

Nowoczesne technologie w diagnostyce obrazowej

– KRYTERIA WYBORU APARATURY

Diagnostyka obrazowa jest jedną z najbardziej dynamicznie rozwijających się gałęzi medycyny. Zapotrzebowanie na badania obrazowe znacząco wzrosło i nadal ma tendencję wzrostową.

LEK. MED.
JACEK FILARSKI
konsultant medyczny
ds. diagnostyki Affidea

O tym, jak bardzo przełomowe były odkrycia w dziedzinie obrazowania ludzkiego ciała, świadczy fakt, że wszyscy odkrywcy i twórcy kamieni milowych z zakresu diagnostyki zostali uhonorowani Nagrodami Nobla. Za narodziny radiologii przyjmuje się dzień odkrycia przez Wilhelma Conrada Röntgena. Następnym wielkim krokiem w radiologii było wynalezienie metody tomografii komputerowej. Początkowo wykonywano wyłącznie badania TK głowy, a metoda obarczona była dużymi ograniczeniami – uzyskiwany obraz miał rozdzielczość 80 x 80 px, głowa pacjenta w czasie badania musiała być zanurzona w wodzie, akwizycja danych trwała około 25 minut, natomiast ze względu na niewielką moc obliczeniową komputera obróbka badania owocująca wyświetleniem obrazu trwała aż 2,5 godziny.

Od tego czasu rozwój technologii obrazowania znacząco przyspieszył i polegał początkowo na udoskonalaniu metody tomografii komputerowej. Metoda rezonansu magnetycznego powstała dzięki pracom Petera Mansfielda i Paula Lauterbura.

Prócz tych wielkich skoków jakościowych wszystkie te metody są nieustannie rozwijane. Wytworzone są też poboczne gałęzie rozwoju, wprowadzające dodatkową jakość – np. badanie PET-CT integrujące gamma-kamerę i aparat tomografii komputerowej. W poniższym artykule zaprezentuję przegląd stosowanych obecnie metod diagnostycznych, wybrane kryteria wyboru sprzętu i możliwe kierunki rozwoju technik.

■ Optymalne obrazowanie RTG

Choć metoda ustępuje coraz częściej innym rodzajom badań, nadal jednak jest niezastąpiona w przypadku konieczności wykonania pilnego badania kości długich w warunkach centrum ratunkowego oraz w niektórych zastosowaniach ortopedycznych.

Sprawdza się także w mniejszych ośrodkach, gdzie zakup tomografu komputerowego przekracza możliwości finansowania placówki.

Podstawowy aparat RTG składa się z lampy rentgenowskiej, zespołu filtrów, kolimatora (ogranicznika promieniowania), kratki przeciwrozproszeniowej, stołu do umieszczenia pacjenta oraz detektora promieniowania. W klasycznej radiografii detektorem był zazwyczaj film – wówczas metodę określamy jako analogową – jednak współcześnie najczęściej jest to detektor cyfrowy, zdecydowanie bardziej użyteczny z punktu widzenia radiologa. Umożliwia częściowe skorygowanie nieprawidłowej ekspozycji, manipulowanie parametrami wyświetlania przez lekarza oraz dowolne powielanie i przekazywanie obrazu, niezbędne w przypadku telemedycyny. Istnieją też metody pośrednie, w których można stosować zarówno filmy analogowe, jak i fosforowe płyty cyfrowe, odczytywane następnie w zewnętrznym czytniku. Taki system może sprawdzić się w przypadkach niskokosztowego unowocześnienia istniejącego sprzętu analogowego, jednak w przypadku zakupu nowych aparatów zdecydowanie rekomendowany jest aparat cyfrowy. Dodatkowe wyposażenie aparatów obejmuje ściankę – pionowy uchwyt na kasety, używany szczególnie do wykonywania zdjęć P-A klatki piersiowej, telekomando – system zdalnego sterowania do precyzyjnego pozycjonowania i wyzwiania ekspozycji bez narażania personelu na promieniowanie X, zdjęcia warstwowe – tomosynteza, przybliżająca nieznacznie zdjęcie RTG do tomografii komputerowej przez uwidacznianie określonej warstwy tkanek, a także stołu z dużym zakresem ruchomości i pochyleń, ułatwiającym układanie pacjentów do badania. Przy wyborze cyfrowego aparatu RTG warto też zwrócić uwagę na pojemność cieplną lampy (im większa, tym częstsze ekspozycje można wykonać danym aparatem,

preferowana co najmniej 100 kHU), oferowaną matrycę obrazowania – im większa, tym lepiej, jednak za rozsądne minimum należy przyjąć 1500 x 1500), integrację z systemem PACS, RIS i HIS oraz obsługę formatu DICOM.

Szczególnym zastosowaniem aparatu RTG jest mammografia. Musimy tu zwrócić szczególną uwagę na spełnienie kryteriów ustawodawcy, obejmujących m. in. detektor o minimalnej matrycy 4600 x 5800 oraz matrycę monitora na stanowisku opisanym min. 5 MP przy przekątnej ekranu nie mniej niż 21" z minimalną luminacją 500 cd/m². Elementem różniącym mammografię od zdjęć RTG, prócz znacznie wyższej wymaganej rozdzielczości, jest też obecność płyty uciskającej, która służy do równomiernego rozmieszczenia tkanki piersi w polu obrazowania oraz opcjonalne przystawki do biopsji.

Ultrasonograf

USG jest metodą rozpowszechnioną i znaną, opiera się na emisji fal ultradźwiękowych w kierunku ciała pacjenta, a następnie na odczycie powracającej, odbitej fali. Ze względu na różnice prędkości rozchodzenia się fal w różnych ośrodkach uzyskujemy obrazy o zadowalającej rozdzielczości kontrastowej. Przy wyborze aparatu najlepiej oprzeć się na testach i opinii lekarza radiologa, który ten aparat będzie użytkował.

Najpowszechniejszym typem głowicy w aparatach USG jest konweks, zakrzywiona głowica stosowana w badaniach jamy brzusznej i miednicy. Głowica sektorowa ma znaczenie wspomagające, do badań celowanych oraz w kardiologii. Do struktur powierzchniowych dedykowana jest głowica liniowa. Przy wyborze aparatu warto zwrócić uwagę na możliwości archiwizacji obrazów, włączenia aparatu w sieć, transferu obrazów do sieci w formacie DICOM, opcjonalnie do integracji z systemem RIS/HIS.

Wybór tomografu komputerowego

Początkowo rozwój tomografii komputerowej dotyczył głównie zmiany sposobu akwizycji obrazów, z sekwencyjnej, polegającej na przesuwie stołu pomiędzy poszczególnymi skanami o grubości jednej warstwy detektorów (ryc. 2A) do spiralnej (helikalnej), w której przesuw stołu i skanowanie pacjenta są ciągłe (ryc. 2B).

Następnie firmy produkujące aparaturę TK rozpoczęły wyścig w konkurencji „liczba detektorów”. Początkowo jeden rząd detektorów zastąpiono dwoma, czterema czy szesnastoma, powstały hybrydy z zablokowaną częścią detektorów w celu zaoferowania niższej ceny zakupu, np. aparaty 12-rzędowe. Pojawiły się aparaty 64- i 128-rzędowe. Do większości zastosowań wystarczy bowiem aparat 64-rzędowy, a w małych ośrodkach wykonujących niewielką liczbę badań doskonale sprawdzi się nawet aparat 16-rzędowy. Jest to sytuacja analogiczna do rynku cyfrowych aparatów fotograficznych, gdzie większość konsumentów zrozumiała już, że kluczem

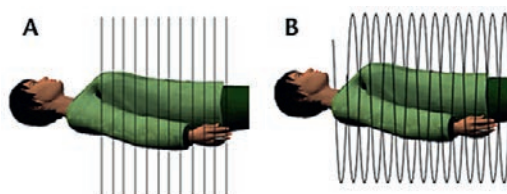


Ryc. 1. Jedno z pierwszych zdjęć RTG

do uzyskania dobrych wyników nie jest liczba megapikseli aparatu, a ich jakość. W systemach tomografii komputerowej nową jakość tworzą systemy towarzyszące – oprogramowanie eliminujące artefakty, krótszy czas akwizycji uzyskiwany przez większą wydajność sprzętu i szybszy przesuw stołu, lub też systemy ograniczające dawkę promieniowania przy zachowaniu tego samego efektu diagnostycznego.

Kolejnym kierunkiem rozwoju są systemy dwulampowe (DSCT), zawierające dwa układy lampy – detektory, pozwalające na uzyskanie lepszej jakości obrazów w krótszym czasie, dodatkowo z eliminacją większości artefaktów metalicznych. Są to jednak systemy drogie, dlatego dobrą alternatywą wobec zastosowań ortopedycznych przy obrazowaniu implantów z elementami metalicznymi są obecnie aparaty dwuenergetyczne (DECT), zmieniające w zależności od pozycji obrotowej napięcie lampy, co pozwala na eliminację artefaktów metalicznych protez i dzięki temu dokładniejszą ocenę ich osadzenia. Rzadziej spotykane są aparaty dwuwarstwowe – z jednym źródłem, ale emitującym promieniowanie na dwie warstwy detektorów – położoną głębiej i płytszą.

Prócz powyższych parametrów przy wyborze aparatu TK należy zwrócić uwagę na pojemność cieplną



Ryc. 2. Sekwencyjna i spiralna metoda akwizycja obrazu TK. Źródło: clinicalgate.com

lampy. Pracownie z dużym obciążeniem badaniami z zakresu jamy brzusznej i miednicy (przede wszystkim ośrodki wykonujące dużą liczbę badań onkologicznych) w celu uniknięcia przerw na chłodzenie powinny być wyposażone w lampy o jak największej pojemności cieplnej, min. 5 MHU przy chłodzeniu powietrzem, jednak znacznie lepsze są systemy z chłodzeniem wodnym lub olejowym, osiągające sprawność porównywalną z pojemnością nawet 30 MHU przy chłodzeniu powietrzem. W oznaczeniach układów zanurzonych w cieczy stosuje się też często współczynnik chłodzenia lampy, który powinien przekraczać 1 MHU/min. Standardem macierzy rekonstrukcji jest obecnie 512 x 512 pikseli. Istotna jest moc generatora, która powinna wynosić co najmniej 50 kW, a najlepiej, aby osiągała 80 kW lub więcej. Ze względu na coraz wyższy przeciętny wskaźnik BMI w populacji istotny staje się problem nośności stołu oraz średnica otworu gantry. Zaleca się, aby te parametry nie były mniejsze niż – odpowiednio – 160 kg oraz 75 cm. W badaniach kardiologicznych rolę odgrywa też jak najkrótszy czas obrotu lampy, osiągający obecnie nawet 0,3 s.

Obniżenie dawki pochłanianej przez pacjenta jest ważnym punktem na liście parametrów konstrukcyjnych aparatów. Wynika to z coraz bardziej restrykcyjnych norm oraz dążenia do jak najpełniejszego wdrożenia zasady ALARA – *As Low As Reasonably Achievable*, czyli zastosowania najmniejszej możliwej dawki do uzyskania efektu diagnostycznego. Współczesne tomografy mają wbudowane systemy modulacji dawki (AEC – *Automatic Exposure Control*) dla każdej warstwy na podstawie skanów pilotowych. Rejestrują one dane dla każdej akwizycji i mają możliwość uruchomienia alarmu w przypadku przekroczenia dawki, zarówno pojedynczej, jak i skumulowa-

nej, pomagają w ustaleniu protokołów badań celem maksymalnego obniżenia dawki promieniowania otrzymanej przez pacjenta. Zestawienie niektórych parametrów aparatów w zależności od zastosowań przedstawia tab. 1.

■ Oprogramowanie i obróbka danych

Z punktu widzenia radiologa, poza uzyskaniem obrazów jak najwyższej jakości, bardzo istotne jest też oprogramowanie dołączane do stacji roboczych. Minimalny zestaw do wygodnej obróbki badań TK obejmuje wielopłaszczyznowe rekonstrukcje MPR (umożliwiające prezentację badania w dowolnej płaszczyźnie), rekonstrukcje VR (objętościowe) oraz MIP (stosowane głównie w badaniach naczyniowych). Bardzo przydatna w badaniach naczyniowych jest opcja DSA, czyli cyfrowa angiografia subtrakcyjna, wykonywana automatycznie lub ręcznie, polegająca na ekstrakcji tkanek zbędnych w badaniu naczyniowym i pozostawieniu jedynie obrazu naczyń. Pracę znacząco ułatwiają też specjalne programy – porównywania badań (szczególnie w zastosowaniach onkologicznych), rekonstrukcje VR dedykowane dla implantów (w ortopedii i neurochirurgii) lub programy do oceny kości skroniowych. Ze względu na popularyzację badań MR rzadziej wykonuje się obecnie badania perfuzji TK, dawniej wykorzystywane w neurologii do oceny obszaru dokonanego udaru i oddzielenia go od obszaru *penumbry*. Perfuzja TK naraża pacjenta na przyjęcie stosunkowo dużej dawki promieniowania.

■ Tomografia PET/PET-CT i SPECT

Metody pokrewne badaniu TK, jednak korzystające dodatkowo z metod medycyny nuklearnej,

Zastosowanie/parametr	Onkologia	Neurologia, neurochirurgia	Kardiologia	SOR	Ortopedia	Profil ogólny
Liczba rzędów	64 i więcej	64 i więcej	64 i więcej	Co najmniej 16, przy dużym obciążeniu badaniami – 64	64 i więcej	Co najmniej 16, przy dużym obciążeniu badaniami – 64
Lampa	Do rozważenia dwuenergetyczna/dwuźródłowa	Dwuenergetyczna przy ukierunkowaniu na badania naczyniowe	Dwuenergetyczna	Standardowa	Do rozważenia dwuenergetyczna/dwuźródłowa	Standardowa
Pojemność cieplna lampy	Co najmniej 8 MHU, współczynnik chłodzenia co najmniej 2 MHU/min	6 MHU i więcej	6 MHU i więcej	Min. 4 MHU, rekomendowane 6 MHU i więcej	6 MHU i więcej	Min. 4 MHU, rekomendowane 6 MHU i więcej
Czas obrotu lampy	0,4 s lub krótszy	0,5 s lub krótszy	Jak najkrótszy, maks. 0,4 s	0,5 s lub krótszy	0,5 s lub krótszy	0,5 s lub krótszy
Macierz rekonstrukcji	512 x 512	512 x 512	512 x 512	512 x 512	512 x 512	512 x 512
system AEC i Dose Watch	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak

Tab. 1. Niektóre parametry aparatów TK w zależności od ich zastosowania

Zastosowanie/cewka	Onkologia	Neurologia, neurochirurgia	Mammo-MR	Reumatologia	Ortopedia	Profil ogólny
Tułowiowa (body), szyjna	+	+	-	+	+	+
Główna	Wskazana co najmniej 16-kanalowa	Wskazana co najmniej 16-kanalowa	-	±	+	+
Stawowa (duże stawy – kolano, bark, stopa)	+	±	-	+	+	+
Stawowa (drobne stawy)	-	-	-	+	+	-
Piersi	+	-	+	-	-	-
Endorektalna	Niekonieczna w aparatach 3T	-	-	-	-	+/-

Tab. 2. Zestawienie cewek do badań MR

to PET/PET-CT oraz SPECT. Pierwsza z tych metod, pozytonowa tomografia emisyjna, stosowana jest najczęściej w połączeniu z badaniem TK, polega na wprowadzeniu do krwiobiegu radiofarmaceutyku (najczęściej jest to FDG, fludeoksyglukoza zawierająca izotop fluoru ^{18}F) i następnie po upływie ok. godziny skanowania wirującą gamma-kamerą, podobnie jak w przypadku TK. W PET-CT wykonywane jest dodatkowo badanie TK całego ciała z następczą fuzją obrazów z gamma-kamery i z tomografu komputerowego, dzięki czemu otrzymuje się mapę funkcjonalną metabolizmu znacznika nałożoną na dokładne obrazy anatomiczne, co ułatwia lokalizację zmian. Główną domeną tych badań jest wykrywanie rozsiewu lub ogniska pierwotnego choroby nowotworowej, stosuje się ją jednak także w badaniach mózgu i serca. Obecnie wysycenie rynku aparatami PET-CT jest dość duże, a dostęp do tych badań – bardzo dobry. Podstawowym problemem jest jednak cena badania, która wprawdzie w ostatnich latach znacząco spadła, jednak nadal utrzymuje się w zakresie 3500-4500 zł.

Badania SPECT (tomografia emisyjna pojedynczego protonu) różni się od PET-CT stosowanymi radiofarmaceutykami; najczęściej są to pochodne technetu $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Zarówno aparat do badań SPECT, jak i radiofarmaceutyki stosowane w tej metodzie są tańsze niż w przypadku badania PET-CT, co przekłada się na niższą cenę badania, jednak uzyskiwane obrazy są niższej rozdzielczości, zwykle na matrycy 64 x 64 lub 128 x 128. Badania te znajdują jednak swoje zastosowanie w onkologii, kardiologii i neurologii.

Niskopolowe i wysokopolowe aparaty MR

Badania MR są obecnie najbardziej prędko rozwijającą się częścią diagnostyki radiologicznej, znacząco rośnie popyt na usługi w tej dziedzinie oraz na za-

kup sprzętu niezbędnego do wykonywania badań. Pacjent umieszczany jest w polu magnetycznym o stałej wartości indukcji, najczęściej B_0 wynosi 1,5 T lub 3,0 T. Spiny atomów w ciele pacjenta ustawione są zgodnie z kierunkiem pola podstawowego. Uzyskanie obrazu opiera się na wytrąceniu atomów z ich pierwotnego ustawienia poprzez emisję sygnału odwracającego, a następnie zebranie danych z badanego obszaru o czasie, w jakim atomy wracają do spinu zgodnego z polem stałym. Czas ten obrazowany jest w skali szarości i przekłada się na obrazy. Matryca uzyskanych obrazów najczęściej wynosi 256 x 256 lub 512 x 512.

Zwyczajowo aparaty MR dzieli się na niskopolowe – do 1,0T – oraz wysokopolowe – powyżej tej wartości, niekiedy wyróżnia się też aparaty średniopolowe. Aparaty niskopolowe mają często otwartą budowę, co ułatwia badanie pacjentów z klaustrofobią, charakteryzują się też niską ceną, jednak na tym kończą się ich zalety. Czas akwizycji jest długi, a uzyskane obrazy przeważnie mają gorszą jakość niż pochodzące z aparatów wysokopolowych. Nie mają także dostępnych dodatkowych, bardzo cenniejących obecnie opcji, jak spektroskopia lub obrazowanie dyfuzyjne. Prawdopodobnie w dziedzinie MR nie czeka nas wyścig producentów w zakresie natężeń pola magnetycznego, istnieją wprawdzie aparaty 4T, w Lublinie uruchomiono eksperymentalny aparat 7T, a na świecie działają pojedyncze systemy 11,75 T, jednak do większości zastosowań medycznych, poza badaniami nietypowymi, wystarczające są obecnie stosowane zakresy pól 1,5 T lub 3 T. Ich wykorzystanie zależy od konfiguracji sprzętu, aparat 3T wykona badanie o porównywalnej jakości szybciej od 1,5 T, ewentualnie w podobnym czasie wykona badanie o lepszej jakości w porównaniu z systemem 1,5 T, odbywa się to jednak kosztem ceny i większymi ograniczeniami przy selekcji pacjentów – wiele implantów wszczepianych pacjen-

tom ma w paszporcie potwierdzenie dopuszczenia jedynie do pól o natężeniu 1,5 T.

Wybór aparatu MR

Rozważając zakup aparatu MR, trzeba pamiętać o dość kosztownym wyposażeniu dodatkowym – pomieszczenie z aparatem musi stanowić klatkę Faradaya, wszelkie używane w tym pomieszczeniu urządzenia muszą być dedykowane do pracy w polu magnetycznym, nie możemy wносить obiektów ferromagnetycznych do tego pomieszczenia. Ze względu na wysokie ceny dedykowanych cewek należy dokładnie rozważyć przyszłe zastosowania aparatu MR. Niektóre nowoczesne urządzenia dysponują cewką wbudowaną w stół, co zwiększa ich możliwości obrazowania, oprócz cewek sztywnych, dedykowanych dla konkretnych narządów istnieją także cewki elastyczne, układane bezpośrednio na badanych regionach ciała pacjenta. Dedykowane cewki, np. endorektalna do badania gruczołu krokowego, sprawdzają się przy użyciu z aparatami o natężeniu pola magnetycznego 1,5 T, natomiast w aparatach 3T mogą być zastąpione zwykłą cewką typu body. Zestawienie cewek i ich przeznaczenie zebrane są w tab. 2.

Dodatkowe metody obrazowania

Rezonans magnetyczny pozwala nie tylko na obrazowanie struktur ciała z lepszą rozdzielczością liniową od tomografii, ale oferuje też duży zestaw dodatkowych metod obrazowania, niektóre z nich są nieodzowne w diagnostyce. Prócz klasycznych technik spinechowych i gradientowych stosuje się:

- obrazowanie dyfuzyjne (DWI) – niezastąpione w wykrywaniu wczesnego udaru mózgu, pozwalające wykrywać i oceniać zmiany nowotworowe w głowie i w tułowiu, wykorzystywane w ocenie gruczołu krokowego w skali PIRADS; stosowane praktycznie w każdej dziedzinie, szczególnie w neurologii, neurochirurgii, onkologii, urologii;
- obrazowanie SWI (*susceptibility weighted imaging*) – pozwalające na obrazowanie zwapnień, złogów żelaza, w tym przebytego krwawienia, pozwala na różnicowanie faz choroby Parkinsona; stosowane głównie w neurologii i neurochirurgii;
- spektroskopię MR (MRS) – najczęściej spektroskopię wodorową ^1H , która generuje obrazy widma rozkładu związków chemicznych w zadanym rejonie mózgu, pozwala nie tylko na dokładniejszą ocenę zmiany, ale też na określenie stopnia złośliwości guza w skali WHO, a wspólnie z perfuzją MR nawet na postawienie wstępnego rozpoznania histologicznego; jest przydatną metodą pomocniczą w neurologii i neurochirurgii, rzadszym zastosowaniem jest pośrednia ocena dojrzałości płuc płodu;
- perfuzję MR – stosowaną w badaniach mózgu i mięśnia sercowego;
- metodę saturacji tłuszczu, silikonu, wody, będącą uzupełniającą do podstawowych sekwencji,

zwiększającą możliwości diagnostyczne; są obecne praktycznie w każdym systemie;

- obrazowanie funkcjonalne (fMRI), które opiera się na pomiarze metabolizmu glukozy różnych rejonów mózgu podczas stymulacji różnych ośrodków przez pacjenta wykonującego zadane ćwiczenia; jest metodą nietypową, znajdującą szerokie zastosowanie w dziedzinach eksperymentalnych, jednak stosunkowo niewielkie w badaniach klinicznych; stosowane najczęściej w neurochirurgii lub neurologii przed planowym zabiegiem operacyjnym w celu ustalenia granic zabiegu i zaoszczędzenia istotnych ośrodków, np. mowy lub ruchowych.

Do rzadko stosowanych metod z użyciem rezonansu magnetycznego należy PET-MR, jedyna placówka, w której jest obecnie stosowana, to Centrum Onkologii w Bydgoszczy.

Przyszłość rezonansu magnetycznego będzie opierać się prawdopodobnie na doskonaleniu obecnie stosowanych metod, dopracowywaniu cewek, oprogramowaniu i sekwencji, zwiększaniu gradientów, być może zostaną opracowane nowe sekwencje obrazowania. Nie sądzę natomiast, aby większą popularność zdobyły systemy o bardzo wysokich natężeniach pól magnetycznych.

Podsumowanie

Diagnostyka obrazowa jest jedną z najbardziej dynamicznie rozwijających się gałęzi medycyny. Zapotrzebowanie na badania obrazowe wzrosło znacząco i nadal ma tendencję wzrostową. Klasyczna rentgenodiagnostyka osiągnęła już wyżyny swojego rozwoju; ultrasonografia i tomografia komputerowa mają jeszcze szansę na rozwój, jednak największy wzrost rynku i najszerze perspektywy rozwoju dotyczą badań rezonansem magnetycznym. Dzięki dużej liczbie możliwości do uzyskania obrazów anatomicznych i funkcjonalnych w przyszłości działanie aparatów poprzez odpowiedni dobór zestawu cewek i oprogramowania można będzie ściślej dostosować do profilu placówki i wymagań pacjentów oraz lekarzy kierujących. □

Piśmiennictwo

1. Nsubuga J.: *X-Rays are 120-years old*. „Metro”, 2015.
2. *Obwieszczenie Ministra Zdrowia z 3 kwietnia 2017 w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Zdrowia w sprawie warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji medycznej*. Dz.U., poz. 884 z 5 maja 2017 r.
3. National Cancer Institute, Division of Cancer Treatment & Diagnosis: *CT Scans*, 2013.
4. Coursey C.A., Nelson R.C., Boll D.T., Paulson E.K., Ho L.M., Neville A.M., Marin D., Gupta R.T., Schindera S.T.: *Dual-energy multidetector CT: How does it work, what can it tell us, and when can we use it in abdominal/pelvic imaging?* „RSNA RadioGraphics”, Vol. 30, Issue 4, July 2010.