



Tomografia
komputerowa

Przegląd literatury

Korzyści obrazowania spektralnego w diagnostyce klinicznej

Cel: niniejszy przegląd ma na celu ocenę przydatności komputerowej tomografii spektralnej (SDCT) w rutynowej diagnostyce klinicznej naczyń, klatki piersiowej, całego ciała, serca oraz układu nerwowego.

Wprowadzenie

Tomograf IQon Spectral CT firmy Philips to pierwszy tomograf spektralny (SDCT) wyposażony w innowacyjną technologię detektorów o budowie warstwowej. Bezpośrednio nad sobą umieszczono dwa detektory rejestrujące promieniowanie o różnej energii.

Pierwsza warstwa odpowiada za odczyt promieniowania o niskiej energii, druga rejestruje promieniowanie wysokoenergetycznego, pozwalają uzyskać dwa różne zestawy danych: odpowiednio dla niskiej i wysokiej energii.¹ Promieniowanie rentgenowskie pochodzi natomiast z jednego źródła, czyli lampy emitującej jego pełne spektrum. Poza tradycyjnymi obrazami CT, uzyskiwanymi przez połączenie danych pochodzących z obu detektorów, tomograf umożliwia również wykonanie dodatkowej analizy spektralnej przez oddzielenie danych niskoenergetycznych od danych wysokoenergetycznych. Kolejną fenomenalną właściwością oferowaną przez tę technologię jest brak konieczności prospektywnego doboru pacjentów do badań dwuenergetycznych. Badanie w tomografie IQon Spectral CT dostarcza bowiem danych spektralnych w przypadku wszystkich pacjentów, nawet tych, którzy wcześniej nie zostaliby zakwalifikowani do obrazowania dwuenergetycznego. Z tego względu zmiana protokołu klinicznego lub przebiegu badania nie są potrzebne. Inne korzyści, o jakich warto wspomnieć, to wyrównanie przestrzenno-czasowe, rozkład przestrzenny projekcji z mniejszą liczbą artefaktów, dostępność wszystkich narzędzi kontroli dawki oraz brak ograniczeń pola obrazowania lub efektów rozproszenia krzyżowego. Obrazowanie spektralne zapewnia informacje, które do tej pory były niewidoczne na tradycyjnych obrazach CT.

Wyniki uzyskane w obrazowaniu SDCT obejmują obrazy zawartości jodu lub kwasu moczowego, wirtualne obrazy badania bezkontrastowego, wirtualne obrazy badania monoenergetycznego (od 40 do 200 keV) oraz obrazy efektywnej liczby atomowej.

Poniżej przedstawiono krótki opis każdego z nich:

- **Obrazy zawartości jodu:** pozwalają na określenie ilości wody oraz jodu w określonych obszarach
- **Wirtualne obrazy badania bezkontrastowego:** pozwala uzyskać obrazy, których wygląd przypomina obrazy niezakontrastowane, jednak z tłumieniem występującym w obecności jodu
- **Obrazy monoenergetyczne (MonoE):** obrazy ukazujące tłumienie odpowiadające zastosowaniu podczas skanowania pojedynczej energii monochromatycznej (keV)
- **Obrazy efektywnej liczby atomowej:** pozwalają ukazać efektywną liczbę atomową każdego piksela obrazu uzyskaną z wartości światła i rozproszenia obliczonych z sygnałów nisko- i wysokoenergetycznych
- **Obrazy zawartości kwasu moczowego:** uzyskane przez obliczenie, a następnie wykrycie pikseli, w których obecny jest kwas moczowy; wartości HU są takie same jak przypadku badania MonoE 75 keV dla pikseli zawierających kwas moczowy

Rekonstrukcje spektralne mogą uzupełnić rutynowe obrazy o cenne informacje kliniczne. Analiza danych spektralnych uzyskanych tomografem IQon Spectral CT może być przeprowadzana retrospektywnie i zapewnia więcej informacji klinicznych, także u tych pacjentów, którzy wcześniej nie zostaliby zakwalifikowani do obrazowania dwuenergetycznego. Poniżej zamieszczono przykłady zastosowań obrazowania spektralnego w szeregu różnych badań.

Obrazowanie naczyń

W przypadku wszystkich badań naczyniowych rekonstrukcje MonoE przy niskich wartościach keV pozwalają na wykonanie pomiarów przy większym tłumieniu oraz uzyskanie wyższego stosunku sygnału do szumu (SNR). Większe tłumienie przy niskich wartościach keV poprawia jakość obrazu przy źle dobranej ilości środka kontrastowego, ograniczając przypadki, w których konieczne jest podanie dodatkowej dawki kontrastu lub wykonanie kolejnego skanu, a tym samym zastosowanie kolejnej dawki promieniowania. Badania MonoE przy niskich wartościach energii pozwalają również uzyskać angiogramy ze zwykłych badań kontrastowych, pozwalając uzupełnić rutynowe badania o dodatkowe informacje diagnostyczne.

W porównaniu z tradycyjnymi obrazami CT niskoenergetyczne obrazy MonoE umożliwiają lepsze uwidocznienie zatoru tętnicy płucnej w naczyniach klatki piersiowej oraz dokładniejszą ocenę restenozy w hypodensyjnych metalowych stentach tętnicy szyjnej dzięki obrazom efektywnej liczbie atomowej uzyskanym w tomografie IQon Spectral CT.²⁻⁶

Obrazowanie spektralne

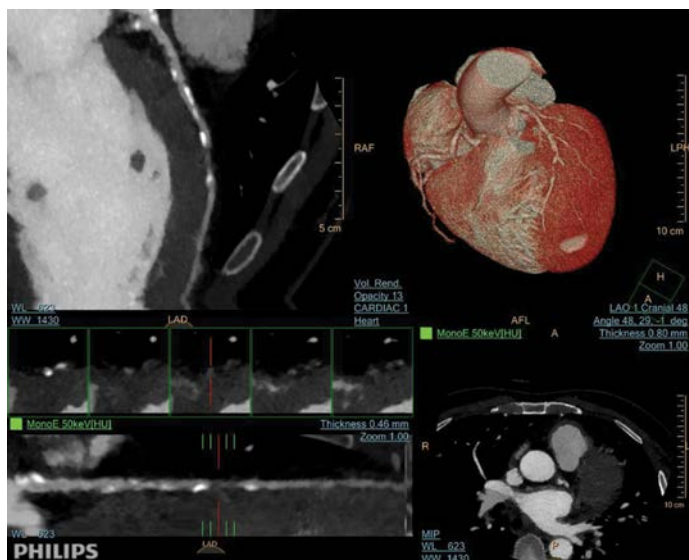
Niskoenergetyczne badanie MonoE

Korzyści kliniczne w obrazowaniu naczyń

- Poprawa zakontrastowania w przypadku podania nieprawidłowej dawki kontrastu pozwalająca wyeliminować konieczność powtarzania badań naczyń
- Możliwość wykonania angiografii CT z rutynowego badania kontrastowego
- Poprawa uwidocznienia zatoru tętnicy płucnej

Obrazy efektywnej liczby atomowej

- Pomoc w dokładnej ocenie restenozy w stencie w przypadku metalowych stentów tętnicy szyjnej



Badanie serca ocenione z użyciem aplikacji Comprehensive Cardiac oraz niskoenergetycznego badania MonoE. Niskoenergetyczne badanie MonoE poprawiło zakontrastowanie tętnic wieńcowych oraz drzewa wieńcowego, pozwalając lepiej uwidocznić miękką blaszkę miażdżycową w gałęzi międzykomorowej przedniej lewej tętnicy wieńcowej.

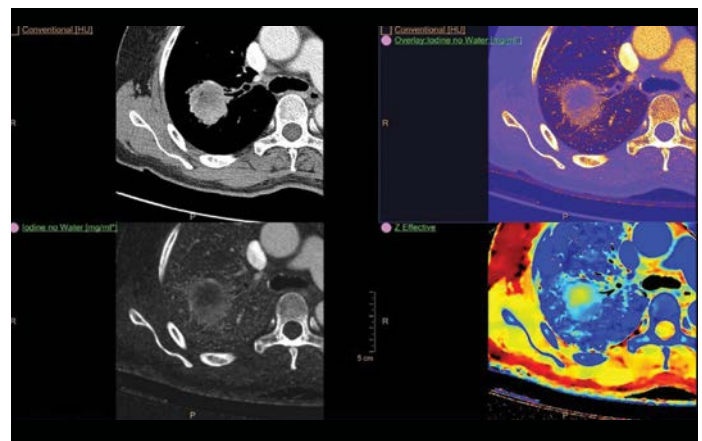
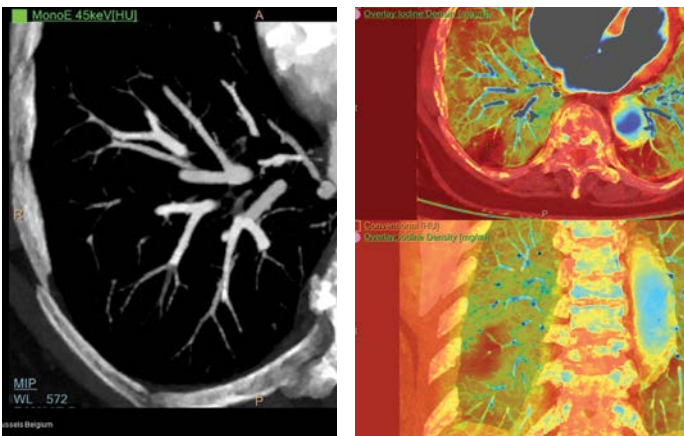
Obrazowanie klatki piersiowej

Różne typy obrazów spektralnych znajdują szerokie zastosowanie w obrazowaniu klatki piersiowej. Obrazowanie MonoE wykonane przy niskich wartościach keV zapewnia poprawę jakości obrazów w badaniach klatki piersiowej oraz angiograficznych z kontrastem, pozwalając ograniczyć liczbę obrazów o jakości niediagnostycznej. Wysokoenergetyczne obrazy spektralne MonoE redukują obecne obrazach CT artefakty pochodzące od metalowych implantów i poprawiają jakość obrazu. Analiza materiałowa umożliwia określenie ilości jodu oraz obrazy efektywnej liczby atomowej pozwalają natomiast lepiej uwidocznić ukrwienie mięszu płucnego oraz dokonać oceny znaczenia hemodynamicznego zatoru płucnego lub upośledzenia perfuzji spowodowanego przez guz. Obrazy MonoE pomagają również w ocenie guzów płuc oraz guzów limfatycznych w obszarach śródpiersiowych. Obrazy MonoE oraz analiza materiałowa w celu określenia zawartości jodu mogą również służyć do wczesnej oceny odpowiedzi na leczenie oraz ewentualnej zmiany protokołu leczenia i sposobu prowadzenia pacjenta^{7,8}.

Obrazowanie spektralne

Korzyści kliniczne w obrazowaniu klatki piersiowej

Niskoenergetyczne badanie MonoE	<ul style="list-style-type: none"> • Poprawa zakontrastowania w przypadku podania nieprawidłowej dawki kontrastu pozwalająca wyeliminować konieczność powtarzania badań naczyń • Pomoc w ocenie guzów płuc oraz guzów limfatycznych • Wczesna ocena odpowiedzi na leczenie
Wysokoenergetyczne badanie MonoE	<ul style="list-style-type: none"> • Redukcja artefaktów pochodzących od metalowych implantów w celu poprawy jakości obrazu
Obrazy efektywnej liczby atomowej	<ul style="list-style-type: none"> • Ocena mięszu płucnego pod kątem znaczenia hemodynamicznego zatoru tętnicy płucnej
Obrazy zawartości jodu	<ul style="list-style-type: none"> • Ocena mięszu płucnego pod kątem znaczenia hemodynamicznego zatoru tętnicy płucnej • Wczesna ocena odpowiedzi na leczenie



Zator płucny

Pacjent w podeszłym wieku skarżący się na duszności został przyjęty na oddział ratunkowy, gdzie przeprowadzono badanie tomografem IQon Spectral CT. Niewielkie zator płucny został wykryty dopiero po przeprowadzeniu badania spektralnego i połączeniu uzyskanego obrazu z obrazem efektywnej liczby atomowej.

Masa płuc

Klatka piersiowa oraz jama brzuszna pacjenta z powiększeniem i wzrostem masy górnego płata płuca prawego w wywiadzie. Obraz porównano z badaniem CT przeprowadzonym wcześniej tego samego roku. Zmiana obecna w górnym płacie płuca prawego powiększyła się z 2,9 do 4,2 cm. Obszar hipotensyjny w obu dolnych płatach zewnętrznych. Nie uwidoczniło guzków ani mas w mięszu płuc. Obrazowanie spektralne pozwoliło uzyskać więcej informacji klinicznych, umożliwiając wykrycie martwej oraz aktywnej części zmiany.

Obrazowanie układu mięśniowo-szkieletowego

Obrazowanie układu mięśniowo-szkieletowego obejmuje kości, ścięgna, stawy oraz otaczające je tkanki. Obrazowanie spektralne pozwala na wykrycie w stawach kryształów moczanu sodowego, pomagając w diagnostyce dny moczanowej. Wysokoenergetyczne badania MonoE umożliwiają również ograniczenie artefaktów pochodzących od metalowych implantów, pomagając uwidocznnić położone wokół nich ścięgna i stawy⁹.

Obrazowanie spektralne	Korzyści kliniczne w obrazowaniu układu mięśniowo-szkieletowego
Analiza materiałowa pozwalająca na uwidocznienie kwasu moczowego	• Pomoc w diagnostyce dny moczanowej
Wysokoenergetyczne badanie MonoE	• Redukcja artefaktów pochodzących od metalowych implantów w celu poprawy jakości obrazu

Obrazowanie układu moczowo-płciowego

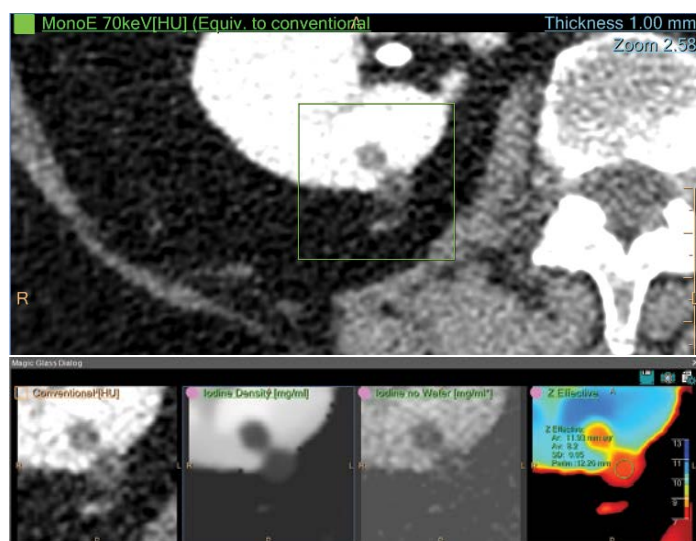
Zastosowanie tomografii spektralnej w badaniach układu moczowo-płciowego pozwala na wykonanie analizy materiałowej złogów w nerkach, umożliwiając określenie związków, z jakich są zbudowane: kwasu moczowego, fosforanu wapnia oraz innych niż kwas moczowy. Z kolei obrazowanie MonoE, efektywnej liczby atomowej oraz zawartości jodu może pomóc w wykrywaniu i charakteryzowaniu guzów (zlokalizowanych w nerkach lub nadnerczach). Wirtualne obrazy badania bezkontrastowego umożliwiają natomiast wyeliminowanie fazy bezkontrastowej w wielofazowych badaniach nerek, przyczyniając się do zmniejszenia dawki promieniowania. Optymalną wizualizację oraz poprawę jakości obrazu mięszczy nerki można uzyskać na obrazach IQon SDCT z rekonstrukcją MonoE przy napięciu 60–70 keV^{10,11}.

Obrazowanie spektralne	Korzyści kliniczne w obrazowaniu układu moczowo-płciowego
Obrazy efektywnej liczby atomowej	• Pomoc w scharakteryzowaniu złogów w nerkach • Możliwość wykrycia i scharakteryzowania guzów (w nerkach oraz nadnerczach)
Wirtualne obrazy badania bezkontrastowego	• Eliminują fazę bezkontrastową w badaniach wielofazowych
Niskoenergetyczne badanie MonoE	• Popraw jakości obrazu mięszczy nerki • Możliwość wykrycia i scharakteryzowania guzów (w nerkach oraz nadnerczach)



MAR (redukcja artefaktów pochodzących od metalowych implantów)

Jak pokazano na powyższym obrazie wysokoenergetyczne badania MonoE ograniczają artefakty powodowane przez metalowe implanty kręgosłupa. Obraz tradycyjny z artefaktami pochodzącymi od metalowych implantów kręgosłupa (na górze po lewej) oraz wyższej jakości wysokoenergetyczne obrazy MonoE (na dole po lewej).



Zmiana w nerce

Niewielka zmiana znaleziona w prawej nerce u pacjenta w podeszłym wieku podczas badania tomografem IQon Spectral CT. Obrazowanie spektralne pomogło potwierdzić jej obecność.

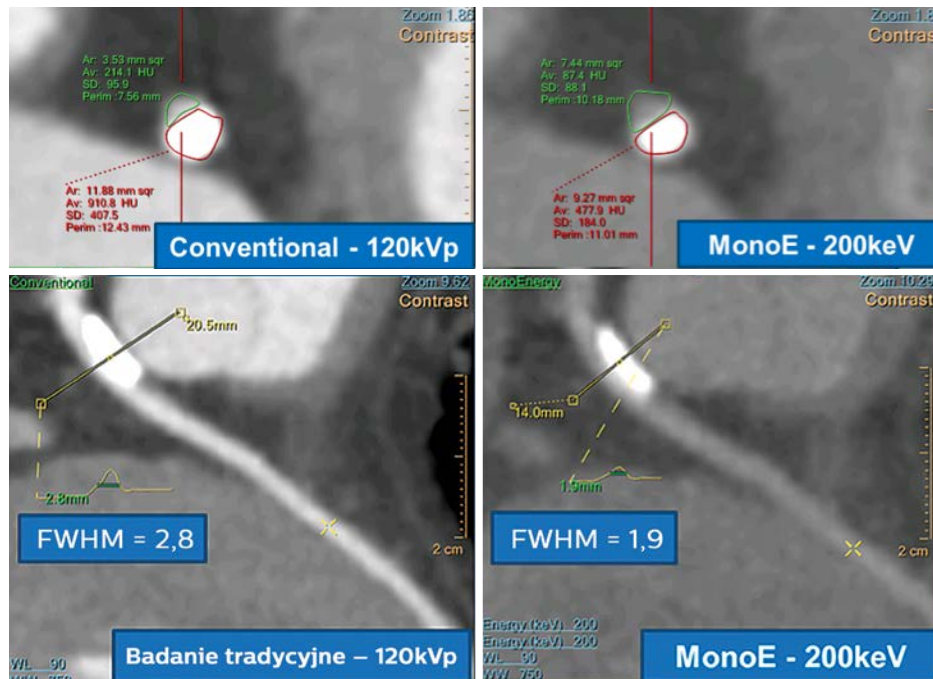
Obrazowanie serca

Zastosowanie tomografii spektralnej w obrazowaniu serca umożliwia redukcję artefaktów twardnienia wiązki w wysokoenergetycznych rekonstrukcjach MonoE oraz poprawę jakości obrazów angiograficznych w przypadku źle dobranej dawki środka kontrastowego dzięki niskoenergetycznym obrazom MonoE. Wysokoenergetyczne obrazy MonoE mogą również zredukować artefakty pochodzące od uwapnionych naczyń. Wirtualne obrazy badania bezkontrastowego to także możliwość zmniejszenia dawki promieniowania oraz wyeliminowania bezkontrastowej fazy w badaniach serca czy też obliczenie wirtualnego wskaźnika uwapnienia. Obrazy zawartości jodu oraz MonoE mogą natomiast posłużyć do oceny ukrwienia mięśnia sercowego¹²⁻¹⁶.

Obrazowanie spektralne

Korzyści kliniczne w obrazowaniu serca

Wysokoenergetyczne badanie MonoE	<ul style="list-style-type: none"> • Redukcja artefaktów twardnienia wiązki • Redukcja artefaktów powodowanych przez uwapnienie naczyń
Wirtualne obrazy badania bezkontrastowego	<ul style="list-style-type: none"> • Wyeliminowanie fazy bezkontrastowej w angiografii CT
Niskoenergetyczne badanie MonoE	<ul style="list-style-type: none"> • Poprawa jakości obrazów angiograficznych przy źle dobranej ilości środka kontrastowego • Ocena ukrwienia mięśnia sercowego
Obrazy zawartości jodu	<ul style="list-style-type: none"> • Ocena ukrwienia mięśnia sercowego

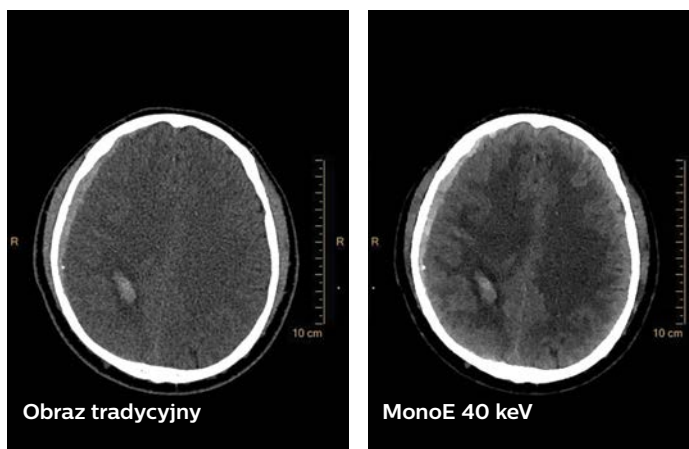


Serce

Redukcja artefaktów powodowanych przez znaczne uwapnienie naczyń wieńcowych w wysokoenergetycznym badaniu MonoE.

Obrazowanie układu nerwowego

Zastosowanie tomografii spektralnej w obrazowaniu układu nerwowego obejmuje wirtualne obrazy badania bezkontrastowego oraz niskoenergetyczne obrazowanie MonoE pozwalające na lepsze różnicowanie istoty szarej i białej. Obrazy zawartości jodu, efektywnej liczby atomowej oraz MonoE pozwalają z kolei na lepsze wykrywanie i charakteryzowanie zmian. Mapy jodowe oraz obrazy efektywnej liczby atomowej umożliwiają również uwidocznienie deficytów perfuzji w tkance mózgu. Rekonstrukcje obrazów MonoE pozwalają natomiast lekarzom na wykrywanie krwotoków mózgowych¹⁷.



Obrazowanie spektralne	Korzyści kliniczne w obrazowaniu układu nerwowego
------------------------	---

Wirtualne obrazy badania bezkontrastowego

- Wyświetlanie wirtualnych obrazów badania bezkontrastowego

Niskoenergetyczne badanie MonoE

- Poprawa różnicowania istoty szarej i białej
- Poprawa wykrywania zmian i ich charakteryzowania
- Pomoc w wykrywaniu krwotoków w mózgu

Obrazy efektywnej liczby atomowej i zawartości jodu

- Poprawa wykrywania zmian i ich charakteryzowania
- Uwidocznienie upośledzenia perfuzji w tkance mózgowej

Obrazowanie układu nerwowego

Obrazy uzyskane w tomografii IQon Spectral CT pozwoliły na lepsze uwidocznienie istoty szarej i białej, jak również krwiaka podtwardówkowego w prawej półkuli mózgu.

Wnioski

Obrazy spektralne uzyskane w tomografii IQon Spectral CT firmy Philips mogą dostarczyć cennych informacji klinicznych, niedostępnych na tradycyjnych obrazach CT. Uzupełnienie rutynowych badań o obrazy spektralne może usprawnić diagnostykę, lepiej uwidocznić struktury po podaniu środka kontrastowego oraz istotę białą i szarą mózgu. Obrazowanie spektralne może również pomóc w ograniczeniu artefaktów pochodzących od metalowych implantów, a także utworzyć z badań kontrastowych wirtualne obrazy badania bezkontrastowego.

Piśmiennictwo

1. Johnson T FC, Schönberg SO, Reiser, MF VA, eds. Dual-Layer CT. In: Dual energy CT in clinical practice. Heidelberg, Germany. Springer 2011:21–34.
2. Sher A, Ghandour A, Wilson D, Bezerra H, Rajiah P. Evaluation of Coronary Artery Angiography on a Spectral Detector CT. RSNA 2014.
3. Sher A, Ghandour A, Rajiah P. Evaluation of Monochromatic Energy Reconstruction on Pulmonary Angiography Using Spectral Detector CT. RSNA 2014.
4. Sher A, Ghandour A, Rong R, Rajiah P. Evaluating Optimal Monochromatic Energy Reconstruction on Aortic Angiography Obtained from Spectral Detector CT. RSNA 2014.
5. Chalian H, Mansoori B, Chalian M, Rajiah P. Salvage of Suboptimal CT Angiographic Studies Using Virtual Monoenergetic Images from Novel Spectral Detector CT Scanner. RSNA 2015.
6. Ben-David E, Gomori JM, Leichter I, Romman Z, Sosna J. Accuracy of Carotid In-Stent Stenosis Measurement in a Phantom Model Using Effective Atomic Number Imaging Produced by Dual-Layer Dual-Energy CT. RSNA 2015.
7. Rong R, Rios C, Li F, Rajiah P, Landeras L. Spectral Detector Computed Tomography (Dual-Layer CT): Clinical Applications in Thoracic Imaging. RSNA 2014.
8. DiPoce J, Sosna J, Shaham D, Romman Z, Goldberg N. Spot the Clot: Improvements in CT Detection of Thrombus Using an In Vitro Dual-Energy Based Phantom Model. RSNA 2015.
9. Rajiah P. Musculoskeletal Applications of Spectral CT – Principles, Physics and Clinical Applications. RSNA 2015.
10. Rajiah P. Genitourinary Applications of Spectral CT. RSNA 2015.
11. DiPoce J, Romman Z, Sosna J. Optimal Energy for Kidney Parenchymal Visualization in Monoenergetic Images Generated from Dual-Energy CT. RSNA 2015.
12. Chailan M, Sher A, Eck B, Wilson D, Gilkeson R, Bezerra H, Rajiah P. Cardiovascular Applications of Spectral CT Using Single-Source Dual-Layer Detector Technique. RSNA 2014.
13. Leichter I, Lipschuetz T, Vichter T, Romman Z, Sosna J. Automatic Quantification of Iodine and Calcium Using Monoenergetic Virtual Images Generated by Spectral Detector Dual-Layer CT: A Phantom Study. RSNA 2015.
14. Chalian M, Mansoori B, Chalian H, Rajiah P. Effect of Calcium Blooming in Coronary Arteries at Different Monoenergetic Levels of a Novel Spectral Detector CT and Comparison with Polyenergetic Conventional Image. RSNA 2015.
15. Fahmi R, Eck B, Levi J, Fares A, Dhanantwari A, Vembar M, Bezerra H, Wilson D. Dynamic Myocardial Perfusion in a Porcine Ischemia Model Using Spectral Detector CT. RSNA 2014.
16. Rajiah P. Cardiothoracic Applications of Spectral CT – Physics, Principles and Clinical Applications. RSNA 2015.
17. Rajiah P. Applications of Spectral CT in Neuroimaging. RSNA 2015.

