

Odpowiedzialne stosowanie tomografii komputerowej w diagnostyce bólów w klatce piersiowej i zaawansowania choroby wieńcowej

David E. Winchester, MD,¹ David C. Wymer, MD,² Roger Y. Shifrin, MD,² Steven M. Kraft, MD,¹ James A. Hill, MD, MS¹

¹ Department of Medicine, Division of Cardiology, University of Florida College of Medicine, Gainesville, Floryda, USA

² Department of Radiology, University of Florida College of Medicine, Gainesville, Floryda, USA

Mayo Clin Proc 2010;85(4):358-364

Tłum. lek. Małgorzata Załoga

W SKRÓCIE

Wśród wielu metod oceny układu krążenia i zgłaszanych przez pacjenta dolegliwości w obrębie klatki piersiowej tomografia komputerowa (TK) serca stanowi szybko rozwijającą się dziedzinę nieinwazyjnego obrazowania. Dzięki niej można określić wskaźnik uwapnienia tętnic wieńcowych, przeprowadzić koronarografię i analizę czynności komór serca oraz uzyskać dodatkowe informacje na temat anatomii klatki piersiowej. Autorzy, przeglądając bazę danych PubMed i zasoby wyszukiwarki Google od początku ich działania do września 2009 r., szukali informacji o dokładności, ryzyku i wartości rokowniczej wskaźnika uwapnienia tętnic wieńcowych i koronarografii TK. Tomografia komputerowa serca dostarcza informacji diagnostycznych podobnych jak echokardiografia, scyntygrafia perfuzyjna, pozytonowa tomografia emisyjna czy rezonans magnetyczny. Badanie to można przeprowadzić w kilka minut. Dzięki niemu u pacjentów z niejednoznaczny wynikiem próby wysiłkowej można wykluczyć konieczność wykonania przeszłokornej angiografii. Stosując w tym badaniu dawkę promieniowania podobną do uznanych metod diagnostycznych, takich jak scyntygrafia perfuzyjna serca, można uzyskać istotne klinicznie informacje. Co więcej, postępy w technologii pozwalają zmniejszyć dawkę promieniowania o 90%. Prawidłowy wynik badania oznacza bardzo dobre rokowanie. Wykorzystywanie tomografii komputerowej serca w diagnostyce pacjentów z bólem w klatce piersiowej może skrócić czas ich pobytu na izbie przyjęć. Za pomocą tej metody, przy odpowiednim zakwalifikowaniu pacjentów do badania, można precyzyjnie rozpoznać chorobę, przewidzieć efekty terapii i zredukować koszt opieki medycznej.

Tomografia komputerowa serca (*cardiac computed tomography*) to szybko rozwijająca się technika nieinwazyjnej oceny układu krążenia. Ostatnio znajduje się dla niej wiele potencjalnych zastosowań, np. badanie anomalii tętnic wieńcowych, ocena stopnia zwężenia żył płucnych lub przygotowanie do powtórzonego zabiegu pomostowania tętnic wieńcowych. Największe zainteresowanie budzi jednak ocena pacjentów pod kątem występowania choroby wieńcowej na podstawie wskaźnika uwapnienia tętnic wieńcowych i wyników angiografii naczyń wieńcowych metodą TK.

Korzystając z bazy danych PubMed i zasobów wyszukiwarki Google od początku ich działania do września 2009 r., szukaliśmy interesujących źródeł informacji, stosując słowa kluczowe: *coronary artery calcium* (uwapnienie tętnic wieńcowych), *coronary CT angiography* (angiografia naczyń wieńcowych metodą TK) i *radiation risk* (ryzyko związane z promieniowaniem jonizującym). Przeszukaliśmy też bibliografię innych artykułów przeglądowych. Z wyszukiwarki Google wybraliśmy publikacje z wiarygodnych źródeł, jak amerykańska Food and Drug Administration czy National Academy of Sciences. Z bazy PubMed prace dotyczące charakterystyki testów wybieraliśmy ze względu na jakość stosowanych metod badawczych – najchętniej sięgaliśmy po dane z kontrolowanych badań z randomizacją. Informacji o efektach klinicznych szukaliśmy przede wszystkim w wynikach badań z randomizacją, a w drugiej ko-

lejności w dużych badaniach populacyjnych. Artykuł podsumowuje najnowsze dane na temat dokładności, czułości i swoistości angiografii naczyń wieńcowych metodą TK i odpowiedzialnego stosowania badań wykorzystujących technikę tomografii komputerowej w diagnostyce kardiologicznej.

Technologia tomografii komputerowej

Do obrazowania serca służą dwa typy skanerów. Starszy z nich to tomograf wiązki elektronowej (EBCT – *electron beam computed tomography*), który stosuje się rzadziej niż drugą metodę, tj. wielorzędową spiralną tomografię komputerową (MDCT – *multidetector helical computed tomography*). EBCT nie ma mechanicznie obracającej się głowicy – zamiast niej działają elektrony wytwarzane przez przekierowywane w polu elektromagnetycznym stacjonarnej anody wolframowej.¹ Choć metoda ta charakteryzuje się bardzo dobrą rozdzielczością czasową,² jest wypierana przez MDCT ze względu na znacznie gorszą rozdzielczość przestrzenną. W najnowszych urządzeniach MDCT grubość przekroju wynosi 0,4 mm, co pozwala na wiarygodną ocenę niewielkich struktur, takich jak tętnice wieńcowe. Dla porównania – w obrazowaniu mięśnia sercowego za pomocą promieniowania jądrowego metodą tomografii emisyjnej pojedynczego fotonu grubość kryształu scyntylicyjnego wynosi 4-10 mm.

Najnowocześniejsze skanery MDCT wykorzystują obrotowe pierścienie ślizgowe, które wykonują obrót wokół pacjen-

Tabela. Ekspozycja na promieniowanie i średnie dawki^a

Ekspozycja	Typowa dawka pochłonięta (mSv)
Promieniowanie tła (kosmiczne i izotopów promieniotwórczych – radonu)	3
Palenie tytoniu ^b	2,8
Lot samolotem (1000 mil = 1609 km)	0,01
Badanie RTG klatki piersiowej (tylno-przednie i boczne)	0,04-0,1
Mammografia	0,5
TK głowy	2
TK jamy brzusznej	3-5
Przesiewowe badanie TK klatki piersiowej, jamy brzusznej i miednicy w kierunku nowotworu	7-12
Diagnostyczna koronarografia	2-10
Zabiegowa koronarografia	9-13
1-dniowa wysiłkowa scyntygrafia perfuzyjna serca z użyciem Sestamibi (metastabilnego izotopu technetu ^{99m} Tc)	9-12
2-dniowa wysiłkowa scyntygrafia perfuzyjna serca z użyciem Sestamibi (metastabilnego izotopu technetu ^{99m} Tc)	13-18
Perfuzja mięśnia sercowego techniką „dual-isotope” (połączenie spoczynkowego badania z użyciem talu z wysiłkowym badaniem z zastosowaniem technetu)	27
Perfuzja mięśnia sercowego z talem	35-40
Badanie PET z rubidem 82	5
TK wiązki elektronów (EBCT) wskaźnika uwapnienia tętnic wieńcowych	1
Wielorzędowa TK wskaźnika uwapnienia tętnic wieńcowych (MDCT)	1-3
Koronarografia TK metodą sekwencyjną	1-5
Koronarografia TK metodą spiralną z bramkowaniem retrospektywnym	9-20

^a TK – tomografia komputerowa; PET – pozytonowa tomografia emisyjna.

^b Ze względu na obecność polonu 201 odkładającego się na tytoniu po rozpadzie radonu.

ta w 350 ms lub szybciej. Aby wytworzyć obraz tomograficzny, wystarczy półobrót, w związku z tym serce można uwidocznić w ≤ 175 ms. Inne rozwiązanie problemu rozdzielczości czasowej stanowią dwuźródłowe skanery tomograficzne. Stosuje się w nich dwa źródła promieniowania i detektory umieszczone pod kątem 90°, co znów poprawia rozdzielczość czasową, maksymalnie do ≤ 83 ms.³ U większości pacjentów to wystarczający czas, by uchwycić serce w rozkurczu. Jeśli to konieczne, czynność serca można spowolnić, podając β -adrenolityk (zazwyczaj łączący się wybiórczo z receptorami β_1). Dzięki dwuźródłowym tomografom oraz innym konfiguracjom TK i oprogramowania pozwalającym uzyskać wysoką rozdzielczość czasową można zobrazować mięsień sercowy nawet u pacjentów z dysrytmia, np. z migotaniem przedsionków.⁴

By uwidocznić serce, trzeba zsynchronizować proces obrazowania z rytmem serca. W tym celu stosuje się dwie techniki – akwizycję obrazu z fazy rozkurczowej metodą sekwencyjną (*prospective triggering*) i retrospektywne bramkowanie EKG (*retrospective gating*). Optymalnym momentem do uwidocznienia tętnic wieńcowych jest faza rozkurczu, ponieważ serce jest wte-

dy prawie nieruchome. Aby uzyskać informacje na temat czynności komór, konieczne jest zobrazowanie całego cyklu serca.

W metodzie sekwencyjnej skaner MDCT przewiduje moment rozkurczu i z wcześniej ustalonym opóźnieniem włącza źródło promieniowania rentgenowskiego, które jest aktywne tylko przez chwilę i wyłącza się przed kolejnym skurczem. W najnowszych urządzeniach MDCT ten krótki impuls promieniowania rentgenowskiego wystarcza, by uwidocznić całe serce podczas jednego uderzenia. W porównaniu z retrospektywnym bramkowaniem EKG metoda ta pozwala ograniczyć dawkę promieniowania nawet o 90%. W retrospektywnym bramkowaniu źródło promieniowania jest włączone cały czas – przez tyle uderzeń serca, ile potrzeba do uzyskania pełnego obrazu. Po zebraniu danych obrazy są rekonstruowane, tak by móc ukazać dowolną fazę cyklu serca.

Zastosowanie kliniczne tomografii komputerowej w kardiologii

Termin tomografia komputerowa serca obejmuje wiele badań, w tym ocenę wskaźnika uwapnienia tętnic wieńcowych, angio-

grafię naczyń wieńcowych metodą TK, analizę czynności komórek oraz analizę strukturalną mas i wad wrodzonych, a także efektów wszczepienia pomostów omijających i operacji rekonstrukcyjnych. W przeglądzie skupiono się na ocenie choroby wieńcowej na podstawie wskaźnika uwapnienia tętnic wieńcowych i wyników angiografii naczyń wieńcowych metodą TK.

Wskaźnik uwapnienia tętnic wieńcowych

Wapń często występuje w blaszkach miażdżycowych i można go wykryć za pomocą każdego badania radiologicznego, aczkolwiek tomografia komputerowa ma największą czułość. Standardową miarą gęstości tkanek w tomografii są jednostki Hounsfielda (HU – *Hounsfield units*). Skala ta obejmuje zakres od –1000 j. (powietrze) [poprzez 0 – taką wartość przyjęto dla wody – przyp. red.] do >1000 j. (kość korowa). Zmiany w gęstości >130 HU są spowodowane zwapnieniami w tętnicach wieńcowych. Powszechnie stosowaną metodą ilościowej oceny zwapnień w tętnicach wieńcowych w badaniu TK jest skala Agatstona.⁵ Wynik uzyskuje się, analizując tomogramy osiowe grubości 3 mm, identyfikując zwapniałe blaszki miażdżycowe w tętnicach wieńcowych i mnożąc powierzchnię blaszki przez współczynnik istotności, określane przez maksymalną gęstość blaszki. Powszechnie stosuje się też metodę objętościową, której wyniki są bardziej powtarzalne i mniej zmienne.⁶ Jednym z pierwszych zastosowań EBCT było właśnie oznaczanie wskaźnika uwapnienia tętnic wieńcowych, choć współczesne skanery MDCT są pod tym względem równie pomocne.^{7,8}

Podsumowując, obecność zwapnień w tętnicach jest wysoce czułym i średnio swoistym wskaźnikiem choroby wieńcowej. Wartość predykcyjna ujemna (NPV – *negative predictive value*) wskaźnika uwapnienia równego 0 może sięgać 99% i wiąże się z rocznym ryzykiem powikłań sercowo-naczyniowych wynoszącym zaledwie 0,1%^{9,10} i wskaźnikiem 10-letniego przeżycia równym 99,4%.¹¹ Ze względu na niewielką swoistość całkowita dokładność diagnostyczna wskaźnika uwapnienia tętnic wieńcowych wynosi jednak ok. 70%, dlatego przeprowadzenie tylko tego badania nie wystarcza do rozpoznania choroby wieńcowej.¹²

Metodę określania wskaźnika uwapnienia szczegółowo oceniono w populacji pacjentów bez objawów, z grupy średniego ryzyka (w skali Framingham) poważnych niepożądanych zdarzeń sercowo-naczyniowych. W tej grupie ryzyko zawału mięśnia sercowego lub zgonu z powodu choroby wieńcowej wynosi 0,4% przy wskaźniku uwapnienia mieszczącym się w zakresie 0-99, 1,3% przy wskaźniku 100-399 i 2,4% przy >400.¹³ Wskaźnik uwapnienia tętnic nie tylko pomaga przewidywać ryzyko poważnych niepożądanych zdarzeń sercowo-naczyniowych, lecz także poprawia pole pod krzywą ROC (*receiver operating characteristic*) [krzywa ROC to graficzna prezentacja zależności między czułością a swoistością danego badania diagnostycznego; analiza krzywych ROC służy do obserwacji zmian czułości i swoistości diagnostycznej występujących przy przemieszczaniu wartości odcięcia. Wielkość pola pod krzywą ROC określa odsetek trafnych decyzji diagnostycznych – rozpoznań i wykluczeń rozwa-

żanej choroby. Wartość AUC (*area under the curve*) 0,92 oznacza 92% trafnych i 8% błędnych diagnoz – przyp. red.] dla przewidywania tych incydentów, a kolejne tercyle wykazują dodatnią korelację z rosnącymi współczynnikami ryzyka.¹⁴⁻¹⁸ Wskaźnik uwapnienia tętnic wieńcowych pozwala przewidzieć ryzyko we wszystkich grupach etnicznych,¹⁹ mimo że jego bezwzględne wartości dla 90. percentyla się różnią.²⁰ W badaniu obejmującym 20 000 pacjentolat monitorowania u wszystkich chorych ze wskaźnikiem Agatstona >100 wykazano wzrost ryzyka względnego zgonu lub niezakończony zgonem zawału mięśnia sercowego o 9,2, zaś gdy wskaźnik ten wynosił >400, ryzyko zwiększało się o 26,2. Wskaźniki Agatstona: 0, 1-99, 100-399 i >400 korelują z łącznym odsetkiem zdarzeń i procedur kardiologicznych (zgon z przyczyn sercowych, niezakończony zgonem zawału mięśnia sercowego, zabieg pomostowania lub angioplastyka), odpowiednio 0,54%, 1%, 5,5% i 14%.¹⁷

Angiografia naczyń wieńcowych metodą TK

Badanie to pozwala na nieinwazyjną ocenę anatomiczną zaawansowania choroby wieńcowej. Eksperci, określając rolę tej metody w obrazowaniu serca i ocenie ryzyka, porównali ją z innymi badaniami nieinwazyjnymi i anatomicznymi, a także oceniali w unikalnych warunkach klinicznych. Podobnie jak w przypadku innych testów diagnostycznych angiografię naczyń wieńcowych metodą TK badano też pod kątem wartości rokowniczej wystąpienia kolejnych zdarzeń sercowo-naczyniowych.

Badania nieinwazyjne w diagnostyce choroby wieńcowej stosuje się powszechnie. W angiografii naczyń wieńcowych metodą TK – w przeciwieństwie choćby do wysiłkowej echokardiografii z dobutaminą, scyntygrafii perfuzyjnej czy pozytonowej tomografii emisyjnej (PET – *positron emission tomography*) – chorobę wieńcową wykrywa się raczej na podstawie anatomii niż fizjologii, jednak ogólna wartość diagnostyczna tych testów jest zbliżona. Nix-dorff i wsp.²¹ u 71 pacjentów wykonali echokardiografię wysiłkową z dobutaminą i angiografię naczyń wieńcowych metodą TK. Pozytywne i negatywne współczynniki prawdopodobieństwa wynosiły dla echokardiografii wysiłkowej z dobutaminą odpowiednio 4,37 i 0,36, zaś dla angiografii 3,50 i 0,11. Budoff i wsp.²² oceniali 30 pacjentów, a czułość i swoistość angiografii (odpowiednio 94% i 96%) były u nich wyższe niż w scyntygrafii perfuzyjnej serca (odpowiednio 81% i 78%). Gamberli i wsp.²³ badali 78 pacjentów (w tym 24% z rozpoznaną chorobą wieńcową) skierowanych na klasyczną koronarografię (ICA – *invasive coronary angiography*) i wykonali u nich angiografię naczyń wieńcowych metodą TK oraz scyntyografię perfuzyjną. Zarówno klasyczna koronarografia, jak i angiografia z podobną precyzją pozwalały przewidzieć odwracalne niedokrwienie wykryte w scyntygrafii perfuzyjnej. Pole pod krzywą ROC wynosiło 0,88 dla angiografii naczyń wieńcowych metodą TK i 0,87 dla klasycznej koronarografii. Chow i wsp.²⁴ wykazali, że angiografia była czulsza i swoistsza niż pozytonowa tomografia emisyjna z rubidem 82. Sato i wsp.²⁵ wykonali u 104 pacjentów an-

giografię naczyń wieńcowych metodą TK i scyntyografię perfuzyjną z talem. Podobnie jak w innych badaniach klinicznych wartość predykcyjna ujemna angiografii okazała się bardzo dobra (99% przy zwężeniu >60% i 96% przy zwężeniu >70%). Ravipati i wsp.²⁶ oceniali angiografię naczyń wieńcowych metodą TK i scyntyografię perfuzyjną u 47 pacjentów. Wartość predykcyjna dodatnia (PPV – *positive predictive value*) i ujemna angiografii wyniosła odpowiednio 92% i 100%. Gorsze wyniki uzyskano w przypadku scyntygrafii perfuzyjnej – PPV=78% i NPV=28%.

Angiografię naczyń wieńcowych metodą TK porównywano też bezpośrednio z klasyczną koronarografią – najczęściej stosowaną metodą diagnostyczną naczyń wieńcowych w chorobie wieńcowej. W 4 badaniach u pacjentów, których skierowano na klasyczną koronarografię, angiografia naczyń wieńcowych metodą TK wykazała wartość predykcyjną ujemną w zakresie 95-100%, nawet u chorych ze znacznie zwiększonym wskaźnikiem uwapnienia tętnic wieńcowych.²⁷⁻³⁰ W badaniu CORE-64 (Coronary Artery Evaluation Using 64-Row Multidetector Computed Tomography Angiography) 266 pacjentów z 9 ośrodków na całym świecie poddano angiografii naczyń wieńcowych metodą TK, przed wykonaniem klasycznej koronarografii. Z badania wykluczono pacjentów ze wskaźnikiem Agatston >600. Wartość predykcyjna ujemna angiografii była niższa (83%) niż w innych badaniach. Badanie to pozwalało jednak równie skutecznie jak koronarografia przewidywać konieczność wykonania przezskórnej angioplastyki lub zabiegu pomostowania aortalno-wieńcowego w ciągu następnych 30 dni (pole pod krzywą ROC wynosiło odpowiednio 0,84 i 0,82).³¹ Podsumowując, u pacjentów z wysokim ryzykiem choroby wieńcowej przed badaniem, np. u kierowanych na klasyczną koronarografię, wartość predykcyjna ujemna testu jest bardzo dobra. Swoistość angiografii naczyń wieńcowych metodą TK (90% w badaniu CORE-64) nie wystarcza jednak, by można nią było zastąpić badanie inwazyjne.

Angiografia naczyń wieńcowych metodą TK odgrywa bardzo ważną rolę w pewnych sytuacjach klinicznych. Anomalie tętnic wieńcowych można rozpoznać w klasycznej koronarografii, ale objętościowe obrazowanie w tomografie pozwala uzyskać takie obrazy serca, które są niemożliwe do otrzymania w badaniu inwazyjnym, dzięki czemu angiografia naczyń wieńcowych metodą TK jest idealna do tego typu diagnostyki.³² Za jej pomocą można uwidoczniać blaszki miażdżycowe, przebudowę naczyń i rozproszone zwapnienia.³³ Blaszkami miażdżycowymi o niskiej gęstości stanowią wskaźnik prognostyczny dla ostrych zespołów wieńcowych (76% swoistość i współczynnik ryzyka wynoszący 22,8 po 24 miesiącach obserwacji).³⁴

Wartość angiografii naczyń wieńcowych metodą TK badano w specyficznych grupach pacjentów, np. na izbie przyjęć. Na izbie dzięki temu badaniu wśród pacjentów z ostrym bólem w klatce piersiowej można zidentyfikować tych z chorobą wieńcową. Gallagher i wsp.,³⁵ stosując angiografię i scyntyografię perfuzyjną, przeprowadzili prospektywną ocenę 85 pacjentów. War-

tość predykcyjna ujemna angiografii wyniosła 99%, a scyntygrafii 97%. Podczas 30-dniowej obserwacji pacjentów diagnozowanych na izbie przyjęć nie stwierdzono poważnych niepożądanych zdarzeń sercowo-naczyniowych. Goldstein i wsp.³⁶ przeanalizowali zależność między zastosowaniem na izbie przyjęć 64-płaszczyznowej, wielorzędowej spiralnej tomografii a stosunkiem korzyści do kosztów. 197 pacjentów poza standardowym postępowaniem diagnostycznym przydzielono losowo bądź do wykonania angiografii naczyń wieńcowych metodą TK, bądź do scyntygrafii perfuzyjnej. W grupie poddanej angiografii średni czas pobytu na izbie przyjęć wynosił 3,4 godziny, zaś w grupie scyntygrafii – 15 godzin. Wykonując angiografię, średnio udało się zaoszczędzić prawie 300 dol. w przeliczeniu na pacjenta. W czasie 6-miesięcznej obserwacji w żadnej z grup nie odnotowano niepożądanych zdarzeń sercowo-naczyniowych.

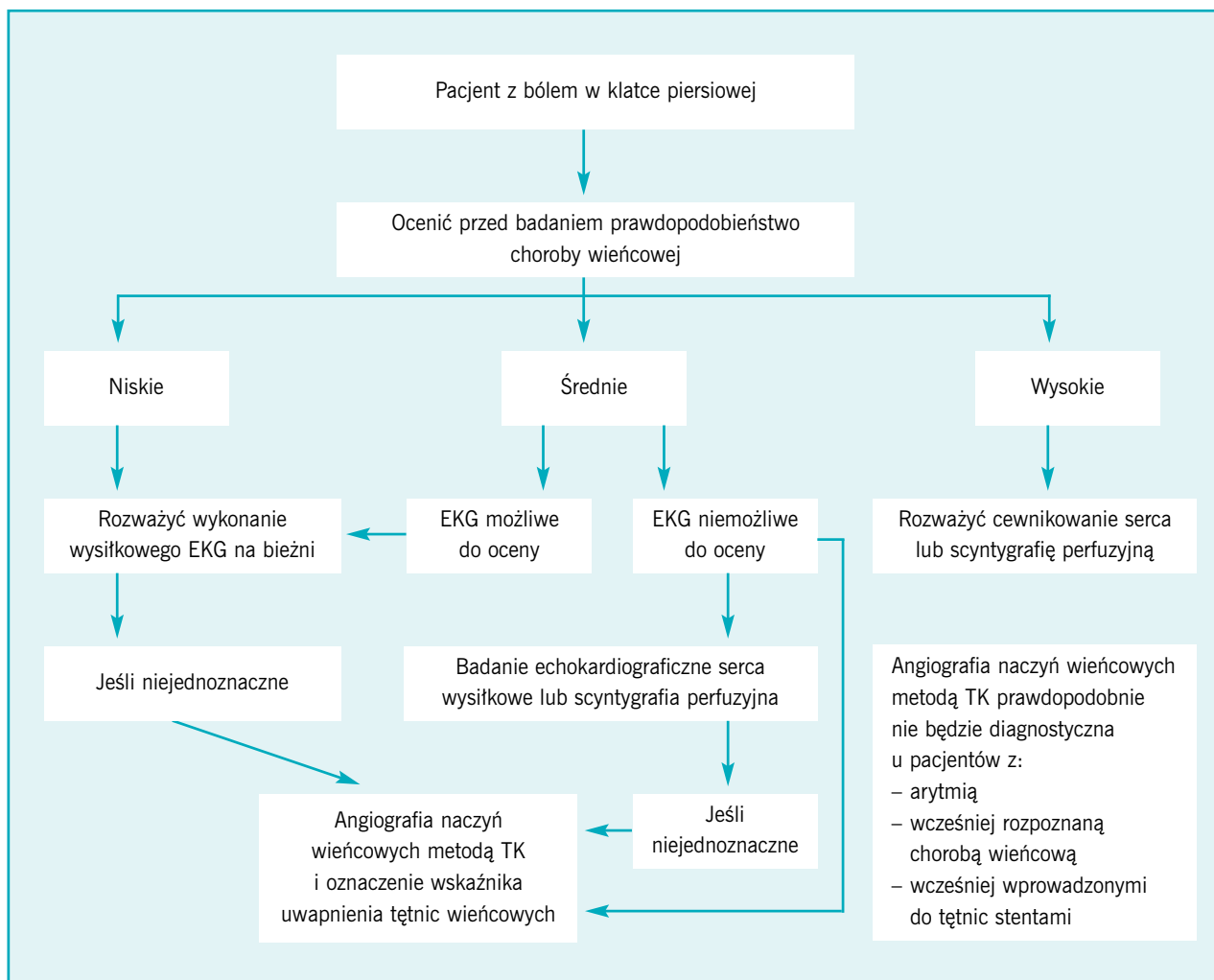
Za pomocą angiografii naczyń wieńcowych metodą TK można ocenić rokowanie pacjenta. Gopal i wsp.³⁷ opisali grupę 493 pacjentów poddanych temu badaniu, których następnie obserwowano średnio przez 40±9 miesięcy. U tych, u których badanie nie wykazało choroby wieńcowej albo przy jej obecności żadna z tętnic wieńcowych nie miała zwężeń >50%, nie zanotowano zawałów mięśnia sercowego, udarów mózgu, hospitalizacji z przyczyn sercowych ani zgonów. U pacjentów z zaawansowanym zwężeniem tętnic wieńcowych odsetek przeżyć wynosił 79%. Hadamitzky i wsp.³⁸ przez 18 miesięcy badali prospektywnie grupę 1256 kolejnych pacjentów. Przy poważnych zwężeniach współczynnik ryzyka ciężkich zdarzeń sercowych (zgon z przyczyn sercowych, zawał mięśnia sercowego lub niestabilna dławica piersiowa) wynosił 17,3. U pacjentów bez choroby wieńcowej ryzyko takich zdarzeń było znacznie mniejsze, niż wynikałoby to ze skali ryzyka Framingham.

Podsumowując, angiografia naczyń wieńcowych metodą TK dostarcza użytecznych informacji diagnostycznych i prognostycznych w różnych populacjach pacjentów. Jej dokładność jest podobna do uzyskiwanej w innych badaniach. Zastosowanie tej metody pozwala uniknąć ryzyka związanego z badaniami inwazyjnymi, takimi jak klasyczna koronarografia.

Ryzyko związane z promieniowaniem jonizującym w tomografii komputerowej serca

W przypadku badań tomograficznych stosowanych w kardiologii największe zastrzeżenia budzi ekspozycja na promieniowanie jonizujące. Dyskusja na ten temat jest trudna z powodu niejednoznacznych określeń, nieprecyzyjnych metod pomiaru pochłoniętej dawki i ograniczonej liczby danych pozwalających dokładnie ocenić ryzyko ekspozycji.

W piśmiennictwie medycznym dotyczącym obrazowania najczęściej stosowanym terminem opisującym biologiczne ryzyko wynikające z ekspozycji na promieniowanie jonizujące jest dawka skuteczna, określana w milisiwertach (mSv; równoważnych milidżulom pochłoniętym na kg tkanki).³⁹ Dawka skuteczna to abstrakt matematyczny używany do określenia, jak energia do-



□ Rycina. Racjonalne stosowanie tomografii komputerowej serca w ocenie bólu w klatce piersiowej. Diagram włącza angiografię naczyń wieńcowych metodą TK do zalecanego schematu oceny pacjenta z ostrym bólem w klatce piersiowej. Szczegóły oceny prawdopodobieństwa choroby wieńcowej przed badaniem: patrz wytyczne American Heart Association.⁵⁸ Dane z J Am Coll Radiol.⁵⁶

starczona do określonego narządu może być ekstrapolowana na szacunkowe szkody dla całego ciała. Pierwotnie miała to być miara służąca do szacowania ryzyka wynikającego z ekspozycji na promieniowanie u osób zawodowo narażonych na kontakt ze źródłami promieniotwórczymi. Badacze przyjęli ją do porównywania dawek promieniowania stosowanych w różnych badaniach obrazowych wykorzystywanych w medycynie. Mimo że pojęcie dawki skutecznej jest powszechne, miara ta jest użyteczna tylko dla porównań zbiorczych, nie należy jej natomiast stosować do oceny ekspozycji pojedynczego pacjenta podczas jednorazowego badania.

Choć dawka skuteczna jest względnie zamienną wartością pomiaru dawki promieniowania, w podobnych tomografach może się ona znacznie różnić. Niedawno przeprowadzono analizę dawek promieniowania pochłoniętych podczas tomografii komputerowej serca u 1965 chorych w 50 ośrodkach medycznych. Mediana dawki między poszczególnymi ośrodkami różniła się

nawet sześciokrotnie. Wyraźna zmienność była widoczna nawet wtedy, gdy badania wykonywano za pomocą tego samego aparatu w jednym ośrodku.⁴⁰ U większości (94%) pacjentów biorących udział w tym badaniu wykonano tomografię metodą retrospektywnego bramkowania EKG. Przy zastosowaniu metody sekwencyjnej, ograniczającej napromienianie, obserwowano zmniejszenie dawki skutecznej o 76%. W połączeniu z innymi, wymienionymi wcześniej metodami zmniejszania dawki promieniowania można ograniczyć do poziomu diagnostycznej klasycznej koronarografii.⁴¹ Innymi przyczynami zmienności dawki może być np. masa ciała pacjenta i częstość akcji serca.

Niemniej nawet przy zmniejszeniu dawek rodzi się pytanie o szacunki ryzyka wynikającego z niewielkich dawek promieniowania. Istnieją dane na temat skutków ekspozycji na pojedyncze duże dawki w czasie eksplozji nuklearnej albo wypadku, trudno je jednak odnieść do małych, powtarzanych dawek stosowanych w medycznych technikach obrazowania. W największ-

szym epidemiologicznym badaniu obejmującym 5 192 710 osobolat obserwacji u ludzi narażonych na promieniowanie w miejscu pracy wykazano zależny od dawki związek między taką ekspozycją a niektórymi nowotworami. Zaznaczono jednak, że badanie nie mogło ocenić wpływu bardzo niskich dawek (<10 mSv).⁴² National Academy of Sciences opublikowała obszerny przegląd piśmiennictwa dotyczącego zagrożenia ekspozycją na niskie dawki promieniowania, łącznie z szacunkiem ryzyka rozwoju różnych typów raka.³⁹ Podobny przegląd, przygotowany dla szerokiego grona odbiorców, można znaleźć na stronie internetowej Food and Drug Administration.⁴³

Wszystkie dane na temat ryzyka stosowania metod obrazowych trzeba rozpatrywać, biorąc pod uwagę inne czynniki narażenia na promieniowanie. Każdy człowiek pochłania w ciągu roku średnio 3 mSv (w zakresie 1-10 mSv) z promieniowania kosmicznego, rozpadu radonu i innych naturalnych źródeł promieniowania.⁴⁴ Promieniowanie tła to jednak tylko jedno z wielu medycznych i niemedycznych źródeł radiacji^{41,45-55} (tab.). Nie zgłasza się zastrzeżeń do scyntygrafii perfuzyjnej z użyciem technetu, choć dawka promieniowania z tego źródła jest podobna do emitowanej w nowszych aparatach podczas tomografii komputerowej serca, a nawet większa. Dzięki odpowiednim metodom kontroli promieniowania w angiografii TK naczyń wieńcowych metodą sekwencyjną pacjent dostaje mniejszą dawkę niż niektórzy w ciągu roku z naturalnych źródeł i zaledwie 1/10 dawki stosowanej w scyntygrafii perfuzyjnej z talem. Choć stosowanie promieniowania w badaniach obrazowych niesie ze sobą pewne ryzyko, nierozpoznanie poważnej choroby jest niebezpieczne dla pacjenta. Wyważenie tych zagrożeń stanowi podstawę odpowiedzialnego wykorzystywania wszystkich metod diagnostycznych, w tym tomografii komputerowej serca.

Kwalifikowanie pacjentów do angiografii naczyń wieńcowych metodą TK

American College of Cardiology, American College of Radiology i kilka innych towarzystw medycznych określiło kryteria odpowiedzialnego stosowania tomografii komputerowej serca.⁵⁶ Lekarze z poszczególnych grup ocenili potencjalne wskazania do tego badania, zachowując równowagę między dowodami naukowymi a doświadczeniem w wykonywaniu takich procedur; zalecenia oparto na metodzie Delphi opracowanej przez korporację RAND.⁵⁷ W wytycznych z 2006 r. dotyczących zasadności stosowania metod obrazowania w kardiologii nie zalecano rutynowego wykorzystywania angiografii naczyń wieńcowych metodą TK w diagnostyce choroby wieńcowej. Od tego czasu częstość stosowania tej metody oraz doświadczenie kliniczne z nią związane znacznie wzrosły, dlatego wytyczne te są aktualizowane.

Przypadki kliniczne

W celu zilustrowania możliwości wykorzystania angiografii naczyń wieńcowych metodą TK przedstawiamy przypadki trojga pacjentów, u których należy przeprowadzić diagnostykę pod

katem chorób sercowo-naczyniowych. By zdecydować o zasadności zastosowania tej metody obrazowania, trzeba wiedzieć, czy u pacjenta rozpoznano wcześniej chorobę wieńcową, i określić prawdopodobieństwo ustalenia rozpoznania tej choroby bez wykonania badania. W tym celu autorzy wytycznych dotyczących zasadności wykonywania angiografii analizowali objawy zgłaszane przez pacjenta, jego wiek i płeć, tak jak to opisano w aktualizacji wytycznych w zakresie prób wysiłkowych American College of Cardiology/American Heart Association⁵⁸ (rycina).

Przypadek 1.

Pacjent to 45-letni mężczyzna, kierownik w agencji reklamowej. Jego ojciec zmarł na zawał mięśnia sercowego w wieku 72 lat. Matka choruje na cukrzycę i jest w trzecim stadium przewlekłej choroby nerek. Z powodu nadciśnienia tętniczego pacjent stosuje hydrochlorotiazyd w dawce 25 mg/24 h. Nie ma bólów w klatce piersiowej, ale chciałby się dowiedzieć, jakie jest u niego ryzyko wystąpienia choroby wieńcowej.

Pacjenci „racjonalnie przeczuleni” dość często czytają o nowych technologiach medycznych lub badaniach laboratoryjnych i są przekonani, że lepiej wykonywać więcej badań niż mniej. Niemniej w grupie pacjentów z bardzo niskim ryzykiem choroby ryzyko fałszywie dodatniego wyniku może się okazać dużym problemem, o ile prowadzi do dalszych, niekiedy inwazyjnych badań, które niepotrzebnie jeszcze bardziej narażają chorego. Ponieważ u pacjenta nie stwierdzono objawów choroby wieńcowej, prawdopodobieństwo jej występowania wynosi 5-10%.⁵⁸ W związku z tym wykonanie angiografii naczyń wieńcowych metodą TK byłoby nieuzasadnione, należałoby jednak określić wskaźnik uwapnienia tętnic wieńcowych. Jeśli wynosi 0, roczne ryzyko zdarzeń wieńcowych równa się 0,1%, zaś ryzyko zgonu w kolejnych 10 latach <0,4%. Pacjenta należy zapewnić, że ryzyko choroby wieńcowej jest u niego bardzo małe. Przy zwiększonym wskaźniku uwapnienia tętnic wieńcowych (jakakolwiek wartość >0) należałoby jednak rozważyć pierwotną prewencję w postaci intensywnego leczenia. Dokładniejsze omówienie takiego postępowania można znaleźć w innej publikacji.⁵⁹

Przypadek 2.

63-letni mężczyzna nadal pali papierosy, mimo że przeżył zawał mięśnia sercowego i 2 lata temu wszczepiono mu stent powlekały. W ostatnich 3 miesiącach pacjent odczuwał narastającą duszność podczas prac w gospodarstwie rolnym.

Wiadomo, że pacjent ma chorobę wieńcową, a zgłaszane przez niego objawy wskazują na postęp dławicy piersiowej i stanowią wskazanie do cewnikowania serca lub nieinwazyjnego badania perfuzji mięśnia sercowego. Jak już wspomniano, angiografia naczyń wieńcowych metodą TK w porównaniu z obrazowaniem perfuzji mięśnia sercowego jest skuteczniejsza, trzeba jednak pamiętać, że badania porównawcze przeprowadzono z udziałem pacjentów bez rozpoznanej choroby wieńcowej. Angiografia na-

czyń wieńcowych metodą TK jest badaniem anatomicznym, a nie czynnościowym, dlatego jej rola u opisywanego pacjenta jest ograniczona. Z badań nad pacjentami, u których wcześniej udrożniono tętnice za pomocą stentu, wiadomo, że te odcinki naczyń trudno dobrze uwidocznić, stosując współczesne techniki tomograficzne. Obecna technologia nie pozwala precyzyjnie ocenić perfuzji mięśnia sercowego ani rezerwy perfuzyjnej, w związku z tym wykonanie angiografii naczyń wieńcowych metodą TK u tego pacjenta byłoby niewłaściwym rozwiązaniem.

Przypadek 3.

52-letnia kobieta choruje na cukrzycę, dlatego stosuje odpowiednią dietę i glibenklamid. Obydwoje rodzice przeszli zawał mięśnia sercowego w nieustalonym wieku. Pacjentka nie podała w wywiadzie choroby wieńcowej, ale jej niepokój wzbudziły bóle ramienia odczuwane od niedawna przy wysiłku, które ustępują po odpoczynku. Choroba zwyrodnieniowa stawów utrudnia jej chodzenie z powodu dolegliwości bólowych.

U pacjentki występują nietypowe objawy dławicy piersiowej (ból ramienia spowodowany wysiłkiem i ustępujący w spoczynku). Zgodnie z wytycznymi American College of Cardiology/American Heart Association jej wiek i płeć wskazują na średnie (10-90% przed badaniem) prawdopodobieństwo występowania choroby wieńcowej.⁵⁸ Choroba zwyrodnieniowa stawów ogranicza możliwości wykonania próby wysiłkowej. W związku z tym angiografia naczyń wieńcowych metodą TK stanowi bardzo dobry sposób oceny układu krążenia.

Podsumowanie

Tomografia komputerowa serca, zwłaszcza angiografia naczyń wieńcowych metodą TK, to szybko rozwijająca się, nieinwazyjna technika obrazowania, pomocna w ocenie wielu chorób serca, głównie choroby wieńcowej. Jej zastosowanie jest jednak ograniczone, przede wszystkim jeśli chodzi o pacjentów z aryt-

mią, wcześniej rozpoznaną chorobą wieńcową lub z wszczepionymi stentami.

Wartość predykcyjna ujemna wskaźnika uwapnienia tętnic wieńcowych jest bardzo dobra, dzięki czemu precyzja rozpoznania jest lepsza niż przy zastosowaniu tradycyjnych czynników ryzyka, takich jak np. w skali ryzyka Framingham. Wartość prognozy wskaźnika potwierdzają liczne dane. Wynika z nich, że u pacjentów z wysokim (>400) wskaźnikiem uwapnienia tętnic wdrożenie intensywnego leczenia jest skuteczne.⁶⁰ Ponieważ jednak dane te nie są jednoznaczne, taka metoda postępowania nie znalazła się w obowiązujących wytycznych. W razie wątpliwości co do występowania choroby wieńcowej należy rozważyć wykonanie innych badań.

Wartość prognozy ujemna angiografii naczyń wieńcowych metodą TK również jest bardzo dobra. Niemniej badanie to nie może zastąpić koronarografii inwazyjnej i nie pozwala niezawodnie przewidywać wystąpienia niedokrwienia. W diagnostyce choroby wieńcowej jego wartość jest jednak podobna, jeśli nie lepsza, jak innych nieinwazyjnych i czynnościowych badań obrazowych. Co więcej, angiografia dostarcza cennych informacji diagnostycznych przy zastosowaniu akceptowalnej dawki promieniowania. Dawka ta różni się jednak znacząco między ośrodkami w zależności od posiadanej aparatury i stosowanych protokołów badania.

Angiografia naczyń wieńcowych metodą TK okazała się pomocna w ocenie wielu pacjentów w różnych sytuacjach klinicznych. Dla lekarza podstawowej opieki medycznej może stanowić wartościowy test pozwalający rozpoznać przyczynę ostrych i przewlekłych bólów w klatce piersiowej u pacjentów ze średnim ryzykiem choroby wieńcowej.

Adres do korespondencji: David E. Winchester, MD, University of Florida College of Medicine, 1600 SW Archer Rd, PO Box 100277, Gainesville, FL 32610-0277, USA. E-mail: dwinches@ufl.edu

© Translated and reproduced with permission from Mayo Clinic Proceedings.

Piśmiennictwo:

- Gerber TC, Kuzo RS, Karstaedt N, et al. Current results and new developments of coronary angiography with use of contrast-enhanced computed tomography of the heart. *Mayo Clin Proc* 2002;77(1):55-71.
- Lanzer P, Garrett J, Lipton MJ, et al. Quantitation of regional myocardial function by cine computed tomography: pharmacologic changes in wall thickness. *J Am Coll Cardiol* 1986;8(3):682-692.
- Miller JC, Abbara S, Mamuya WS, et al. Dual-source CT for cardiac imaging. *J Am Coll Radiol* 2009;6(1):65-68.
- Oncel D, Oncel G, Tastan A. Effectiveness of dual-source CT coronary angiography for the evaluation of coronary artery disease in patients with atrial fibrillation: initial experience. *Radiology* 2007;245(3):703-711.
- Agatston AS, Janowitz WR, Hildner FJ, et al. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 1990;15(4):827-832.
- Callister TQ, Cooil B, Raya SP, et al. Coronary artery disease: improved reproducibility of calcium scoring with an electron-beam CT volumetric method. *Radiology* 1998;208(3):807-814.
- Horiguchi J, Yamamoto H, Akiyama Y, et al. Coronary artery calcium scoring using 16-MDCT and a retrospective ECG-gating reconstruction algorithm. *AJR Am J Roentgenol* 2004;183(1):103-108.
- Goldin JG, Yoon HC, Greaser LE III, et al. Spiral versus electron-beam CT for coronary artery calcium scoring. *Radiology* 2001;221(1):213-221.
- Haberl R, Becker A, Leber A, et al. Correlation of coronary calcification and angiographically documented stenoses in patients with suspected coronary artery disease: results of 1,764 patients. *J Am Coll Cardiol* 2001;37(2):451-457.
- Sarwar A, Shaw LJ, Shapiro MD, et al. Diagnostic and prognostic value of absence of coronary artery calcification. *JACC Cardiovasc Imaging* 2009;2(6):675-688.
- Budoff MJ, Shaw LJ, Liu ST, et al. Long-term prognosis associated with coronary calcification: observations from a registry of 25,253 patients. *J Am Coll Cardiol* 2007;49(18):1860-1870.
- O'Rourke RA, Brundage BH, Froelicher VF, et al. American College of Cardiology/American Heart Association expert consensus document on electron-beam computed tomography for the diagnosis and prognosis of coronary artery disease. *Circulation* 2000;102(1):126-140.
- Greenland P, Bonow RO, Brundage BH, et al. ACCF/AHA 2007 clinical expert consensus document on coronary artery calcium scoring by computed tomography in global cardiovascular risk assessment and in evaluation of patients with chest pain: a report of the American College of Cardiology Foundation Clinical Expert Consensus Task Force (ACCF/AHA writing committee to update the 2000 expert consensus document on electron beam computed tomography). *Circulation* 2007;115(3):402-426.
- Greenland P, LaBree L, Azen SP, et al. Coronary artery calcium score combined with Framingham score for risk prediction in asymptomatic individuals. *JAMA* 2004;291(2):210-215.
- Taylor AJ, Bindeman J, Feuerstein I, et al. Coronary calcium independently predicts incident premature coronary heart disease over measured cardiovascular risk factors: mean three-year outcomes in the Prospective Army Coronary Calcium (PACC) project. *J Am Coll Cardiol* 2005;46(5):807-814.
- Kondos GT, Hoff JA, Sevrakov A, et al. Electron-beam tomography coronary artery calcium and cardiac events: a 37-month follow-up of 5635 initially asymptomatic low- to inter-mediate-risk adults. *Circulation* 2003;107(20):2571-2576.

17. Arad Y, Goodman KJ, Roth M, et al. Coronary calcification, coronary disease risk factors, C-reactive protein, and atherosclerotic cardiovascular disease events: the St. Francis heart study. *J Am Coll Cardiol* 2005;46(1):158-165.
18. Budoff MJ, Nasir K, McClelland RL, et al. Coronary calcium predicts events better with absolute calcium scores than age-sex-race/ethnicity percentiles: MESA (multi-ethnic study of atherosclerosis). *J Am Coll Cardiol* 2009;53(4):345-352.
19. Detrano R, Guerci AD, Carr JJ, et al. Coronary calcium as a predictor of coronary events in four racial or ethnic groups. *N Engl J Med* 2008;358(13):1336-1345.
20. McClelland RL, Chung H, Detrano R, et al. Distribution of coronary artery calcium by race, gender, and age: results from the multiethnic study of atherosclerosis (MESA). *Circulation* 2006;113(1):30-37.
21. Nixdorff U, Kufner C, Achenbach S, et al. Head-to-head comparison of dobutamine stress echocardiography and cardiac computed tomography for the detection of significant coronary artery disease. *Cardiology* 2008;110(2):81-86.
22. Budoff MJ, Rasouli ML, Shavelle DM, et al. Cardiac CT angiography (CTA) and nuclear myocardial perfusion imaging (MPI): a comparison in detecting significant coronary artery disease. *Acad Radiol* 2007;14(3):252-257.
23. Gaemperli O, Schepis T, Valenta I, et al. Functionally relevant coronary artery disease: comparison of 64-section CT angiography with myocardial perfusion SPECT. *Radiology* 2008;248(2):414-423.
24. Chow BJ, Dennie C, Hoffmann U, et al. Comparison of computed tomographic angiography versus rubidium-82 positron emission tomography for the detection of patients with anatomical coronary artery disease. *Can J Cardiol* 2007;23(10):801-807.
25. Sato A, Hiroe M, Tamura M, et al. Quantitative measures of coronary stenosis severity by 64-slice CT angiography and relation to physiologic significance of perfusion in non-obese patients: comparison with stress myocardial perfusion imaging. *J Nucl Med* 2008;49(4):564-572.
26. Ravipati G, Aronow WS, Lai H, et al. Comparison of sensitivity, specificity, positive predictive value, and negative predictive value of stress testing versus 64-multislice coronary computed tomography angiography in predicting obstructive coronary artery disease diagnosed by coronary angiography. *Am J Cardiol* 2008;101(6):774-775.
27. Mollet NR, Cademartiri F, van Mieghem CA, et al. High-resolution spiral computed tomography coronary angiography in patients referred for diagnostic conventional coronary angiography. *Circulation* 2005;112(15):2318-2323.
28. Pugliese F, Mollet NR, Runza G, et al. Diagnostic accuracy of non-invasive 64-slice coronary angiography in patients with stable angina pectoris. *Eur Radiol* 2006;16(3):575-582.
29. Ehara M, Surmely JF, Kawai M, et al. Diagnostic accuracy of 64-slice computed tomography for detecting angiographically significant coronary artery stenosis in an unselected consecutive patient population: comparison with conventional invasive angiography. *Circ J* 2006;70(5):564-571.
30. Ropers D, Rixe J, Anders K, et al. Usefulness of multidetector row spiral computed tomography with 64- x 0.6-mm collimation and 330-ms rotation for the noninvasive detection of significant coronary artery stenoses. *Am J Cardiol* 2006;97(3):343-348.
31. Miller JM, Rochitte CE, Dewey M, et al. Diagnostic performance of coronary angiography by 64-row CT. *N Engl J Med* 2008;359(22):2324-2336.
32. Bluemke DA, Achenbach S, Budoff M, et al. Noninvasive coronary artery imaging: magnetic resonance angiography and multidetector computed tomography angiography: a scientific statement from the American Heart Association committee on Cardiovascular Imaging and Intervention of the Council on Cardiovascular Radiology and Intervention, and the Councils on Clinical Cardiology and Cardiovascular Disease in the young. *Circulation* 2008;118(5):586-606.
33. Kitagawa T, Yamamoto H, Horiguchi J, et al. Characterization of noncalcified coronary plaques and identification of culprit lesions in patients with acute coronary syndrome by 64-slice computed tomography. *JACC Cardiovasc Imaging* 2009;2(2):153-160.
34. Motoyama S, Sarai M, Harigaya H, et al. Computed tomographic angiography characteristics of atherosclerotic plaques subsequently resulting in acute coronary syndrome. *J Am Coll Cardiol* 2009;54(1):49-57.
35. Gallagher MJ, Ross MA, Raff GL, et al. The diagnostic accuracy of 64-slice computed tomography coronary angiography compared with stress nuclear imaging in emergency department low-risk chest pain patients. *Ann Emerg Med* 2007;49(2):125-136.
36. Goldstein JA, Gallagher MJ, O'Neill WW, et al. A randomized controlled trial of multi-slice coronary computed tomography for evaluation of acute chest pain. *J Am Coll Cardiol* 2007;49(8):863-871.
37. Gopal A, Nasir K, Ahmadi N, et al. Cardiac computed tomographic angiography in an outpatient setting: an analysis of clinical outcomes over a 40-month period. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2009;3(2):90-95.
38. Hadamitzky M, Freissmuth B, Meyer T, et al. Prognostic value of coronary computed tomographic angiography for prediction of cardiac events in patients with suspected coronary artery disease. *JACC Cardiovasc Imaging* 2009;2(4):404-411.
39. Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation; Board on Radiation Effects Research, Division on Earth and Life Studies, National Research Council of the National Academies. *Health Risks From Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII-Phase 2*. Washington, DC: National Academies Press; 2006.
40. Hausleiter J, Meyer T, Hermann F, et al. Estimated radiation dose associated with cardiac CT angiography. *JAMA* 2009;301(5):500-507.
41. McCollough C, Cody D, Edyvean S, et al; American Association of Physicists in Medicine (AAPM). The measurement, reporting, and management of radiation dose in CT: report of AAPM task group 23 of the Diagnostic Imaging Council CT Committee. 2008. No. 96. http://www.aapm.org/pubs/reports/rpt_96.pdf. Accessed January 29, 2010.
42. Cardis E, Vrijheid M, Blettner M, et al. The 15-country collaborative study of cancer risk among radiation workers in the nuclear industry: estimates of radiation-related cancer risks. *Radiat Res* 2007;167(4):396-416.
43. US Food and Drug Administration. Radiation-emitting products: computed tomography (CT). <http://www.fda.gov/cdrh/ct/risks.html>. Accessed January 29, 2010.
44. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and effects of ionizing radiation, volume 1: sources. New York, NY: United Nations; 2000. http://www.unscear.org/unscear/en/publications/2000_1.html. Accessed January 29, 2010.
45. Earls JP, Schrack EC. Prospectively gated low-dose CCTA: 24 months experience in more than 2,000 clinical cases. *Int J Cardiovasc Imaging* 2008;25(suppl 2):177-187.
46. Ware DE, Huda W, Mergo PJ, et al. Radiation effective doses to patients undergoing abdominal CT examinations. *Radiology* 1999;210(3):645-650.
47. Shrimpton PC, Hillier MC, Lewis MA, et al. National survey of doses from CT in the UK: 2003. *Br J Radiol* 2006;79(948):968-980.
48. Liu H, Zhuo W, Chen B, et al. Patient doses in different projections of conventional diagnostic X-ray examinations. *Radiat Prot Dosimetry* 2008;132(3):334-338.
49. Thompson RC, Cullom SJ. Issues regarding radiation dosage of cardiac nuclear and radiography procedures. *J Nucl Cardiol* 2006;13(1):19-23.
50. Radiological Society of North America (RSNA). Safety: radiation exposure in X-ray examinations. *RadiologyInfo* Web site. <http://www.radiologyinfo.org/en/safety/>. Accessed February 2, 2010.
51. Betsou S, Efstathopoulos E, Katritsis D, et al. Patient radiation doses during cardiac catheterization procedures. *Br J Radiol* 1998;71(846):634-639.
52. Mettler FA Jr, Huda W, Yoshizumi TT, et al. Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: a catalog. *Radiology* 2008;248(1):254-263.
53. Morin RL, Gerber TC, McCollough CH. Radiation dose in computed tomography of the heart. *Circulation* 2003;107(6):917-922.
54. 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(7):1056-1065.
55. Budoff MJ, Achenbach S, Blumenthal RS, et al. Assessment of coronary artery disease by cardiac computed tomography: a scientific statement from the American Heart Association Committee on Cardiovascular Imaging and Intervention, Council on Cardiovascular Radiology and Intervention, and Committee on Cardiac Imaging, Council on Clinical Cardiology. *Circulation* 2006;114(16):1761-1791.
56. 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 Quality Strategic Directions Committee Appropriateness Criteria Working Group. *J Am Coll Radiol* 2006;3(10):751-771.
57. Patel MR, Spertus JA, Brindis RG, et al. ACCF proposed method for evaluating the appropriateness of cardiovascular imaging. *J Am Coll Cardiol* 2005;46(8):1606-1613.
58. Gibbons RJ, Balady GJ, Bricker JT, et al. ACC/AHA 2002 guideline update for exercise testing: summary article: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to update the 1997 exercise testing guidelines). *J Am Coll Cardiol* 2002;40(8):1531-1540.
59. Bonow RO. Clinical practice: should coronary calcium screening be used in cardiovascular prevention strategies? *N Engl J Med* 2009;361(10):990-997.
60. Arad Y, Spadaro LA, Roth M, et al. Treatment of asymptomatic adults with elevated coronary calcium scores with atorvastatin, vitamin C, and vitamin E: the St. Francis heart study randomized clinical trial. *J Am Coll Cardiol* 2005;46(1):166-172.



Komentarz:

dr hab. med.
Mieczysław Pasowicz
 Kierownik Ośrodka
 Diagnostyki, Prewencji
 i Telemedycyny
 z Pododdziałem Szybkiej
 Diagnostyki, Szpital
 im. Jana Pawła II, Kraków

Wwielorządowej tomografii komputerowej jako metodzie nieinwazyjnej diagnostyki układu krążenia w ciągu ostatnich kilku lat kilkakrotnie dokonywał się skok technologiczny i dlatego zainteresowanie kardiologów i radiologów tą techniką nie słabnie w myśl zasady „nigdy nie jest tak dobrze, żeby nie mogło być lepiej”. Istotnie, gdy porówna się skany wykonane dzisiaj z tymi sprzed kilku lat, wyraźnie widać, że poprawa rozdzielczości czasowej i przestrzennej wpłynęła na jakość uzyskiwanych obrazów, co wraz ze zmniejszeniem dawki promieniowania zwiększyło bezpieczeństwo oraz komfort pacjenta podczas badania.

Tomografia komputerowa jako technika komplementarna w stosunku do innych metod obrazowania na stałe zadomowiła się w praktyce klinicznej, w niektórych przypadkach nawet je przewyższa. Niekwestionowaną zaletą badania metodą wielorządowej tomografii komputerowej jest bardzo wysoka ujemna wartość predykcyjna, pozwalająca z niemal 100% pewnością wykluczyć istotne zmiany miażdżycowe w naczyniach wieńcowych. Z początku entuzjazm i oczekiwania klinicystów wobec obrazowania serca za pomocą TK były tak olbrzymie, że prorokowano wręcz schyłek koronarografii inwazyjnej. Tak się nie stało, lecz nadal nie wyczerpano wszystkich możliwości rozwoju w tej dziedzinie, biorąc pod uwagę to, że nadal ok. 1/3 koronarografii inwazyjnych wykonuje się niepotrzebnie,¹ co potwierdzają również dane National Cardiovascular Data Registry CATH-PCI.²

Wiele ośrodków na świecie dąży do opracowania szczegółowych wskazań i precyzyjnych algorytmów diagnostycznych. W tym celu konieczne jest przeprowadzenie badań wieloośrodkowych i wieloletnich. Przykładem jednego z nich jest badanie CARDIA (Coronary Artery Risk Development in Young Adults), w którym na podstawie m.in. wskaźnika uwapnienia tętnic wieńcowych wykazano, że subkliniczna postać miażdżycy wy-

stępuje już u osób w młodym wieku.³ W badaniu MESA (Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis) stwierdzono natomiast, że uwzględnienie wskaźnika uwapnienia tętnic wieńcowych w tradycyjnym modelu oceny ryzyka sercowo-naczyniowego pozwala lepiej zakwalifikować pacjentów do określonej grupy ryzyka.⁴ I tak, dodatkowo 23% osób, u których wystąpiły zdarzenia sercowo-naczyniowe, przekwalifikowano do grupy najwyższego ryzyka, natomiast dodatkowych 13% osób bez incydentów ze strony układu krążenia przeniesiono do grupy najniższego ryzyka. W grupie pośredniego ryzyka aż 39% osób sklasyfikowano jako osoby z niskim, natomiast 16% z wysokim ryzykiem. Wyniki obu dużych badań świadczą o olbrzymim potencjale badania metodą tomografii komputerowej oraz oznaczania wskaźnika uwapnienia tętnic wieńcowych w medycynie prewencyjnej i zindywidualizowanej.

W związku z coraz większą dostępnością aparatów TK możliwe jest szersze wykorzystanie tej techniki w różnych sytuacjach klinicznych, np. w ocenie ostrego bólu w klatce piersiowej u pacjentów zgłaszających się na izbę przyjęć, by wykluczyć istotne zwężenia w tętnicach wieńcowych, w ocenie zatorowości płucnej i tętniaka rozwarstwiającego aorty. Mimo potencjalnych korzyści tej metody konieczność zwiększenia efektywnej dawki promieniowania i rzadkie występowanie zatorowości płucnej oraz rozwarstwienia aorty bez charakterystycznych objawów ograniczają jednak zastosowanie TK na izbach przyjęć.

TK może znaleźć nowe zastosowanie w ocenie pacjentów zgłaszających się z ostrym udarem niedokrwiennym. Podczas jednego badania można ocenić u nich tętnice śródczaszkowe i mózgowe, łuk aorty, jamy i ściany serca oraz tętnice wieńcowe, przy czym odpowiedniej jakości obrazy uzyskuje się szybko i bez konieczności podawania β -adrenolityków.⁵ Celem takiego badania jest określenie źródła zatorów (tętnice szyjne lub serce) oraz ustalenie postępowania w ramach wtórnej prewencji udaru.

Piśmiennictwo:

1. Patel MR, Peterson ED, Dai D, et al. Low diagnostic yield of elective coronary angiography. *N Engl J Med* 2010;362:886-895.
2. www.ncdr.com
3. Berry JD, Liu K, Folsom AR, et al. Prevalence and progression of subclinical atherosclerosis in younger adults with low short-term but high lifetime estimated risk for cardiovascular disease: the coronary artery risk development in young adults study and multi-ethnic study of atherosclerosis. *Circulation* 2009;119:382-389.
4. Polonsky TS, McClelland RL, Jorgensen NW, et al. Coronary artery calcium score and risk classification for coronary heart disease prediction. *JAMA* 2010;303:1610-1616.
5. Furtado AD, Adraktas DD, Brasic N, et al. The Triple Rule-Out for Acute Ischemic Stroke: Imaging the Brain, Carotid Arteries, Aorta, and Heart. *AJNR Am J Neuroradiol*, published June 10, 2010.