

Zastosowanie tomografii komputerowej w kardiologii

The use of computed tomography in cardiology

Jadwiga Fijałkowska¹,
Dorota Gałąska²,
Joanna Pieńkowska¹,
Marcin Fijałkowski³,
Edyta Szurowska¹

¹II Zakład Radiologii, Gdański Uniwersytet Medyczny

²I Zakład Radiologii, Gdański Uniwersytet Medyczny

³I Katedra i Klinika Kardiologii, Gdański Uniwersytet Medyczny

STRESZCZENIE

Do podstawowych, rutynowo wykonywanych, badań obrazowych w kardiologii należą klasyczne zdjęcie rentgenowskie klatki piersiowej, ultradźwiękowe obrazowanie serca za pomocą przezklatkowej i przezprzełykowej echokardiografii, ze szczególnym uwzględnieniem technik dopplerowskich, oraz angiografia, jako główna metoda obrazowania naczyń wieńcowych (koronarografia). Bardziej zaawansowane metody diagnostyczne, takie jak pozytonowa emisyjna tomografia komputerowa (PET), czy scyntygrafia, są wykonywane o wiele rzadziej, mimo uznanego zastosowania w ocenie żywotności mięśnia sercowego, czy też funkcji skurczowej i objętości komór serca. W ostatnich latach, w wyniku rozwoju technologicznego oraz poprawy dostępności urządzeń, obserwuje się zwiększenie liczby wykonywanych badań obrazowych serca i dużych naczyń za pomocą metod nieinwazyjnych, takich jak wielorzędowa tomografia komputerowa (TK). Liczba informacji dotyczących budowy i funkcji układu sercowo-naczyniowego — możliwa do uzyskania w trakcie jednego badania — czyni te metody konkurencyjnymi w stosunku do innych nieinwazyjnych, jak również inwazyjnych badań diagnostycznych oraz sprawia, że poszerzają się wskazania do wykonania tomografii komputerowej w praktyce klinicznej.

Forum Medycyny Rodzinnej 2013, tom 7, nr 3, 141–148

Słowa kluczowe: angiografia, choroba wieńcowa, tomografia komputerowa

ABSTRACT

Routine imaging studies performed in cardiology include classic chest X-ray, ultrasound examination of the heart by means of transthoracic and transesophageal echocardiography with particular reference to the Doppler technique and finally angiography as the primary method of imaging the coronary arteries. More advanced diagnostic methods such as PET (positron emission tomography) and scintigraphy are performed much less frequently, despite their approved use in the evaluation of myocardial viability or left ventricular systolic function and volume. In recent years, as a result of technological development and the improvement of equipment availability, we see an increase in the number of heart and great vessels imaging by use of non-invasive methods such as multi-detector computed tomography (CT). The amount of information concerning the structure and function of the

Adres do korespondencji:

Ilek. Jadwiga Fijałkowska
Zakład Radiologii GUMed
ul. Dębinki 7, 80–211 Gdańsk
tel./faks: 58 349 36 80/90
e-mail: jagfijal@gmail.com

”
**Ocena uwapnienia
tętnic wieńcowych nie
wymaga podania środka
kontrastującego i wiąże
się z niewielką dawką
promieniowania**

”
**Określenie calcium
score zalecane jest
szczególnie u osób z grupy
pośredniego ryzyka
incydentów sercowo-
-naczyniowych**

cardiovascular system that could be obtained in one of these examinations makes this method competitive with respect to other non-invasive and invasive diagnostic tools and extends the indications for CT in clinical practice.

Forum Medycyny Rodzinnej 2013, vol 7, no 3, 141–148

Key words: angiography, coronary artery disease, computed tomography

TOMOGRAFIA KOMPUTEROWA

Zakład Radiologii Uniwersyteckiego Centrum Klinicznego w Gdańsku dysponuje nowoczesnym dwuźródłowym 128-warstwowym tomografem komputerowym. Zastosowanie dwóch układów lampa-detektor do pełnej rekonstrukcji pojedynczego obrazu wymaga jedynie jednej czwartej obrotu gantry, co pozwala na dwukrotną poprawę rozdzielczości czasowej w porównaniu do skanerów jednoźródłowych. Ma to istotne znaczenie w obrazowaniu serca, które jest narządem o dużej przestrzennej ruchomości. Tak więc, w przypadku wysokiej częstości akcji serca znacznemu skróceniu ulega okienko czasowe cyklu pracy serca, w którym tętnice wieńcowe poruszają się względnie powoli, co pozwala na ostre odwzorowanie naczyń. Dodatkowo technologia ruchomego ogniskowania pozwala na uzyskanie rozdzielczości przestrzennej wynoszącej 0,4 mm, co konieczne jest do oceny zwężeń w tętnicach wieńcowych. Co najważniejsze, skrócenie czasu ekspozycji, w porównaniu do układu tradycyjnego pozwala istotnie zmniejszyć zastosowaną dawkę promieniowania jonizującego bez ujemnego wpływu na jakość uzyskiwanych obrazów [1]. Ponadto czas samego skanowania zmniejsza się do kilkunastu sekund, skróceniu ulega więc czas zatrzymania oddechu, co zwiększa komfort pacjenta i poprawia współpracę.

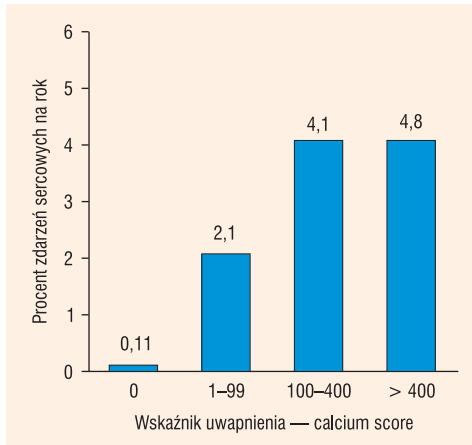
OCENA ILOŚCIOWA UWAPNIENIA TĘTNIC WIEŃCOWYCH

Odkładanie złogów wapna jest etapem tworzenia się blaszki miażdżycowej. Wykazano, że zwapnienia w obrębie tętnic wieńcowych

ściśle korelują z objętością zmian miażdżycowych i są czułym wskaźnikiem obecności istotnej choroby wieńcowej [2]. Ocena uwapnienia tętnic wieńcowych nie wymaga podania środka kontrastującego i wiąże się z niewielką dawką promieniowania na poziomie 1–2 mSv. Obecnie do ilościowej oceny zwapnień w tętnicach wieńcowych stosowany jest najczęściej indeks zwapnień zaproponowany przez Agatston, gdzie zwapnienie definiowane jest jako obszar o powierzchni powyżej 2 mm² i gęstości powyżej 130 jH. Przyjęto cztery stopnie ryzyka choroby wieńcowej, w zależności od nasilenia zwapnień w naczyniach wieńcowych przy zastosowaniu wskaźnika Agatston:

- 0–10 — bardzo niskie i niskie,
- 11–100 — umiarkowane,
- 101–400 — umiarkowanie wysokie,
- 401–1000 — wysokie,
- >1000 — bardzo wysokie.

Wynik oceny zwapnień można podsumować w następujący sposób: brak zwapnień z dużym prawdopodobieństwem wyklucza istotne zwężenia w tętnicach wieńcowych; umiarkowane lub istotne nasilenie zwapnień u osób bezobjawowych umożliwia ocenę ryzyka i wdrożenie postępowania modyfikującego czynniki ryzyka, a ocena stopnia nasilenia zwapnień pozwala monitorować przebieg procesu miażdżycowego (ryc. 1). Określenie *calcium score* zalecane jest szczególnie u osób z grupy pośredniego ryzyka incydentów sercowo-naczyniowych, tj. z 10–20% ryzykiem wystąpienia niekorzystnych zdarzeń sercowo-naczyniowych w ciągu 10 lat [2, 3]. Ocena zwapnień w tętnicach wieńcowych może także wspomóc diagnostykę różnicową bólu



Rycina 1. Procentowe ryzyko niekorzystnych zdarzeń sercowo-naczyniowych w ciągu roku, w zależności od wskaźnika uwapnienia tętnic wieńcowych

w klatce piersiowej, w szczególności u młodych pacjentów z nietypowym jego charakterem. Może także być pomocna w podjęciu decyzji o modyfikacji leczenia farmakologicznego u chorych z zaburzeniami gospodarki lipidowej, będących w grupie wysokiego ryzyka choroby wieńcowej, czyli chorych na cukrzycę, z przewlekłą niewydolnością nerek czy hipercholesterolemią rodzinną [4, 5]. Brak zwapnień w obrębie tętnic wieńcowych w tej grupie pacjentów wiąże się z korzystnym rokowaniem długoterminowym. Należy jednak pamiętać, że wysoki indeks zwapnień nie zawsze koreluje z obecnością istotnych zwężeń w tętnicach wieńcowych. Wykonywanie koronarografii u bezobjawowych osób z wysokim indeksem zwapnień nie powinno odbywać się automatycznie oraz — zgodnie ze stanowiskiem Grupy Roboczej Kardiologii Nuklearnej i Kardiologicznej Tomografii Komputerowej ESC — nie powinno wykonywać się seryjnych oznaczeń uwapnienia tętnic wieńcowych w celu kontroli progresji tych zmian [6]. Warto nadmienić, że możliwa jest obecność blaszek miażdżycowych w tętnicach wieńcowych, które nie są zwapniałe lub wielkość i wysycenie zwapnień jest poniżej detekcji urządzenia. Dlatego też, nie można jednoznacznie uznać, że *calcium score* równy 0 w każdym przypadku oznacza również



Rycina 2. Obrazowanie TK w rekonstrukcji wielopłaszczyznowej nasilonych zwapnień w pniu oraz gałęzi przedniej zstępującej i okalającej lewej tętnicy wieńcowej (strzałki)

zerowe ryzyko niekorzystnych zdarzeń sercowo-naczyniowych (ryc. 2).

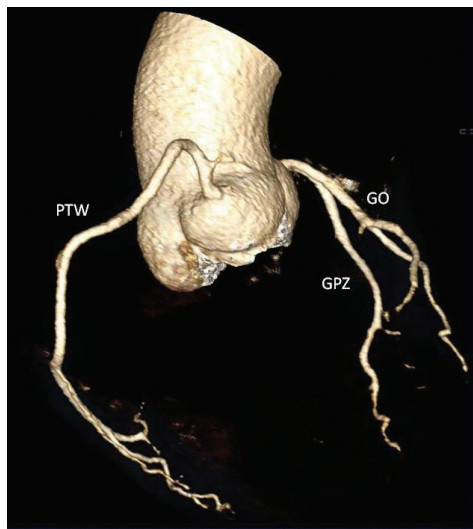
OBRAZOWANIE NACZYŃ WIEŃCOWYCH — NIEINWAZYJNA KORONAROGRAFIA

Klasykna koronarografia jest obecnie złotym standardem w wykrywaniu i ocenie istotności zwężeń w naczyniach wieńcowych. Koronarografia tomografem komputerowym (TK), w porównaniu do przezskórnej angiografii, jest metodą nieinwazyjną, można ją wykonywać w trybie ambulatoryjnym, a częstość powikłań jest znacząco niższa. Dodatkowo daje możliwości wykonywania wtórnych rekonstrukcji w dowolnych płaszczyznach, jak i rekonstrukcji przestrzennych (ryc. 3). Dzięki tym wielopłaszczyznowym obrazom koronarografia TK pozwala na ocenę naczyń w przekrojach poprzecznych (ryc. 4). Możliwa jest dokładniejsza analiza samej ściany tętnicy lub blaszki miażdżycowej, jak i procentowego zwężenia światła naczynia, podobnie jak w ultrasonografii wewnątrznacyniowej (IVUS, *intravascular ultrasound*) [7]. Ponadto badanie TK pozwala na lepszą ocenę zwapnień w obrębie blaszki miażdżycowej oraz ocenę przebiegu i obwodów niedrożnych tętnic wieńcowych [8]. Ma to istotne znaczenie

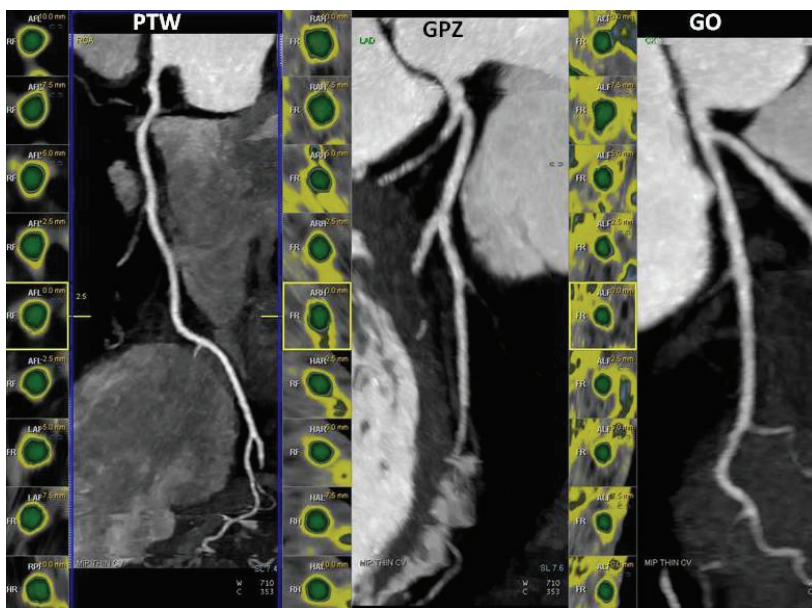
**”
Koronarografia
tomografem
komputerowym (TK),
w porównaniu do
przezskórnej angiografii,
jest metodą nieinwazyjną,
można ją wykonywać
w trybie ambulatoryjnym**



Koronarografia TK cechuje się najwyższą wartością diagnostyczną spośród metod nieinwazyjnych stosowanych w diagnostyce choroby wieńcowej



Rycina 3. Obrazowanie TK w rekonstrukcji przestrzennej prawidłowych tętnic wieńcowych. PTW — prawa tętnica wieńcowa; GPZ — gałąź przednia zstępującej lewej tętnicy wieńcowej; GO — gałąź okalająca lewej tętnicy wieńcowej



Rycina 4. Obrazowanie TK w rekonstrukcji wielopłaszczyznowej po krzywej oraz przekroje poprzeczne prawidłowych tętnic wieńcowych. PTW — prawa tętnica wieńcowa; GPZ — gałąź przednia zstępującej lewej tętnicy wieńcowej; GO — gałąź okalająca lewej tętnicy wieńcowej

przy planowaniu rewaskularyzacji przewlekłych zamknięć naczyń wieńcowych [9]. Wadą koronarografii TK jest niższa rozdzielczość przestrzenna i czasowa niż uzyskiwana w tradycyjnej angiografii. Nie wolno zapominać, że chorzy otrzymują dawkę promieniowania jonizującego na średnim poziomie około

12 mSv (tradycyjna koronarografia to średnio około 8,5 mSv), co ma szczególne znaczenie u chorych poniżej 40. roku życia, oraz że w trakcie badania TK istnieje konieczność zastosowania środków kontrastowych [10, 11]. Warto jednak nadmienić, że wraz z rozwojem technologicznym skanerów, zwiększeniem rzędowości i liczby układów lampa-odbiornik oraz prospektywnego bramkowania EKG, dochodzi do zmniejszenia dawki promieniowania; przy zastosowaniu aparatów 320-rzędowych dawka promieniowania jest o połowę niższa niż w tradycyjnej koronarografii [12]. Pomimo wymienionych ograniczeń, koronarografia TK cechuje się najwyższą wartością diagnostyczną spośród metod nieinwazyjnych stosowanych w diagnostyce choroby wieńcowej serca. Według stanowiska Grupy Roboczej Kardiologii Nuklearnej i Kardiologicznej Tomografii Komputerowej Europejskiego Towarzystwa Kardiologicznego wykonanie TK wskazane jest głównie u pacjentów z grupy umiarkowanego ryzyka miażdżycy, szczególnie z niejednoznacznymi wynikami testów obciążeniowych [6] (ryc. 5).

Dzięki rekonstrukcji przestrzennej TK jest doskonałym narzędziem do oceny anomalii tętnic wieńcowych — analizy ich odejścia oraz dalszego przebiegu i rozmieszczenia względem innych struktur. Jest to istotne, gdyż między innymi w przypadku odejścia lewej tętnicy wieńcowej od prawej zatoki wieńcowej, rośnie ryzyko zawału mięśnia sercowego lub nagłego zgonu sercowego. Warto nadmienić, że wady wrodzone nieprawidłowego odejścia lub przebiegu naczyń wieńcowych po chorobach strukturalnych mięśnia sercowego są główną przyczyną zgonów u sportowców. Koronarografia TK jest także wartościowym badaniem do oceny mostków mięśniowych przebiegających nad tętnicami wieńcowymi oraz do oceny przetok [13].

Kolejnym istotnym zastosowaniem koronarografii TK jest badanie pomostów aortalno-wieńcowych (by-passów): ich przebiegu, drożności, stopnia ewentualnego zwężenia, w tym

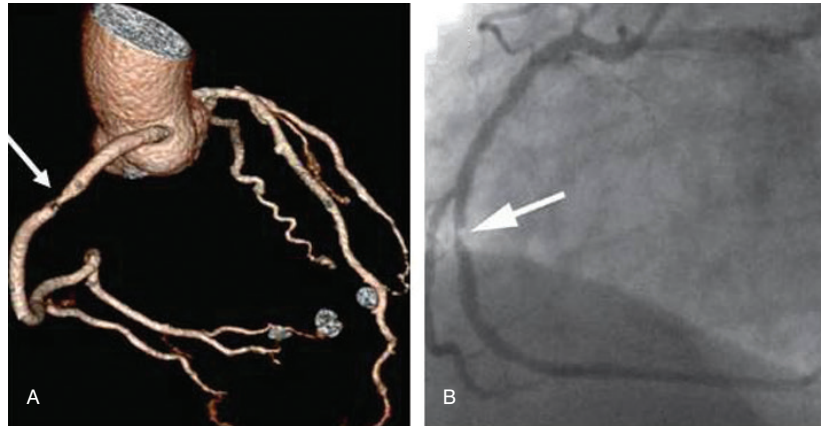
ocena w miejscu zespolenia. Lepsze obrazowanie pomostów związane jest z większą ich średnicą, mniejszą ruchomością oraz najczęściej mniejszą liczbą zwapnień i blaszek miażdżycowych [14]. Szczególnie jest to przydatne w przypadkach podejrzenia wczesnej okluzji graftów po operacji kardiochirurgicznej. Łatwiej można uwidocznic ich zakontrastowanie niż w tradycyjnej koronarografii, w której niezrędko nie udaje się intubacja ostium graftu i podanie selektywnie kontrastu (ryc. 6).

Obecnie dostępna jest znaczna liczba procedur implantacji stentów do naczyń wieńcowych, nie można więc pominąć zastosowania koronarografii TK w tej grupie chorych. Należy pamiętać, że obecność metalu powoduje powstanie artefaktów, które utrudniają, a nawet uniemożliwiają wiarygodną ocenę zwężeń w stentach. Z tego też powodu koronarografii TK nie jest rekomendowana do oceny restenoz w stentach, a jej względna przydatność ma miejsce jedynie w przypadku stentów o średnicy większej niż 3 mm oraz implantowanych w obrębie pnia głównego lewej tętnicy wieńcowej [15]. Warto nadmienić, że najnowsze implantowane już rutynowo stenty nie są zbudowane z metalu oraz ulegają biodegradacji i absorpcji. W tym szczególnym przypadku rola koronarografii TK do oceny restenoz wydaje się być obiecująca, choć jeszcze nieprzebadana. Przydatnym zastosowaniem TK w przypadku stentów dowieńcowych może być ocena deformacji czy „złamania się” stentu oraz ocena przerwy pomiędzy stentami w przypadku implantacji kilku stentów (ryc. 7).

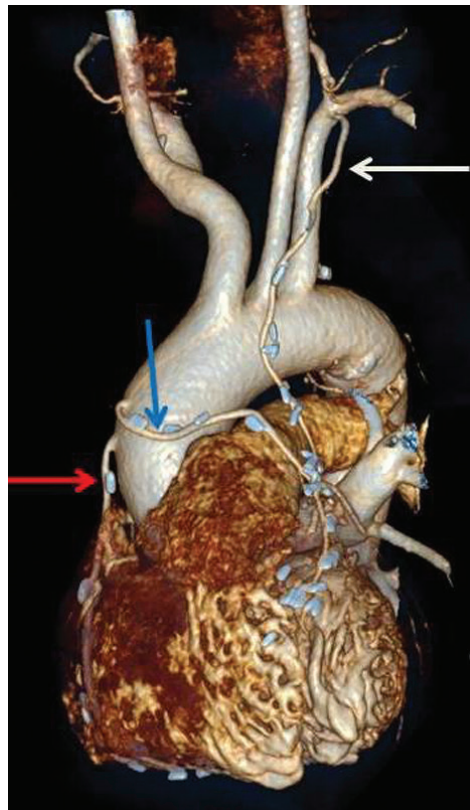
INNE KARDIOLOGICZNE ZASTOSOWANIA TK

Badanie TK serca umożliwia uzyskanie parametrów hemodynamicznych określających funkcje serca, takich jak objętość późno-skurczowa i późno-rozkurczowa, objętość wyrzutowa, frakcja wyrzutowa, zarówno dla lewej, jak i prawej komory. Daje również możliwość wyliczenia masy mięśnia sercowego [16].

Badanie TK z użyciem kontrastu może być wykorzystane również w celu oceny perfuzji



Rycina 5. Obrazowanie TK w rekonstrukcji przestrzennej istotnej zmiany w prawej tętnicy wieńcowej (A) oraz w klasycznej koronarografii (B)

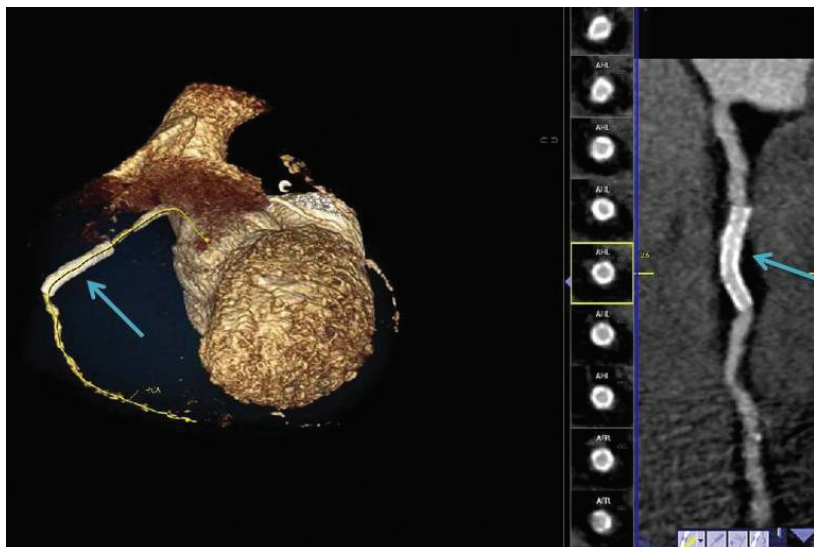


Rycina 6. Obrazowanie TK w rekonstrukcji przestrzennej pomostu z tętnicy piersiowej wewnętrznej do gałęzi przedniej zstępującej lewej (strzałka biała), pomostu żylnego aorta-gałąż okalająca lewej tętnicy wieńcowej (strzałka niebieska) oraz pomostu żylnego aorta-prawa tętnica wieńcowa (strzałka czerwona)

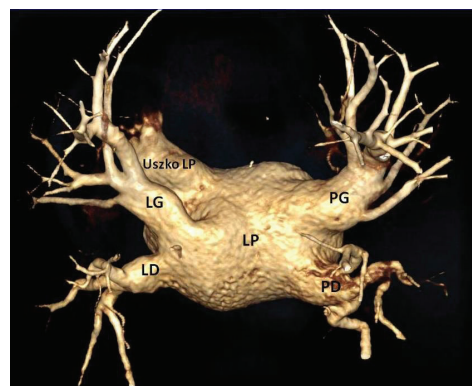
lub żywotności mięśnia sercowego. Jednak, ze względu na ryzyko związane z narażeniem pacjenta na promieniowanie jonizujące oraz faktu, że inne narzędzia diagnostyczne mają

”
Koronarografia TK nie jest
rekomendowana do oceny
restenoz w stentach

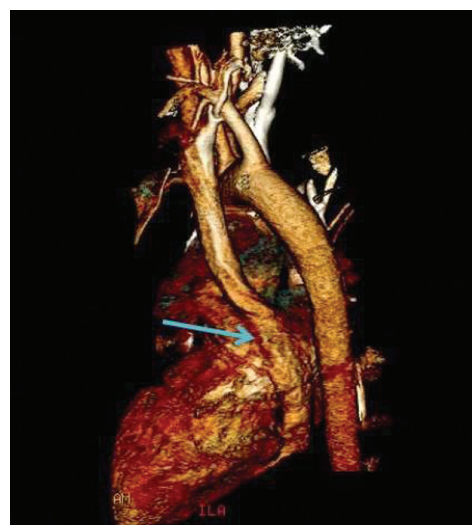
”
Badanie TK z użyciem
kontrastu może być
wykorzystane również
w celu oceny perfuzji
lub żywotności mięśnia
sercowego



Rycina 7. Obrazowanie TK stentu w prawej tętnicy wieńcowej (strzałki) w rekonstrukcji przestrzennej (A) oraz wielopłaszczyznowej po krzywej z przekrojami poprzecznymi (B)



Rycina 8. Obrazowanie TK w rekonstrukcji przestrzennej prawidłowego splotu żył płucnych do lewego przedsionka (LP). LG — żyła płucna górna lewa; LD — żyła płucna dolna lewa; PG — żyła płucna górna prawa; PD — żyła płucna dolna prawa



Rycina 9. Obrazowanie TK w rekonstrukcji przestrzennej przetrwałej żyły głównej lewej uchodzącej do zatoki wieńcowej (strzałka)

porównywalną czułość i specyficzną w detekcji zaburzeń perfuzji, metoda ta nie jest rutynowo stosowana w tym wskazaniu [17]. Ocena perfuzji mięśnia sercowego może być pomocna w różnicowaniu zmian patologicznych w sercu, takich jak guzy pierwotne (łagodne lub złośliwe) czy przerzutowe.

Ponadto obrazowanie naczyń w TK ma zastosowanie w planowaniu zabiegów, takich jak endowaskularna implantacja stent-graftów w obrębie aorty piersiowej i brzusznej, a także kwalifikacji pacjentów do zabiegu przeszłonkowej implantacji zastawki aortalnej (TAVI, *transcatheter aortic valve implantation*). Dokładana ocena anatomii aorty piersiowej, nasilenia procesów miażdżycowych, pomiar średnicy pierścienia zastawki aortalnej, obecność konglomeratów wapnia czy oszacowanie odległości odejścia tętnic wieńcowych od pierścienia zastawki aortalnej pozwala na zaplanowanie zabiegu i prawidłowy dobór rozmiaru protezy zastawkowej [18].

Badaniem TK obrazuje się także anatomię żył płucnych przed ablacją mięśnia sercowego w leczeniu arytmii czy zatokę wieńcową przed terapią resynchronizującą [19] (ryc. 8).

Szczególnie ważne miejsce zajmuje obrazowanie układu sercowo-naczyniowego

za pomocą TK w wadach wrodzonych serca. Badanie to daje możliwości prześledzenia przebiegu naczyń tętniczych i żylnych na całej długości ich przebiegu oraz wykazania nieprawidłowych połączeń na poziomie przegród serca. Ma to znaczenie u dorosłych po korekcji wad wrodzonych serca (GUCH, *grown-up congenital heart disease*), gdzie różnorodność wariantów anatomicznych oraz zmian po zastosowanym leczeniu jest bardzo duża (ryc. 9).

W badaniu TK serca można ocenić także ruchomość dysków mechanicznych protez zastawkowych przy podejrzeniu unierucho-

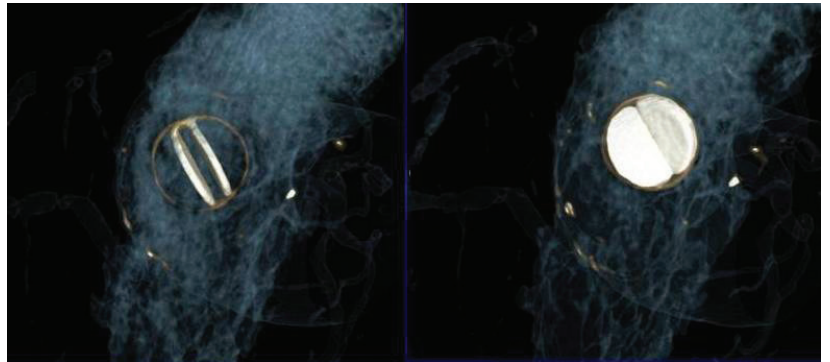


Szczególnie ważne miejsce zajmuje obrazowanie układu sercowo-naczyniowego za pomocą TK w wadach wrodzonych serca

mienia lub ograniczenia ich ruchomości. TK szczególnie przydatne jest w sytuacjach, kiedy ocena innymi metodami, takimi jak echokardiografia czy fluoroskopia, nie daje jednoznacznych wyników (ryc. 10).

Dodatkowym zastosowaniem badania TK jest protokół potrójnego wykluczania (*triple-rule-out*), który pozwala na diagnostykę różnicową bólu w klatce piersiowej w szpitalnych oddziałach ratunkowych [20]. Badanie to różnicuje przyczynę dolegliwości pomiędzy zatorowością płucną, rozwarstwieniem aorty wstępującej czy obecnością zwężeń w tętnicach wieńcowych. Szybkie i wielokierunkowe wykluczenie przyczyn dolegliwości chorego pozwala wdrożyć ratujące życie procedury bez nadmiernej zwłoki oraz ukierunkować dalszą diagnostykę, co przyspiesza diagnozę, ogranicza liczbę niepotrzebnych badań i jest korzystne także ekonomicznie.

Podsumowując, TK jest szczególnie przydatne do oceny tętnic wieńcowych. Ko-



Rycina 10. Obrazowanie TK mechanicznej protezy zastawkowej w pozycji mitralnej o prawidłowej ruchomości dysków w trakcie rozkurczu (A) oraz skurczu komór serca (B)

ronarografia TK wydaje się być wiarygodną metodą do wykluczania choroby wieńcowej, ze względu na wysoką negatywną wartość predykcyjną [21]. Szczególnie jest dedykowana dla chorych z podejrzeniem anomalii wieńcowych, w przypadku nieudanej kaniulacji tętnic wieńcowych metodami klasycznymi, u chorych z brakiem dostępu naczyniowego lub z dużym ryzykiem badania inwazyjnego.

PIŚMIENNICTWO

1. Lazoura O., Vlychou M., Vassiou K., Rountas C., Ioannis F. 128-detector-row computed tomography coronary angiography evaluating coronary artery disease: who avoids cardiac catheterization? *Angiology* 2010; 61: 174–178.
2. Greenland P., LaBree L., Azen S.P., Doherty T.M., Detrano R.C. Coronary artery calcium score combined with Framingham score for risk prediction in asymptomatic individuals. *JAMA* 2004; 291: 210–215.
3. Brown E.R., Kronmal R.A., Bluemke D.A. i wsp. Coronary calcium coverage score: determination, correlates, and predictive accuracy in the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *Radiology* 2008; 247: 669–675.
4. Raggi P., Shaw L.J., Berman D.S., Callister T.Q. Prognostic value of coronary artery calcium screening in subjects with and without diabetes. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2004; 43: 1663–1669.
5. Block G.A., Raggi P., Bellasi A., Kooienga L., Spiegel D.M. Mortality effect of coronary calcification and phosphate binder choice in incident hemodialysis patients. *Kidney Int.* 2007; 71: 438–441.
6. Perrone-Filardi P., Achenbach S., Möhlenkamp S. i wsp. Cardiac computed tomography and myocardial perfusion scintigraphy for risk stratification in asymptomatic individuals without known cardiovascular disease. *Eur. Heart J.* 2011; 32: 1986–1993.
7. Kass M., Glover C., Labinaz M. i wsp. Lesion characteristics and coronary stent selection with computed tomographic coronary angiography: a pilot investigation comparing CTA, QCA and IVUS. *J. Invasive Cardiol.* 2010; 22: 328–334.
8. Pręgowski J., Michałowska I., Kępka C. Tomografia komputerowa czy koronarografia — która z metod jest bardziej przydatna w planowaniu rewaskularyzacji? *Post. Kardiol. Interw.* 2010; 6: 187–193.
9. García-García H.M., van Mieghem C.A., Gonzalo N. i wsp. Computed tomography in total coronary occlusions (CTTO registry): radiation exposure and predictors of successful percutaneous intervention. *EuroIntervention* 2009; 4: 607–616.
10. Fazel R., Krumholz H.M., Wang Y. i wsp. Exposure to low-dose ionizing radiation from medical imaging procedures. *N. Engl. J. Med.* 2009; 361: 849–857.
11. Kim K.P., Einstein A.J., Berrington de Gonzalez A. Coronary artery calcification screening: estimated radiation dose and cancer risk. *Arch. Intern. Med.* 2009; 169: 1184–1194.
12. Dewey M., Zimmermann E., Deissenrieder F. i wsp. Noninvasive coronary angiography by 320-row computed tomography with lower radiation exposure and maintained diagnostic accuracy: comparison of results with cardiac catheterization in a

- head-to-head pilot investigation. *Circulation* 2009; 120: 867–875.
13. Kuniej T., Derkacz A. Zastosowanie tomografii komputerowej w kardiologii — praca przeglądowa. *Acta Bio-Optica et Informatica Medica* 2009; 15: 273–276.
 14. Chiurlia E., Menozzi M., Ratti C., Romagnoli R., Modena M.G. Follow-up of coronary artery bypass graft patency by multislice computed tomography. *American Journal of Cardiology* 2005; 95: 1094–1097.
 15. Wykrzykowska J.J., Arbab-Zadeh A., Godoy G. i wsp. Assessment of in-stent restenosis using 64-MDCT: analysis of the CORE-64 Multicenter International Trial. *Am. J. Roentgenol.* 2010; 194: 85–92.
 16. Cury R.C., Nieman K., Shapiro M.D. i wsp. Comprehensive assessment of myocardial perfusion defects, regional wall motion, and left ventricular function by using 64-section multidetector CT. *Radiology* 2008; 248: 466–475.
 17. So A., Hsieh J., Narayanan S. i wsp. Dual-energy CT and its potential use for quantitative myocardial CT perfusion. *Cardiovasc. Comput. Tomogr.* 2012; 6: 308–17.
 18. Korosoglou G., Gitsioudis G., Waechter-Stehle I. i wsp. Objective quantification of aortic valvular structures by cardiac computed tomography angiography in patients considered for transcatheter aortic valve implantation. *Catheter. Cardiovasc. Interv.* 2013; 81: 148–59.
 19. Cronin P., Sneider M.B., Kazerooni E.A. i wsp. MDCT of the left atrium and pulmonary veins in planning radiofrequency ablation for atrial fibrillation: a how-to guide. *American Journal of Roentgenology.* 2004; 183: 767–778.
 20. Frauenfelder T., Appenzeller P., Karlo C. i wsp. Triple rule-out CT in the emergency department: protocols and spectrum of imaging findings. *Eur. Radiol.* 2009; 19: 789–99.
 21. Choi E.K., Choi S.I., Rivera J.J. i wsp. Coronary computed tomography angiography as a screening tool for the detection of occult coronary artery disease in asymptomatic individuals. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2008; 52: 357–365.