



Charakterystyka tomografów dwuenergetycznych

Characteristics of Dual Energy Computed Tomography

Urszula Zięba, Sandra Modlińska

Zakład Radiodiagnostyki i Radiologii Zabiegowej, Katedra Radiologii i Medycyny Nuklearnej, Wydział Lekarski w Katowicach, Śląski Uniwersytet Medyczny, ul. Medyków 14, 40-752 Katowice, tel. +32 208 47 51, e-mail: smodlinska@sum.edu.pl

Wprowadzenie

Współczesne czasy stawiają przed nauką wiele nowych wyzwań. W związku z dynamicznym rozwojem cywilizacyjnym pojawiają się nowe jednostki chorobowe i zaburzenia, które wymagają szybkiej interwencji. Antybiotykooporność szczepów bakterii, wirusy i ich mutacje niosą ze sobą szereg nowych chorób oraz powikłania już istniejących. Geriatryzacja społeczeństwa oraz negatywne zmiany stylu życia powodują, że najczęstszą przyczyną zgonów w krajach wysoko rozwiniętych są choroby serca. W celu szybkiego rozpoznania i zwalczenia różnego typu powikłań niezbędny jest rozwój diagnostyki medycznej. To dzięki

nowoczesnym metodom diagnostycznym możliwa jest szybka ocena zmian w organizmie pacjenta.

Na początku lat 70. XX wieku została wprowadzona tomografia komputerowa, która zrewolucjonizowała gałąź diagnostyczną w medycynie. Na przestrzeni wielu lat metoda ta prężnie się rozwija, wykorzystując coraz nowsze osiągnięcia fizyki i informatyki. Tomografia komputerowa (CT) jest przekrojową, trójwymiarową metodą obrazowania diagnostycznego o wysokiej rozdzielczości, wykorzystującą jednoenergetyczne, polichromatyczne promieniowanie rentgenowskie [1]. Dzięki złożoności projekcji obszaru, możliwych do uchwycenia przez liczne detektory, CT pozwala uzyskać rekonstrukcję 3D przydatną w ocenie

422

Streszczenie

Jedną z najprężniej rozwijających się gałęzi nauki, na której oparta jest współczesna medycyna, to diagnostyka medyczna. Poszukuje się metod, które nie tylko skrócą czas badania, będą precyzyjne i dostępne dla pacjentów, lecz także pozwolą na coraz dokładniejszą analizę chorób i ich podłoża. W niniejszej pracy opisana została metoda diagnostyki, jaką jest dwuenergetyczna tomografia komputerowa. Metoda ta pozwala poszerzyć badania tomografii komputerowej o dodatkowe aspekty wpływające na jakość obrazu oraz ochronę radiologiczną pacjenta (poprzez mniejszą liczbę skanów). Wykorzystując system dwuenergetycznej tomografii komputerowej, można analizować jednocześnie zestaw danych zebranych w jednym czasie z tego samego obszaru badania za pomocą dwóch różnych energii. Dodatkowo metoda ta pozwala uniknąć artefaktów, które często powstają przy zastosowaniu tomografii jednoenergetycznej. W pracy porównano także obecnie stosowane aparaty do badań tomograficznych wykorzystujące dwie energie oraz zasady ich działania.

Słowa kluczowe: CT, DECT, SECT, obrazowanie

Abstract

One of the most dynamically developing branches of science, on which modern medicine is based is medical diagnostics. Methods that will not only shorten the test time, but will also allow for an increasingly accurate analysis of diseases and their causes they will be sought. In this work the diagnostic method of dual energy computed tomography is described. This method allows for the extension of computed tomography examinations with additional aspects affecting the image quality and the patient's radiological protection. By using the dual energy computed tomography system, you can analyze simultaneously a set of data collected at one time from the same area research using two different energies. In addition, this method allows to avoid artifacts that often arise with the use of single-energy tomography. The work also compares the currently used devices for tomographic examinations using two energies and the principles of their operation.

Key words: CT, DECT, SECT, imaging techniques

otrzymano / received:

22.09.2022

poprawiono / corrected:

24.10.2022

zaakceptowano / accepted:

26.10.2022



wielu patologii [2]. Mimo swojej nieinwazyjności umożliwiła otrzymanie obrazów diagnostycznie i jakościowo podobnych do inwazyjnych metod diagnostycznych. Idealnym przykładem może być tutaj obrazowanie angiograficzne CT tętnic wieńcowych, które jakościowo są porównywalne do koronarografii będącej inwazyjną metodą diagnostyczną. Dzięki możliwościom, jakie niesie ze sobą tomografia komputerowa, jej zalety, a tym samym chęć jej rozwoju, są nieocenione [2].

Tomografia dwuenergetyczna DECT (Dual Energy Computed Tomography)

Nie od dziś wiadomo, że dwuenergetyczna tomografia komputerowa była możliwa do osiągnięcia, ponieważ jej działanie i zastosowanie zostało opracowane już w 1976 roku. Wraz z rozwojem nauki i technologii pojawiła się możliwość stworzenia dwuenergetycznego tomografu komputerowego [3]. Niedawno została wprowadzona akwizycja danych o podwójnej energii prowadzona jednocześnie przy użyciu wielodetektorowej CT (MDCT – Multi-row-Detector Computed Tomography). Metoda ta wykorzystuje najczęściej dwie lampy rentgenowskie i szybkie przetaczanie szczytowego kilonapięcia (kV). Takie działanie otwiera nowe drzwi zastosowania tomografii komputerowej np. przy spektralnym obrazowaniu kamieni szlachetnych [3]. DECT dzięki dwóm rodzajom energii (zazwyczaj 80 keV i 140 keV) umożliwia dokładną ocenę składu chemicznego badanych tkanek, zmniejsza artefakty spowodowane metalicznymi obiektami znajdującymi się w ciele badanego, jak i znacząco (o ok. 60%) ogranicza ilość środka kontrastującego podawanego podczas badania [2]. W aparacie wykorzystano fakt, że na dwóch poziomach energetycznych tkanki w innym stopniu pochłaniają promieniowanie X z powodu różnych liczb atomowych i różnych gęstości. Największą zaletą tej metody jest to, że zarówno napięcie lampy, prąd lampy, jak również filtr można regulować w celu zmaksymalizowania dwuenergetycznego kontrastu spektralnego i wydajności dawki promieniowania w zależności od wielkości ciała pacjenta i celu diagnostycznego [1]. W klasycznej tomografii komputerowej wykorzystuje się jednorazowo jeden rodzaj energii. Można wybrać badanie niską lub wysoką energią. Badania z wykorzystaniem niskiej energii pozwalają uzyskać wysoki kontrast tkanek obarczony dodatkowo szumem tła, a także dużą ilość artefaktów. Badania z wykorzystaniem wysokiej energii pozwalają uzyskać obraz wolny od artefaktów, jednak mało kontrastowy. Wykorzystując najnowsze osiągnięcia techniki w oparciu o te dwie skrajne energie, można nałożyć na siebie powstałe w wyniku akwizycji obrazy. Takie nałożenie obrazów jest podstawą działania tomografii dwuenergetycznej [2]. Pierwsze tomografy multienergetyczne powstały w 2006 roku, pomimo iż podstawy ich działania są znane już od lat 60. ubiegłego stulecia [2]. Wykorzystując system DECT, można analizować jednocześnie zestaw danych zebranych praktycznie w jednym czasie z tego samego obszaru badania za pomocą dwóch skrajnych energii (najczęściej 80-100 keV oraz 140 keV). Obrazy o niższej

energii charakteryzują się wyższym kontrastem w stosunku do obrazów o wyższej energii (140 keV). Zmiana kV podczas akwizycji warunkuje zmianę pomiarów jednostek Hounsfielda w badaniach przy użyciu DECT [3]. Tomografy tego typu są często stosowane w badaniu mięśnia sercowego, kiedy pojawiają się problemy z rozróżnieniem struktur anatomicznych i ich patologii. Badanie za pomocą DECT umożliwia np. ocenę blaszki miażdżycowej. Dodatkowo pozwala na sprawdzenie perfuzji mięśnia sercowego czy też procesów molekularnych wywołujących miażdżycę tętnic wieńcowych. Dzięki zastosowaniu dwóch rodzajów energii uzyskuje się największy efekt zróżnicowania tkanek, pozwalający na dokładną ocenę przyczyn wystąpienia dysfunkcji mięśnia sercowego. Za pomocą podwójnej wiązki energii można badać przede wszystkim niedokrwienie mięśnia sercowego. Wykorzystując dodatkowo w badaniu pomiar widma jodu pod wpływem różnych poziomów energii, można uzyskać kompletny szlak dystrybucji tego pierwiastka i wskazać miejsca, które są niedokrwione [2]. Aparaty dwuźródłowe umożliwiają ocenę składu chemicznego struktur nie tylko przez identyfikację gromadzenia się w tkankach jodu, ale także wapnia czy wody. Ze względu na to, że na różnych poziomach energetycznych inny będzie poziom absorpcji promieniowania przez poszczególne tkanki, można ustalić miejsca patologicznego gromadzenia się danej substancji [4].

Do badań diagnostycznych używa się najczęściej trzy typy tomografów dwuenergetycznych:

1. Systemy 64-warstwowe, posiadające dwie lampy rentgenowskie o różnym kV (80 kV i 140 kV) oraz dwa detektory (np. Siemens Medical Systems).
2. Systemy 128-warstwowe, posiadające dwie lampy rentgenowskie o różnym kV (80 kV i 140 kV) oraz dwa detektory (np. Siemens Medical Systems).
3. Aparaty 64-MDCT z pojedynczą lampą rentgenowską, dwuwarstwowym detektorem zdolnym do różnicowania padających na niego fotonów o niskiej i wysokiej energii oraz możliwością szybkiej zmiany napięcia (np. GE Healthcare) [2, 3].

W systemach posiadających dwie lampy rentgenowskie otrzymujemy dwa zestawy danych dla dwóch różnych napięć (np. 80 kV i 140 kV), dzięki czemu uzyskujemy możliwość tworzenia wirtualnych obrazów bez kontrastu, map jodowych oraz obrazów mieszanych, w których możliwa jest regulacja nakładania się danych obrazów uzyskanych z obu energii. Dodatkowym atutem dwuźródłowego tomografu komputerowego jest możliwość kolimacji 1 mm, aby zmniejszyć szumy. System 128-warstwowy posiada dodatkowo szersze pole widzenia (FOV 33 cm), podczas gdy system 64-warstwowy jest wyposażony w FOV 26 cm. Wraz z drugą generacją DECT (128-warstwowym) pojawił się również filtr cynowy zwiększający kontrast obrazu oraz filtrujący widma o wysokiej energii [3].

Aparaty 64-MDCT z szybkim przetaczaniem kV pozwalają na uzyskanie zestawu danych GSI (Gemstone Spectral Imaging) na stacji roboczej, gdzie obrazy: wody (wirtualny brak kontrastu),



jodu oraz monochromatyczne można otrzymać przy użyciu odpowiedniego napięcia kV. Akwizycję DECT, dzięki dodaniu filtra cynowego można uzyskać jednocześnie z MDCT [3].

Niewątpliwą zaletą DECT jest wyeliminowanie artefaktów wynikających z oddychania pacjenta oraz z ruchu krwi. Możliwe jest to ze względu na znacznie krótszy czas badania w porównaniu z klasyczną CT. W zależności od budowy urządzenia oba obrazy uzyskane z wykorzystania różnych energii zbierane są symultanicznie, czyli prawie w jednym czasie. Dane zbierane są bądź na detektorach przystosowanych do wielu widm promieniowania, bądź przez układ dwóch detektorów zbierających informacje z minimalnym opóźnieniem w stosunku do siebie. Jakość obrazu zależy znacząco od tętna pacjenta. Wykazano, iż wykorzystanie tomografii komputerowej z dwoma źródłami energii skutkuje uzyskaniem obrazów w mniejszym stopniu podatnych na artefakty ruchowe, w porównaniu z tomografią monoenergetyczną [6]. W badaniu serca za pomocą CT pojawiają się często artefakty metaliczne pochodzące od implantów metalowych oraz artefaktów powstających na granicy tkanek. Te dwa typy artefaktów często utrudniają ocenę np. położenia elektrody bądź ocenę tkanek znajdujących się w sąsiedztwie artefaktów.

Artefakty metaliczne wynikają z wyższego, w porównaniu do otaczających tkanek miękkich, pochłaniania promieniowania. W badaniu DECT istnieje możliwość przeprowadzenia odpowiedniego filtrowania obrazu. W ten sposób zostają zredukowane artefakty i szумы wynikające z występowania metalowych elementów w pobliżu badanej tkanki. Obraz powstały w ten sposób umożliwia precyzyjną ocenę m.in. wykluczenia krwawienia czy też stanu zapalnego tkanek miękkich znajdujących się w sąsiedztwie wszczepionych elementów [2].

Najważniejszymi ograniczeniami DECT są ograniczenia pola widzenia, szum w obrazach o niskiej energii (80-100 kV), ocena pacjentów otyłych oraz duża dawka promieniowania. Badania wykazały, że dawka promieniowania przy akwizycji pojedynczej energii jest niższa o ok. 30% w porównaniu z DECT z FOV 26 cm [7, 8]. Aktualne badania sugerują zastosowanie filtra cynowego, który docelowo ma zmniejszyć dawkę promieniowania do tej wytworzonej w przypadku akwizycji pojedynczej energii [3].

Zastosowanie tomografii dwuenergetycznej

Istotna rola DECT w diagnostyce chorób serca i naczyń krwionośnych jest już poznana i opisana w wielu badaniach naukowych. Można w ten sposób oceniać charakterystykę blaszek miażdżycowych, usuwać zwapnienia z tętnic wieńcowych oraz oceniać stan stentów wieńcowych i metalowych przedmiotów (np. stymulatory) w warunkach in vitro i ex vivo. Technika ta może być przydatna szczególnie u pacjentów, którzy nie mogą poddać się rezonansowi magnetycznemu serca z powodu klaustrofobii lub innych przeciwwskazań. Protokół dwuenergetycznego stentgraftu aortalnego może wyeliminować konieczność wykonywania tomografii komputerowej bez wzmocnienia, a obrazy

mapy jodowej mogą ułatwić rozpoznanie przecieków okotoprotezowych. Dodatkowo tomografy dwuenergetyczne można wykorzystać np. w neuroradiologii do wykrycia krwotoku do mózgu na wirtualnych obrazach bez kontrastu. Z kolei w badaniach DECT klatki piersiowej, dzięki jednoczesnej akwizycji obrazów 80 i 140 kV, można uniknąć błędnej rejestracji i wizualizacji perfuzji i wentylacji płuc. U pacjentów z płucną chorobą zakrzepowo-zatorową możliwe jest wykrycie subtelných zatorów poprzez ujawnienie wad perfuzji [5].

Podsumowanie

Tomografia komputerowa o podwójnej energii zwiększa zarówno wydajność diagnostyczną, jak i pewność zastosowania CT poprzez zwiększenie współczynnika kontrastu jodu do szumu, zmniejszenie artefaktów wzmacniających metal lub wiązkę oraz dostarczanie informacji specyficznych dla danego typu materiału. Ponadto bezpieczeństwo pacjenta zwiększa się dzięki zmniejszeniu ilości zastosowanego środka kontrastowego i pominięciu tomografii komputerowej bez wzmocnienia [1]. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu funkcji oddzielającej środek kontrastujący od obrazu. Te pozytywne zmiany prowadzą do lepszego wykrywania i diagnozowania zmian w organizmie, a w konsekwencji do efektywniejszego leczenia pacjentów [3].

Piśmiennictwo

1. H.W. Goo, J.M. Goo: *Dual-Energy CT: New Horizon in Medical Imaging*, Korean J Radiol., 18(4), 2017, 555-569, doi: 10.3348/kjr.2017.18.4.555.
2. K. Szymański, M. Krulikowska, E. Gawarecka: *Czy tomografia dwuenergetyczna to przyszłość w diagnostyce chorób serca?*, Zeszyty Naukowe Wydziału Nauk o Zdrowiu Uniwersytetu Medycznego w Białymstoku, T. 1, Terlikowski Sławomir [i in.] (red.), 2021, Uniwersytet Medyczny w Białymstoku, 708-721, ISBN 978-83-960390-2-6.
3. M. Karcaaltincaba, A. Aktaş: *Dual-energy CT revisited with multidetector CT: review of principles and clinical applications*, Diagn Interv Radiol 2011, 17, 181-194.
4. I. Danad: *New applications of cardiac computed tomography: dual-energy, spectral, and molecular CT imaging*, JACC: Cardiovascular Imaging, 8(6), 2015, 710-723.
5. G. Shayan, M. Oladghaffari, F. Sajjadian, M. Fazel Ghaziyani: *Image Quality and Dose Comparison of Single-Energy CT (SECT) and Dual-Energy CT (DECT)*, Radiol Res Pract., 2020:1403957, doi: 10.1155/2020/1403957.
6. T. Kraśnicki, P. Podgórski, M. Guziński, A. Czarnecka, K. Tupikowski, J. Garcarek, M. Szaśiadek: *Novel Clinical Applications of Dual Energy Computed Tomography*, Advances in Clinical and Experimental Medicine, 21(6), 2012, 831-841.
7. M. Karcaaltincaba, D. Karaosmanoglu, D. Akata, S. Sentürk, M. Ozmen, S. Alibek: *Dual energy virtual CT colonoscopy with dual source computed tomography: initial experience*, Rofo, 181, 2009, 859-862.
8. M.J. Sangwaiya, M.K. Kalra, A. Sharma, E.F. Halpern, J.A. Shepard, S.R. Digumarthy: *Dual-energy computed tomographic pulmonary angiography: a pilot study to assess the effect on image quality and diagnostic confidence*, J Comput Assist Tomogr., 34, 2010, 46-51.