyntygrafia perfuzyjna oraz echokardiografia obciążeniowa jest polecanym nieinwazyjnym badaniem ChNS u osób niezdolnych do wykonania wysiłku fizycznego. Jeżeli u pacjenta nie można wykonać standardowej próby wysiłkowej, jest on poddawany farmakologicznej próbie wysiłkowej. Dzięki scyntygrafi perfuzyjnej można ocenić wystąpienie w przyszłości zdarzeń sercowych takich jak: zgon z przyczyn sercowych oraz zawał mięśnia sercowego. Metoda SPECT ma dużą ujemną wartość predykcyjną. Prawidłowa perfuzja wykazuje prawdopodobieństwo zdarzeń serowych mniejsze niż 1% rocznie. Wskaźnikiem podwyższonego ryzyka jest podczas testu wysiłkowego duży wychwyt talu w płucach. Świadczy to o dużym ciśnieniu w kapilarach płucnych.

Scyntygrafia jest pomocna, gdy podejmuje się decyzje terapeutyczne u pacjentów z nawracającymi dolegliwościami po angioplastyce [35].

Dochoceniu perfuzji wykorzystywane są trzy rodzaje znaczników: sestamibi i tetrofosmina, znakowane technetem-99m, oraz chlorek talu (tal-201). Z racji niższych kosztów badania, możliwości uzyskania lepszego obrazu oraz zmniejszonej wrażliwości na artefakty najczęściej stosuje się izotopy technetu (najczęściej 99Tc-MIBI). Perfuzję można ocenić w czasie wysiłku fizycznego, jak również w spoczynku po podaniu izotopu. Aby uzyskać przekroje mięśnia serowego wykonuje się rekonstrukcję obrazów. Przekroje, które można uzyskać to: przekrój mięśnia sercowego wzdłuż osi długiej (czołowe i strzałkowe) oraz przekrój wzdłuż osi krótkiej (poprzeczne).

Obecnie do oceny badań serca stosuje się stacje komputerowe połączone z gamma-kamerą. Dzięki nowoczesnym stacjom oraz gamma-kamerze udało się wprowadzić nową technikę badania. Jest to bramkowana emisja tomografii komputerowej pojedynczego fotonu GSPECT (*gated single photon emission – computer tomography*). Metoda pozwala na ocenę czynności lewej komory oraz ocenę perfuzji, dzięki parametrom lewej komory takim jak: ruchomość, przyrost grubości ścian, objętość komór oraz czasowe poszerzenie lewej komory po niedokrwieniu [36].

Swoistość badania SPECT ograniczają: kardiomiopatia przerostowa, kardiomiopatia rozstrzeniowa oraz blok odnogi pęczka Hissa.

Rezonans magnetyczny – MRI

Od ponad dwudziestu lat rezonans magnetyczny (MRI – *magnetic resonance*) jest wykorzystywany w obrazowaniu serca. Rola MRI oraz postęp techniki w diagnostyce ChNS jest coraz większy [37]. W tabeli 3. ukazano wskazania do wykonania rezonansu magnetycznego według klasyfikacji Working Group on Cardiovascular Magnetic Resonance.

W tabeli 4. ukazano przeciwskazania do wykonania badania rezonansu magnetycznego [38, 39].

Rezonans magnetyczny, w odróżnieniu od tomografii komputerowej oraz medycyny nuklearnej, nie naraża pacjenta na niepotrzebne promieniowanie jonizujące [40]. Główną wadą tej metody jest wysoki koszt sprzętu, długi czas badania oraz brak wyspecjalizowanych operatorów.

Najbardziej nowoczesne aparaty umożliwiają badanie dynamiczne serca w rzeczywistym czasie podczas swobodnego oddechu oraz bez bramkowania EKG (podczas stosowania tzw. obrazowania równoległego). Ułatwia to wykonanie badania u chorych, którzy nie są współpracujący z operatorami. Rezonans magnetyczny określany jest jako złoty standard

Tabela 3. Wskazania do wykonania rezonansu magnetycznego serca

Klasa	Grupa schorzeń
Klasa I	grupa chorób, w których rezonans powinien być metodą obrazowania pierwszego rzutu: wady wrodzone serca, diagnostyka ChNS oraz dużych naczyń, kardiomiopatie, diagnostyka guzów serca, jak również ocena masy i funkcji komór
Klasa II	grupa schorzeń, w których informacje można uzyskać, stosując inne techniki obrazowania; przykładem takich schorzeń są: choroby dużych naczyń, wady wrodzone u dzieci, diagnostyka ChNS, choroby osierdzia
Klasa III	wskazania, w których istnieją alternatywne metody, np. ocena zastawek, płynu w worku osierdziowym oraz ocena naczyń wieńcowych
Klasa IV	w ostatniej grupie rezonans magnetyczny nie ma zastosowania, jednak badania eksperymentalne prognozują, iż w przyszłości metoda ta będzie miała szersze zastosowania, np. w zatorowości płucnej

Tabela 4. Przeciwwskażenia do wykonania badania rezonansu magnetycznego serca oraz zalety badania z jego wykorzystaniem

Przeciwwskażenia	Zalety
• rozrusznik serca lub kardiodefibrylator	• możliwość oceny morfologii
• implantacja stentu (6 tygodni od zabiegu)	• globalna oraz regionalna ocena funkcji serca
• ciała obce o metalicznym pochodzeniu	• ocena perfuzji miokardium
• brak współpracy po stronie pacjenta	• ocena charakterystyki tkanek
• klaustrofobia	

oceny parametrów funkcji serca oraz mas komór. W porównaniu z echokardiografią czy wentrykulografią rezonans magnetyczny posiada większą powtarzalność pomiarów [41]. Obrazy serca podczas ruchu pozwalają operatorowi na ilościową oraz jakościową ocenę regionalnej funkcji serca, czyli pomiar pogrubienia ścian mięśnia sercowego oraz ruchomości. Obrazy rezonansu magnetycznego są również stosowane podczas testów wysiłkowych, w których używa się bodźca farmakologicznego, np. adenozyну, dobutaminy lub dipiramidolu. Badania cine (czyli pętla czasowa; w poszczególnych fazach ukazuje ruch serca), podczas którego używa się wzrastających dawek dobutaminy, wykrywa regionalne zaburzenia kurczliwości komór spowodowane przez niedokrwienie. Czułość oraz specyficzność metody u pacjentów z podejrzeniem choroby wieńcowej są wyższe niż w badaniu echokardiograficznym [42].

Obrazowanie naczyń wieńcowych w rezonansie magnetycznym jest bardzo trudne, ponieważ naczynia te charakteryzuje kręty przebieg, małe rozmiary, duża ruchomość oraz obecność tłuszcza nasierdziowego. Dotychczas badania MR stosuje się do potwierdzenia anomalii odcinków tętnic wieńcowych oraz potwierdzenia tętniaków [43]. Rezonans magnetyczny w przyszłości może ułatwić diagnostykę osób, które mają duże uwąpienie tętnic wieńcowych.

Obrazowanie serca metodą rezonansu magnetycznego daje szansę stworzenia jednej metody, w której będzie można przeprowadzić diagnostykę czynnościową, metaboliczną oraz morfologiczną podczas jednego badania. W przyszłości może mieć również charakter przesiewowy, co pozwoli na wykrywanie chorób u pacjentów bez żadnych objawów.

PODSUMOWANIE

Problem chorób układu krążenia dotyczy nie tylko systemu opieki zdrowotnej, ale i władz państwa. Mimo iż od dawna mówi się o pandemii chorób sercowo-naczyniowych, to jednak pacjenci podstawowej opieki zdrowotnej (POZ) nie korzystają z możliwości badań w kierunku ChUK. Wymaga

to wprowadzania nowych rozwiązań, planów i programów zdrowotnych na skalę ogólnokrajową, a to powinno leżeć w gestii polityki zdrowotnej i polityki społecznej [44].

Według NPZ, czyli Narodowego Programu Zdrowia na lata 2007 – 2015, umieralność z powodu ChUK jest wciąż wyższa niż w krajach tak zwanej „starej” Unii Europejskiej. Choroby układu krążenia są najczęszą przyczyną hospitalizacji oraz inwalidztwa prawnego. Wpływają one znaczowo na jakość życia Polaków w średnim oraz podeszłym wieku. Konsekwencją ChUK jest zwiększoną liczbą wydatków ze środków publicznych oraz własnych środków obywateli na leczenie. Narodowy Program Zdrowotny na lata 2007–2015 założył realizowanie kilku ważnych zadań. Najważniejszym zadaniem jest opracowanie standardów badań przesiewowych, które ukierunkowane są na wczesną diagnostykę. Kolejnym zadaniem jest wdrożenie do placówek POZ standardów diagnostyki i leczenia chorób układu krążenia. W nagłych stanach kardiologicznych ważne jest wdrożenie inwazyjnych procedur, które mogą uratować życie. To samo dotyczy ratownictwa medycznego (poprzez usprawnienie systemu ratowniczego osoby w nagłym stanie kardiologicznym mogą w szybszy sposób uzyskać wykwalifikowaną pomoc). Poprzez różne ogólnodostępne konferencje oraz programy profilaktyczne, dotyczące przyczyn, powstawania oraz skutków ChUK, obywatele zwiększą swój poziom wiedzy. Ostatnim zadaniem NPZ jest poprawa jakości życia pacjentów hospitalizowanych z powodu ChUK. Korzyścią, której możemy się spodziewać po zakończeniu Narodowego Programu Zdrowia, jest zmniejszenie umieralności z powodu ChUK o 15–20% [45].

Skróty zawarte w tekście:

ChUK – choroby układu krążenia

TTE – transthoracic echocardiography (echokardiografia przezklatkowa/klasyczna)

SPECT – single photon emission computed tomography (tomografia emisjona pojedynczych fotonów)

PET – positron emission tomography (pozytonowa tomografia emisyjna)

MRI – magnetic resonance imaging (rezonans magnetyczny)

MHz – megaherc

EKG – elektrokardiografia

FDG – fludeoxyglucose (fluorodeoksylukzoza)

ChNS – choroba niedokrwienienna serca

GSPECT – gated single photon emission – computer tomography

POZ – podstawowa opieka zdrowotna

NPZ – Narodowy Program Zdrowia

PIŚMIENNICTWO

1. Broda G, Kurjata P, Piwońska A, Polakowska M, Waśkiewicz A, Sygnowska E, i wsp. National HES manual – in Polish. Wielośrodzkowe badanie stanu zdrowia ludności. Instytut Kardiologii im. Prymasa Tysiąclecia Stefana Kardynała Wyszyńskiego. http://www.ehes.info/manuals/national_manuals/national_manual_Poland_PL.pdf (dostęp: 2014.12.15).
2. Wojtyński B, Goryński P, Moskalewicz B, (red.). Sytuacja zdrowotna ludności Polski i jej uwarunkowania. Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny. http://www.pzh.gov.pl/page/fileadmin/user_upload/statystyka/Raport_stanu_zdrowia_2012.pdf (dostęp: 2014.12.15).
3. Zdrojewski T, Ignaszewska-Wyrzykowska A, Wierucki Ł, Januszko W, Szpajer M, Krupa-Wojciechowska B, i wsp. Modelowy projekt prewencji chorób układu krążenia na przykładzie doświadczeń Programu SOP-KARD. Część pierwsza. Choroby Serca i Naczyń 2004; 1(2): 115–129.

4. Braunwald E, Goldman L. Kardiologia. Wrocław: Elsevier Urban & Partner; 2005: 51–53.
5. Stolarczyk Ł, Ambroch-Dorniak K. Praktyczne aspekty zastosowania badania echokardiograficznego w diagnostyce chorób serca u dorosłych. Choroby Serca i Naczyń 2004; 1(2): 139–144.
6. Hoffman P, Drożdż J, Gąsior Z, Kasprzak JD, Kawalec W, Maciejewski M, i wsp. Standardy echokardiografii klinicznej Sekcji Echokardiografii PTK. Kardiol Pol. 1999; 51: 173–187.
7. Kasprzak JD, Hoffman P, Płońska E, Szyszka A, Braksator W, Gackowski A, i wsp. Echokardiografia w praktyce klinicznej. Standardy Sekcji Echokardiografii Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego 2007. Folia Cardiol Excerpta 2007; 2(9): 409–433.
8. Hunt S, Abraham W, Chin M, Feldman AM, Francis GS, Ganiats TG, i wsp. American College of Cardiology Foundation; American Heart Association. 2009 Focused Update Incorporated Into the ACC/AHA 2005 Guidelines for the Diagnosis and Management of Heart Failure in Adults: A Report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines Developed in Collaboration with the International Society for Heart and Lung Transplantation. *J Am Coll Cardiol.* 2009; 53: e1–e90.
9. Szwed H. Echokardiografia wysiłkowa w chorobie niedokrwiennej serca. Kardiol Pol. 2001; 54: 458–461.
10. Knapp M, Lisowska A, Musiał WJ. Nieinwazyjne metody oceny żywotności mięśnia sercowego. Forum Kardiol. 2005; 10(3): 94–99.
11. Lipiec P, Płońska-Gościńiak E, Kuśmierk J, Plachcińska A, Stefańczyk L, Majos A, i wsp. Bezpieczeństwo nieinwazyjnych technik obrazowania serca i naczyń. Stanowisko grupy ekspertów polskiego Klinicznego Forum Obrazowania Serca i Naczyń. Kardiol Pol. 2013; 71(3): 301–307.
12. Klimczak C, red. wyd. pol. Szyszka A. Echokardiografia kliniczna, wyd. III. Wrocław: Elsevier Urban & Partner; 2012.
13. Przymuszała-Staszak D, Milewska A, Guzik P. Podstawowe projekcje echokardiograficzne w badaniu przeklatkowym (TTE) Część III. Projekcje z okna podmostkowego i nadmostkowego. Anest i Ratow. 2013; 7: 347–353.
14. Sobczak D. Ultrasonografia w stanach zagrożenia życia i intensywnej terapii, Kraków: 2012; 17–41, 67–72.
15. Gilewski W, Świątkiewicz I, Sinkiewicz W, Kubica J, Błażejewski J, Bujak R, i wsp. Znaczenie tkankowej echokardiografii dopplerowskiej w diagnostyce niewydolności serca. Folia Cardiol Excerpta 2008; 3(5): 227–235.
16. Pasierski T. Echokardiografia w rozpoznawaniu i diagnostyce przyczyn przerostu lewej komory. Folia Cardiol Excerpta 2001; 8, supl. C: C1–C4.
17. Grodzicki T, Gryglewska B, Tomasiak T, Windak A, i wsp. (zespół redagujący): Zasady postępowania w nadciśnieniu tętniczym. Wytyczne Polskiego Towarzystwa Nadciśnienia Tętniczego oraz Kolegium Lekarzy Rodzinnych w Polsce. Nadciśn Tętn. 2008; 12(5): 317–336.
18. Fong MW, Teeters JC. Stress echocardiography testing: is submaximal good enough? *Cardiol J.* 2008; 15(3): 207–208.
19. Sawada SG, Judson WE, Ryan T, Armstrong WF, Feigenbaum H, i wsp. Upright bicycle exercise echocardiography after coronary artery bypass grafting. *J Am Coll Cardiol.* 1989; 64: 1123–1129.
20. Bolte HD. Pharmacologic testing of heart function. Internist 1977; 18: 571–578.
21. O'Keefe JH Jr, Barnhart CS, Bateman TM, et al. Comparison of stress echocardiography and stress myocardial perfusion scintigraphy for diagnosing coronary artery disease. *Am J Cardiol.* 1995; 75: 25D–34D.
22. Hill J, Timmis A. Exercise tolerance testing. *British Med J.* 2002; 324: 1084–1087.
23. Szyszka A, Straburzyńska-Migaj E. Znaczenie echokardiografii obciążeniowej dla badań nad hartowaniem miokardium. Folia Cardiol Excerpta 2001; 8, supl C: C43–C46.
24. Cieślkowski D, Baron T, Grodzicki T. Echokardiografia wysiłkowa w diagnostyce czynnościowej niedomykalności mitralnej – systematyczny przegląd piśmiennictwa. Folia Cardiol Excerpta 2008; 3(8–9): 383–393.
25. Schelbert HR, Phelps ME, Huang SC, MacDonald NS, Hansen H, Selin C, et al. N-13 ammonia as an indicator of myocardial blood flow. *Circulation* 1981; 63: 1259–1272.
26. Hutchins GD, Schwaiger M, Rosenspire KC, Krivokapich J, Schelbert H, Kuhl DE. Non-invasive quantification of regional blood flow in the human heart using 13N-ammonia and dynamic positron emission tomographic imaging. *J Am Coll Cardiol.* 1990; 15: 1032–1042.
27. Schelbert HR. Evaluation of myocardial blood flow in cardiac disease. W: Skorton DJ, Schelbert HR, Wolf GL, Brundage BH, (red.). *Cardiac imaging. A companion to Braunwald's heart disease.* Philadelphia: WB Saunders; 1991. p. 1093–1112.
28. Braunwald E, Rutherford JD. Reversible ischemic left ventricular dysfunction evidence for “hibernating” myocardium. *J Am Coll Cardiol.* 1986; 8: 1467–1470.
29. Kloner RA. The stunned and hibernating myocardium. *Am J Med.* 1986; 86: 14–17.
30. Klocke FJ, Baird MG, Lorell BH, Bateman TM, Messer JV, Berman DS, et al. ACC/AHA/ASNC guidelines for the clinical use of cardiac radionuclide imaging—executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/ASNC Committee to Revise the 1995 Guidelines for the Clinical Use of Cardiac Radionuclide Imaging). *J Am Coll Cardiol.* 2003; 42: 1318–1333.
31. Miernik S, Dziuk M. Metody hybrydowe (SPECT/CT i PET/CT) w diagnostyce choroby wieńcowej i ocenie żywotności mięśnia sercowego. Choroby Serca i Naczyń 2008; 5(2): 93–101.
32. Brownell GL, Sweet WH. Localization of brain tumors with positron emitters. *Nucleonics* 1953; 11: 40–45.
33. Anger HO, Rosenthal DJ. Scintillation camera and positron camera. In: International Atomic Energy Agency. *Medical radioisotope scanning, proceedings.* Vienna: International Atomic Energy Agency; 1959. p. 59–82.
34. Ter-Pogossian MM. The origins of positron emission tomography. *Semin Nucl Med.* 1992; 22: 140–149.
35. Shaw LJ, Iskandrian AE. Prognostic value of gated myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Cardiol.* 2004; 11: 171–185.
36. Fleischmann S, Koepfli P, Namdar M, Wyss CA, Jenni R, Kaufmann PA. Gated (99m) Tc-tetrofosmin SPECT for discriminating infarct from artifact in fixed myocardial perfusion defects. *J Nucl Cardiol.* 2004; 45: 754–759.
37. Michalak JM, Zawadzki M, Walecki J. Rezonans magnetyczny w kardiologii. Choroby Serca i Naczyń 2005; 2(3): 142–148.
38. Bogaert J, Duerinckx AJ, Rademakers FE. *Magnetic Resonance of the Heart and Great Vessels.* Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York; 1999.
39. Zaleska T, Walecki J, Bogusławska R. Wybrane zagadnienia z diagnostyki chorób narządów klatki piersiowej w badaniach TK i MR. W: Walecki J, Ziemiński A, (red.). *Rezonans magnetyczny i tomografia komputerowa w praktyce klinicznej.* Warszawa: Springer PWN; 1997: 327–355.
40. Hundley WG, Bluemke DA, Finn JP, Flamm SD, Fogel MA, Friedrich MG, i wsp. ACCF/ACR/AHA/NASCI/SCMR 2010 Expert Consensus Document on Cardiovascular Magnetic Resonance. *J Am Coll Cardiol.* 2010; 55: 2614–2662.
41. Bellenger NG, Davies LC, Francis JM, Coats AJ, Pennell DJ, et al. Reduction in sample size for studies of remodeling in heart failure by use of cardio-vascular magnetic resonance. *J Cardiovas Magn Reson.* 2000; 2: 271–278.
42. Kirschbaum SW, van Geuns RJ. Cardiac magnetic resonance imaging to detect and evaluate ischemic heart disease. *The Hellenic J Cardiol.* 2009; 50: 119–126.
43. Hendel RC, Patel MR, Kramer CM, Poon M, Hendel RC, Carr JC, et al. ACCF/ACR/SCCT/SCMR/ASNC/NASCI/SCAI/SIR 2006 appropriateness criteria for cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging: a report of the American College of Cardiology Foundation. *J Am Coll Cardiol.* 2006; 48: 1475–1497.
44. Majewicz A, Marcinkowski JT. Epidemiologia chorób układu krążenia. Dlaczego w Polsce jest tak małe zainteresowanie istniejącymi programami profilaktycznymi? *Probl Hig Epidemiol.* 2008, 89(3): 322–325.
45. Ministerstwo Zdrowia. Narodowy Program Zdrowia na lata 2007–2015. <http://www.mz.gov.pl/zdrowie-i-profilaktyka/narodowy-program-zdrowia> (dostęp: 2014.12.15).

Non-invasive imaging tests in cardiology

Abstract

Introduction. Non-invasive cardiac test is the safest, fast and relatively inexpensive opportunity to assess the functioning of the cardiovascular system. The popularity and the special appreciation for all the techniques used, such as: echocardiography, stress echocardiography, positron emission tomography, single photon emission computed tomography and magnetic resonance imaging, is associated not only with the appropriate high-quality equipment, but also with the extensive experience of the doctor who performs the examination.

Objective. The aim of this study is to present the most commonly used methods of non-invasive diagnostic cardiology which are: echocardiography, stress echocardiography, positron emission tomography, single photon emission computed tomography and magnetic resonance imaging.

Description of the state of the knowledge. The introduction of echocardiography into cardiac diagnostics was crucial for the development of this field of medicine. Stress echocardiography can be performed either by loading exercise, electrical stimulation and the pharmacological stress method. PET is useful in the diagnosis of myocardial viability – allows measurement of the physiological activity of the heart muscle. The body scan (scintigraphy) is most commonly used in the diagnosis of coronary artery disease, and in those who are subject to intermediate risk of coronary heart disease.

Summary. Although for a long time it has been said about the pandemics of cardiovascular diseases, primary care patients still do not benefit from the possibility of screening for CVD. This requires the introduction of new solutions, health plans and programmes on a national scale.

Key words

non-invasive cardiology, cardiovascular disease, echocardiography, computed tomography, positron emission tomography, single photon, magnetic resonance