

Miejsce SPECT w kardiologii w roku 2013

The role of SPECT in cardiology in 2013

Aleksandra Majsnerowska, Wiktor Skowron, Sławomir Wasilewski

III Katedra i Oddział Kliniczny Kardiologii Śląskiego Uniwersytetu Medycznego, Śląskie Centrum Chorób Serca w Zabrze

STRESZCZENIE

Komputerowa tomografia emisyjna pojedynczego fotonu (SPECT) zalicza się do grupy nieinwazyjnych badań obrazowych, których zadaniem jest ocena perfuzji i żywotności mięśnia sercowego. Zgodnie z wytycznymi Europejskiego Towarzystwa Kardiologicznego (ESC) dotyczącymi rewaskularyzacji mięśnia sercowego badanie SPECT zaleca się u pacjentów objawowych, u których ryzyko wystąpienia choroby wieńcowej (CAD), oceniane na podstawie wieku, płci i innych czynników ryzyka, jest określane jako pośrednie. Wykonywanie badania SPECT zaleca się również u chorych, u których ze względu na zmiany w spoczynkowym elektrokardiogramie (EKG), tj. blok lewej odnogi pęczka Hisa, rytm ze stymulatora, zespół preekscytacji, przerost lewej komory lub zmiany repolaryzacji, interpretacja testu wysiłkowego byłaby utrudniona. Kolejną grupą chorych, którzy mogą być kierowani na badanie SPECT, są osoby z już rozpoznaną CAD. Zwężenie tętnicy wieńcowej zobrazowane w koronarografii może powodować różny skutek hemodynamiczny. Rekomendowanym badaniem do weryfikacji wpływu stopnia zwężenia w tętnicy wieńcowej na ukrwienie mięśnia sercowego, a tym samym określenie wskazań do rewaskularyzacji naczynia, są wysiłkowe badania obrazowe, w tym SPECT. Badanie to może być zatem pomocne w podjęciu

decyzji o słuszności rewaskularyzacji mięśnia sercowego w wybranym obszarze miokardium. Mimo udokumentowanej roli i pozycji określonej w wytycznych europejskich oraz stosunkowo niskich kosztów badania, SPECT jest nadal niedoceniana i rzadko stosowana w diagnostyce kardiologicznej. Jest to badanie zarezerwowane dla wybranej grupy chorych z podejrzeniem CAD obciążonych pośrednim ryzykiem jej wystąpienia oraz dla pacjentów z rozpoznaną CAD, u których niezbędne jest potwierdzenie/wykluczenie niedokrwienia w wybranym obszarze miokardium wraz z potwierdzeniem jego żywotności. Badanie SPECT jest równoważne z echokardiograficzną obciążeniową oceną serca w diagnostyce chorych z podejrzeniem CAD, a także komplementarne, obok wyżej wymienionego oraz rezonansu magnetycznego i pozytonowej tomografii emisyjnej, w ocenie chorego z niewydolnością serca, która rozwinęła się na podłożu CAD, przed jego ostateczną kwalifikacją do rewaskularyzacji.

Choroby Serca i Naczyń 2014, 11 (1), 23–28

Słowa kluczowe: tomografia emisyjna pojedynczego fotonu, choroba wieńcowa, perfuzja mięśnia sercowego

ABSTRACT

Single photon emission computed tomography (SPECT) is one of the noninvasive cardiac imaging technique for ischemic heart disease. It is currently appropriate for assessment of myocardial perfusion and viability. SPECT is recommended as an imaging in symptomatic patients, whose pretested likelihood of coronary obstruc-

Adres do korespondencji:

dr n. med. Aleksandra Majsnerowska
III Katedra i Oddział Kliniczny Kardiologii
Śląski Uniwersytet Medyczny
Śląskie Centrum Chorób Serca
ul. Szpitalna 2, 41–800 Zabrze
tel.: 32 373 36 19
e-mail: olo_o0@poczta.onet.pl

tive heart disease based on age, gender and risk factors is calculated as intermediate according to European Society of Cardiology (ESC) guidelines concerning stable coronary artery disease. SPECT is also recommended for patients with resting ECG abnormalities such as left bundle branch block or stimulator rhythm which prevent accurate interpretation of ECG changes in stress. SPECT should be also considered in patients with known coronary artery disease (CAD) prior revascularization to confirm ischemia or viability of myocardium in specimen segments of left ventricle. It is particularly important in patients with ischemic heart failure to find segments with hemodynamic significant ischemia which are viable.

Despite knowledge of high sensitivity and specificity of SPECT in patients with pretested intermediate risk of CAD or in patients with known CAD as well as low cost of the study, this imaging test is still rarely used. It should be especially considered when stress echocardiography is hard to interpret and other recommended methods such as magnetic resonance imaging or positron emission tomography are unavailable.

Choroby Serca i Naczyń 2014, 11 (1), 23–28

Key words: *single photon emission computed tomography, coronary artery disease, myocardial perfusion*

WPROWADZENIE

Komputerowa tomografia emisyjna pojedynczego fotonu (SPECT, *single photon emission computed tomograph*) jest badaniem, które po raz pierwszy wykorzystano w diagnostyce choroby wieńcowej (CAD, *coronary artery disease*) w latach 70. ubiegłego wieku. Zalicza się je do grupy nieinwazyjnych badań obrazowych, których zadaniem jest ocena perfuzji i żywotności mięśnia sercowego. Jest to badanie, którego czułość i swoistość w rozpoznaniu CAD przewyższa rutynowo stosowaną w kardiologii elektrokardiograficzną próbę wysiłkową [1]. Mimo udokumentowanej roli i pozycji określonej w wytycznych europejskich [2] SPECT jest nadal rzadko stosowana w diagnostyce kardiologicznej.

Zgodnie z wytycznymi Europejskiego Towarzystwa Kardiologicznego (ESC, *European Society of Cardiology*) dotyczącymi rewaskularyzacji mięśnia sercowego badanie SPECT zaleca się u pacjentów z objawami, u których ryzyko wystąpienia CAD, oceniane na podstawie wieku, płci i czynników ryzyka, jest określane jako pośrednie [2]. Zgodnie z cytowanymi wytycznymi jest to badanie równoważne echokardiograficznej próbie wysiłkowej, o tej samej, wysokiej klasie zaleceń IA. W sierpniu 2013 roku ukazały się wytyczne dotyczące strategii postępowania u chorego z CAD, w których to właśnie SPECT, obok innych badań obrazowych, odgrywa znaczącą rolę przed podjęciem decyzji o diagnostyce inwazyjnej [3]. Ponadto w europejskich wytycznych, dotyczących diagnostyki i leczenia chorych z niewydolnością serca, SPECT jest jedynym z badań zalecanym u chorych z niewydolnością

serca, u której podłoża leży CAD, w celu oceny wskazań do rewaskularyzacji (klasa zaleceń IIa) [4].

Poniżej przedstawiono podstawy fizyczne badania SPECT, a także doniesienia dotyczące wykorzystania tego wciąż rzadko stosowanego w kardiologii badania izotopowego oraz podjęto próbę określenia, jakiej grupy pacjentów powinno ono dotyczyć. Ponadto opisano doniesienia dotyczące tak zwanych badań hybrydowych, w których równocześnie są wykorzystywane różne techniki radiologiczne pozwalające oceniać jednocześnie nie tylko funkcję, ale także budowę mięśnia sercowego.

PODSTAWY FIZYCZNE I METODYKA BADANIA SPECT

W omawianej metodzie badania wykorzystuje się radioaktywny izotop, który jest przyłączany do nośnika o odpowiednim powinowactwie do komórek obrazowanego narządu. Określony nośnik gromadzi się w ilości proporcjonalnej do metabolizmu danej okolicy. Emitowane przez radioizotop promieniowanie gamma rejestrują czujniki umieszczone w specjalnej kamerze (tzw. gammakamerze), która jest połączona z komputerem przetwarzającym odbierane informacje i prezentującym je w postaci złożonych map.

Badanie SPECT serca umożliwia ocenę ukrwienia mięśnia sercowego w spoczynku oraz przy maksymalnym wysiłku. Najczęściej wykonuje się je z użyciem metoksy-izobutylo-izonitrylu (MIBI) lub tetrafosminy wyznakowanych radioizotopem technetem-99m (energia fotonów 140 keV, okres półrozpadu 6 h). Radioizotop gromadzi się w mięśniu sercowym proporcjonalnie do

wielkości regionalnego przepływu krwi w naczyniach wieńcowych, a następnie gammakamera rejestruje dowolne przekroje rozkładu radioaktywności związku w mięśniu sercowym. Badanie SPECT opiera się na rejestracji 64–68 obrazów (projekcji) serca podczas obrotu kamery wokół klatki piersiowej pacjenta. Rejestrację można przeprowadzić techniką bramkowaną, czyli sterowaną sygnałem elektrokardiograficznym pacjenta. Wówczas bramkowane badanie SPECT (GSPECT, *gated SPECT*) umożliwia dodatkowo ocenę kurczliwości mięśnia sercowego, a także dokładny pomiar frakcji wyrzutowej oraz objętości lewej komory w poszczególnych fazach cyklu serca [5].

Protokół badania może być dwu- lub jednodniowy. W przypadku protokołu dwudniowego pierwszego dnia wykonuje się badanie podczas wysiłku, a kolejnego dnia — w spoczynku (kolejność badań nie ma znaczenia). Pacjent biegnie na ruchomej bieżni; gdy wysiłek jest maksymalny, podawany jest radiofarmaceutyk. Po upływie około godziny wykonuje się rejestrację obrazów wysiłkowych. Kolejnego dnia pacjentowi wstrzykuje się dożylnie radiofarmaceutyk w spoczynku, a następnie, po upływie 1–3 godzin, wykonuje się rejestrację obrazów spoczynkowych. W przypadku protokołu jednodniowego (stosowanego głównie ze wskazań nagłych) rano wykonuje się badanie w spoczynku, a po 4 godzinach przechodzi się do badania podczas wysiłku. U pacjentów, u których występują schorzenia ograniczające możliwość wykonania odpowiedniego wysiłku fizycznego (np. schorzenia naczyń obwodowych kończyn dolnych, zniekształcenia mięśniowo-szkieletowe, chroniczne schorzenia płuc), zamiast wysiłku stosuje się test farmakologiczny z zastosowaniem dipirydamolu/adenozyny. Jednak metodą preferowaną w ocenie wysiłkowego niedokrwienia jest wysiłek fizjologiczny, a nie testy farmakologiczne (klasa zaleceń IC) [3].

CEL BADANIA SPECT

Celem badania SPECT jest ocena perfuzji serca, a w szczególności porównanie zmian w jego ukrwieniu po stymulacji lekiem (lub w czasie wysiłku) i w czasie spoczynku. Jest to badanie stosowane w diagnostyce CAD i pomocne w kwalifikowaniu pacjentów do dalszej diagnostyki CAD. Na podstawie wyników SPECT możliwa jest odpowiedź na następujące pytania:

- w którym obszarze — w domyśle zaopatrywanym przez wybraną tętnicę wieńcową — mięsień sercowy jest niedokrwiony?;

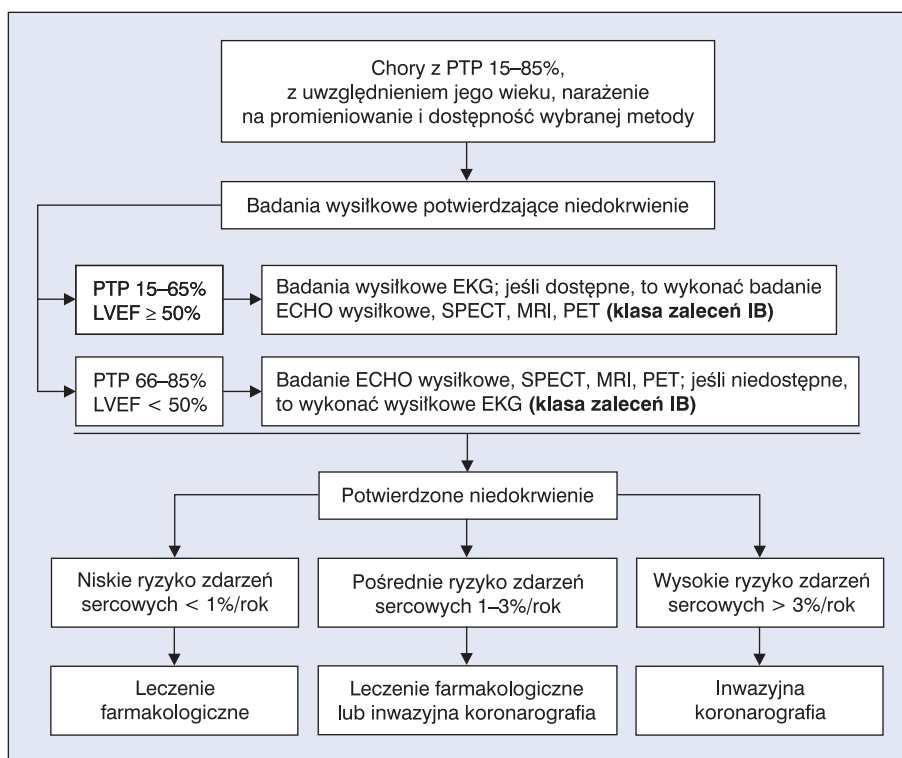
- czy w wybranym obszarze mięśnia sercowego jest żywotny? (o czym świadczy zachowana w określonym rejonie perfuzja).

Poza standardowym protokołem, dzięki dodatkowej technice bramkowanej — GSPECT, można uzyskać informacje dotyczące wymiarów i funkcji lewej komory serca, a przy użyciu technik hybrydowych, na przykład za pomocą tomografii komputerowej — SPECT-CT/SPECT-CTA, można precyzyjnie zlokalizować zwężenie w tętnicy wieńcowej odpowiadające za niedokrwienie w wybranym obszarze mięśnia sercowego.

KOGO KIERUJE SIĘ NA BADANIE SPECT?

Według wytycznych ESC dotyczących rewaskularyzacji pacjenci z grupy pośredniego ryzyka wystąpienia CAD, ocenieni na podstawie dostępnych skal, przed podjęciem decyzji o konieczności diagnostyki inwazyjnej powinni być poddani badaniu obrazowemu serca — echokardiografii obciążeniowej lub SPECT (klasa zaleceń IA) [2]. Ponadto w ostatnio opublikowanych wytycznych dotyczących postępowania u chorych z CAD zaleca się przeprowadzenie badań obrazowych dokumentujących niedokrwienie, w tym SPECT, u pacjentów z objawami obciążonych pośrednim ryzykiem wystąpienia CAD, ze szczegółowymi propozycjami algorytmów jego zastosowania [3]. Z jednej strony w grupie pacjentów bez objawów wykazano niską wartość predykcyjną SPECT, zatem wykonywanie badania w tej grupie chorych jest klinicznie i ekonomicznie nieuzasadnione [6, 7]. Z drugiej strony pacjenci obciążeni wysokim ryzykiem rozpoznania CAD są kandydatami do diagnostyki inwazyjnej, a wyniki badania SPECT mają w ich przypadku jedynie znaczenie prognostyczne [8–10]. Chorych obciążonych pośrednim ryzykiem wystąpienia CAD, ocenianym według PTP (*pre-test probability*), podzielono na dwie podgrupy — chorych z PTP 15–65% i PTP 66–85% [3]. Ponadto, zgodnie z zaproponowanym w europejskich wytycznych algorytmem postępowania, kluczową rolę w strategii terapeutycznej, poza przypisaniem chorego do jednej z wyżej wymienionych podgrup, odgrywa ocena frakcji wyrzutowej lewej komory. Poniżej przedstawiono schemat postępowania u chorego z podejrzeniem CAD i PTP ocenianym w zakresie 15–85%, w którym badanie obrazowe, w tym SPECT, jest zalecane rutynowo przed diagnostyką inwazyjną (ryc. 1).

Poza przedstawionym algorytmem wykonywanie badań obrazowych, w tym SPECT, zaleca się również u chorych, u których ze względu na spoczynkowe zmia-



Rycina 1. Proponowany algorytm postępowania u chorego obciążonego pośrednim ryzykiem wystąpienia choroby wieńcowej (wg wytycznych ESC [3], zmodyfikowano); PTP — *pre-test probability*; LVEF (*left ventricular ejection fraction*) — frakcja wyrzutowa lewej komory; EKG — badanie elektrokardiograficzne; SPECT (*single photon emission computed tomography*) — komputerowa tomografia emisyjna pojedynczego fotonu; MRI (*magnetic resonance imaging*) — rezonans magnetyczny; PET (*positron emission tomography*) — pozytonowa tomografia emisyjna

ny w elektrokardiogramie (EKG), tj. blok lewej odnogi pęczka Hisa (klasa zaleceń IIaB), rytm ze stymulatora (klasa zaleceń IIaB), zespół preekscytacji, przerost lewej komory lub zmiany repolaryzacji, interpretacja testu wysiłkowego byłaby utrudniona (klasa zaleceń IB) [3]. Odłąbną grupą pacjentów, kierowaną na badania obrazowe dokumentujące niedokrwienie, są chorzy niezdolni do wykonania wysiłku lub u których elektrokardiograficzny test wysiłkowy będzie niediagnostyczny z powodu trudności z uzyskaniem rytmu submaksymalnego.

Kolejną grupą chorych, którzy mogą być kierowani na badanie SPECT, są pacjenci z już rozpoznaną CAD. Zwężenie tętnicy wieńcowej zobrazowane w koronarografii może powodować różny skutek hemodynamiczny. Zalecanym badaniem do weryfikacji wpływu stopnia zwężenia w tętnicy wieńcowej na ukrwienie mięśnia sercowego, a tym samym określenia wskazań do rewaskularyzacji naczynia, jest wysiłkowe badanie obrazowe, w tym SPECT (klasa zaleceń IIaB) [3]. Nadal bowiem zależność między ocenianym podczas koronarografii stopniem zwężenia w naczyniu wieńcowym, uwzględniającym ocenę morfologiczno-anatomiczną, a jego rzeczywistym wpływem na czynność mięśnia

sercowego pozostaje nierozstrzygnięta. Ponadto u chorych z niewydolnością serca i niedokrwinnym uszkodzeniem mięśnia sercowego SPECT — obok echokardiografii obciążeniowej, rezonansu magnetycznego oraz pozytonowej tomografii emisyjnej — jest badaniem, na podstawie którego można potwierdzić bądź wykluczyć obecność żywego miokardium w określonym obszarze (klasa zaleceń IIaC) [4]. Zatem SPECT może być badaniem pomocnym w podjęciu decyzji o słuszności rewaskularyzacji mięśnia sercowego w wybranym obszarze. Należy jednak pamiętać, że — potwierdzając żywotność w badaniu SPECT — tak naprawdę ocenia się zachowaną perfuzję w wybranym obszarze. Każde badanie spośród wyżej wymienionych powinno być więc odrębnie interpretowane w ocenie żywotności mięśnia sercowego.

Należy również pamiętać, że w 20–40% przypadków wyniki koronarografii nie potwierdzają istotnej hemodynamicznie miażdżycy w obrębie tętnic wieńcowych [11]. Zatem, ze względu na inwazyjność tego badania i związaną z nią niską, ale jednak obserwowaną śmiertelnością (0,15%) oraz chorobowością (1,5%), koronarografia powinna być zarezerwowana dla określonej grupy

Tabela 1. Porównanie czułości i swoistości wybranych badań stosowanych w diagnostyce choroby wieńcowej (CAD, coronary artery disease) (źródło [3])

| Badanie | Rozpoznanie CAD | |
|---------------------------------|-----------------|---------------|
| | Czułość (%) | Swoistość (%) |
| Wysiłkowe EKG | 45–50 | 85–90 |
| Wysiłkowe ECHO | 80–85 | 80–88 |
| Wysiłkowa SPECT | 96–99 | 63–87 |
| ECHO z zastosowaniem dobutaminy | 79–83 | 82–86 |
| SPECT z użyciem wazodylatorów | 90–91 | 75–84 |
| MRI z zastosowaniem dobutaminy | 79–88 | 81–91 |
| PET z użyciem wazodylatorów | 81–97 | 74–91 |
| CTA | 95–99 | 64–83 |

EKG — badanie elektrokardiograficzne; ECHO — badanie echokardiograficzne; SPECT (*single photon emission computed tomograph*) — komputerowa tomografia emisyjna pojedynczego fotonu; MRI (*magnetic resonance imaging*) — rezonans magnetyczny; PET (*positron emission tomography*) — pozytonowa tomografia emisyjna; CTA (*computed tomography angiography*) — naczyniowa tomografia komputerowa

chorych [12, 13]. W wytycznych położono również nacisk na fakt, że przed podjęciem decyzji o diagnostyce inwazyjnej lub o konieczności rewaskularyzacji konieczne jest udokumentowanie niedokrwienia i żywotności mięśnia sercowego w badaniach obrazowych.

W porównaniu z innymi zalecanymi badaniami obrazowymi dokumentującymi niedokrwienie, SPECT wykazuje wysoką czułość i swoistość (tab. 1).

Autorzy opublikowanych prac potwierdzają także wysoką wartość prognostyczną SPECT, niezależnie od zastosowanych radiofarmaceutyków oraz użytego protokołu obciążenia. Ryzyko wystąpienia poważnych zdarzeń sercowych zwiększa się proporcjonalnie do liczby segmentów objętych niedokrwieniem odwracalnym lub przetrwałym ocenianym podczas badania [6, 7, 14]. Za istotne niedokrwienie, dotyczące chorych z grupy wysokiego ryzyka zdarzeń sercowych ($> 3\%/rok$), uważa się takie, które w badaniu SPECT obejmuje obszar przekraczający 10% masy mięśnia lewej komory [10]. Ponadto pacjenci, u których wynik badania SPECT jest prawidłowy, należą do grupy niskiego ryzyka zdarzeń sercowych ($< 1\%/rok$), niezależnie od obecności zmian miażdżycowych w tętnicach wieńcowych ocenianych w inwazyjnym badaniu naczyniowym [15–17]. Zastosowanie tej stratyfikacji ryzyka umożliwia zmniejszenie liczby wykonywanych koronarografii niewykazujących zmian w naczyniach wieńcowych [3]. Wartość prognostyczną SPECT potwierdzono także w grupach pacjentów stwarzających trudności diagnostyczne i kliniczne w przypadku zastosowania innych powszechnie stosowanych metod, zwłaszcza u chorych otyłych, z cukrzycą, u pacjentów z blokiem lewej odnogi pęczka Hisa lub z rytmem ze stymulatora [7, 18, 19].

Analogicznie jak w przypadku innych badań wykorzystywanych w medycynie, także w odniesieniu do badania SPECT należy pamiętać o przeciwwskazaniach do jego wykonywania, takich jak: ciąża, zawał serca, ciężka zdekompensowana niewydolność serca.

BADANIA HYBRYDOWE

Połączenie różnych technik radiologicznych ma coraz szersze zastosowanie w medycynie, także w kardiologii. Dzięki temu podczas jednego badania można uzyskać informacje dotyczące nie tylko czynności, ale również budowy mięśnia sercowego czy tętnic wieńcowych. Połączenie SPECT i naczyniowej tomografii komputerowej (CTA, *computed tomography angiography*), czyli SPECT-CTA, pozwala na jednoczesną ocenę anatomii serca i tętnic wieńcowych w badaniu CTA oraz perfuzji określonych obszarów mięśnia sercowego ocenianych w badaniu SPECT. Należy jednak pamiętać o ograniczeniach samego badania CTA, które ma wysoką negatywną wartość predykcyjną, wykluczając CAD [20], ale jego wartość pozytywna jest umiarkowana. Połączenie obu metod pozwoliłoby zatem na pełniejszą ocenę chorego. Zważywszy na ciągły rozwój technik hybrydowych, szczegółowe wskazania do ich stosowania pozostają przedmiotem badań. **Wydaje się, że z tego typu badań mogliby skorzystać chorzy z wielonaczyniową CAD w zakresie identyfikacji obszarów niedokrwionego i jednocześnie żywotnego miokardium. Badanie to można także zastosować w celu lepszej oceny zwężeń w tętnicach nasierdziowych odpowiedzialnych za niedokrwienie.** Możliwe jest również połączenie samej tomografii komputerowej, służącej ocenie stopnia uwąpnienia tętnic wieńcowych — *Ca-scoring* (*Calcium scoring*),

z badaniem SPECT. Mimo prawidłowej perfuzji mięśnia sercowego u 21–47% pacjentów występują zmiany miażdżycowe w obrębie tętnic wieńcowych z Ca-score ponad 400 jednostek Agatston [21–23].

PODSUMOWANIE

Podsumowując, SPECT jest badaniem nieinwazyjnym zarezerwowanym dla wybranej grupy chorych z podejrzeniem CAD i obciążonych pośrednim ryzykiem jej wystąpienia oraz dla pacjentów z rozpoznaną CAD, u których niezbędne jest potwierdzenie/wykluczenie niedokrwienia w wybranym obszarze miokardium wraz z potwierdzeniem jego żywotności. Jest to badanie równoważne echokardiografii obciążeniowej stosowanej w diagnostyce chorych z podejrzeniem CAD. Ponadto SPECT wraz z innymi badaniami obrazowymi, takimi jak MRI czy PET, może być przydatna w ocenie chorego z niewydolnością serca, której przyczyną jest niedokrwienne uszkodzenie mięśnia sercowego, przed ostateczną kwalifikacją do rewaskularyzacji. Rozwój technik hybrydowych, w tym SPECT-CTA, umożliwia dokładniejszą ocenę serca — nie tylko jego funkcji, ale także budowy. Ze względu na nieinwazyjność metody badanie SPECT powinno być szerzej wykorzystywane w diagnostyce kardiologicznej. Należy zwłaszcza rozważyć jego wykonanie u chorych, u których z powodu trudności z uzyskaniem dobrego okna akustycznego nie można wykonać obciążeniowego badania echokardiograficznego, a inne zalecane metody obrazowe (MRI czy PET) nie są dostępne lub u danego pacjenta są przeciwwskazane, na przykład po implantacji stymulatorów, w tym z opcją defibrylacji czy resynchronizacji, którymi często są zabezpieczeni pacjenci z niewydolnością serca.

PIŚMIENNICTWO

1. Fox K., Garcia M.A., Ardissino D. i wsp. Guidelines on the management of stable angina pectoris: executive summary: the Task Force on the Management of Stable Angina Pectoris of the European Society of Cardiology. *Eur. Heart J.* 2006; 27: 1341–1381.
2. Wijns W., Kolh P., Danchin N. i wsp. Guidelines on myocardial revascularization. *Eur. Heart J.* 2010; 31: 2501–2555.
3. Montalescot G., Sechtem U., Achenbach S. i wsp. 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease. *Eur. Heart J.* 2013; 34: 2949–3003.
4. McMurray J.J., Adamopoulos S., Anker S.D. i wsp. ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2012. *Eur. Heart J.* 2012; 33: 1787–1847.
5. Petix N.R., Sestini S., Marcucci G. i wsp. Can the reversible regional wall motion abnormalities on stress gated Tc-99m sestamibi SPECT predict a future cardiac event? *J. Nucl. Cardiol.* 2005; 12: 20–31.
6. Grundy S.M., Pasternak R., Greenland P., Smith S. Jr., Fuster V. Assessment of cardiovascular risk by use of multiple risk factor assessment equations: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association and the American College of Cardiology. *Circulation* 1999; 100: 1481–1482.
7. Elhendy A., Schinkel A.F., van Domburg R.T. i wsp. Prognostic value of stress 99mTc tetrofosmin myocardial perfusion imaging in predicting all cause mortality: a year follow 6 up study. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging* 2006; 33: 1157–1161.
8. Lin F.Y., Dunning A.M., Narula J. i wsp. Impact of an automated multi-modality point-of-order decision support tool on rates of appropriate testing and clinical decision making for individuals with suspected coronary artery disease: a prospective multicenter study. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2013; 62: 308–316.
9. Brown K.A. Prognostic value of thallium-201 myocardial perfusion imaging. A diagnostics tool comes of age. *Circulation* 1991; 83: 363–381.
10. Hachamovitch R., Hayes S.W., Friedman J.D., Cohen I., Berman D.S. Comparison of the short-term survival benefit associated with revascularization compared with medical therapy in patients with no prior coronary artery disease undergoing stress myocardial perfusion single photon emission computed tomography. *Circulation* 2003; 107: 2900–2907.
11. Heart disease and stroke statistic-2008 update. AHA 2007. <http://www.americanheart.org>.
12. Kennedy J.W. Complications associated with cardiac catheterization and angiography. *Cathet. Cardiovasc. Diagn.* 1982; 8: 5–11.
13. Davidson C.J., Bonow R. Cardiac catheterization. W: Braunwald E., Zipes D.P., Libby P. (red.). Heart disease: a textbook of cardiovascular medicine. 7th edition. New York 2005: 419–421.
14. Gibbons R.J., Hodge D.O., Berman D.S. i wsp. Long term outcome of patients with intermediate risk exercise electrocardiograms who do not have myocardial perfusion defects on radionuclide imaging. *Circulation* 1999; 100: 2140–2145.
15. Amanullah A.M., Berman D.S., Erel J. i wsp. Incremental prognostic value of adenosine myocardial perfusion single-photon emission computed tomography in women with suspected coronary artery disease. *Am. J. Cardiol.* 1998; 82: 725–730.
16. Hachamovitch R., Berman D.S., Kiat H. i wsp. Effective risk stratification using exercise myocardial perfusion SPECT in women: gender related differences in prognostic nuclear testing. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1996; 28: 34–44.
17. Hachamovitch R., Berman D.S., Shaw L.J. i wsp. Incremental prognostic value of myocardial perfusion single photon emission computed tomography for the prediction of cardiac death: differential stratification for risk of cardiac death and myocardial infarction. *Circulation* 1998; 97: 535–543.
18. Biagini E., Shaw L.J., Poldermans D. i wsp. Accuracy of non invasive techniques for diagnosis of coronary artery disease and prediction of cardiac events in patients with left bundle branch block: a meta analysis. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging* 2006; 33: 1442–1451.
19. Berman D.S., Kang X., Hayes S.W. i wsp. Adenosine myocardial perfusion single photon emission computed tomography in women compared with men. Impact of diabetes mellitus on incremental prognostic value and effect on patient management. *Am. Coll. Cardiol.* 2003; 41: 1125–1133.
20. Min J.K., Hachamovitch R., Rozansky A. i wsp. Clinical benefits of noninvasive testing: computer tomography angiography as a test case. *JACC Cardiovasc. Imaging* 2010; 3: 305–315.
21. He Z.X., Hedrick T.D., Pratt C.M. i wsp. Severity of coronary artery calcification by electron beam computed tomography predicts silent myocardial ischemia. *Circulation* 2000; 101: 244–251.
22. Berman D.S., Wong N.D., Gransar H. i wsp. Relationship between stress-induced myocardial ischemia and atherosclerosis measured by coronary calcium tomography. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2004; 44: 923–930.
23. Anand D.V., Lim E., Hopkins D. i wsp. Risk stratification in uncomplicated type 2 diabetes: prospective evaluation of the combined use of coronary artery calcium imaging and selective myocardial perfusion scintigraphy. *Eur. Heart J.* 2006; 27: 713–721.