

Tomasz Kraśnicki

Ocena wartości tomografii dwuenergetycznej w identyfikacji i analizie składu chemicznego złogów krystalicznych układu moczowego.

STRESZCZENIE

Wstęp

Kamica moczowa jest to jedna z najczęstszych chorób układu moczowego. Występuje przeważnie między 3 a 5 dekadą życia, w większości u mężczyzn. W zależności od rozmiarów a przede wszystkim ze względu na skład chemiczny złogów podejmowana jest decyzja o leczeniu, które realizowane jest poprzez: wywołanie samoistnego „urodzenia” kamieni drogami moczowymi, farmakologiczne rozpuszczenie kamieni, kruszenie za pomocą metod ultradźwiękowych – litotrypsja ESWL, lub usunięcie metodami chirurgicznymi. Obecnie rozpoznanie złogów wykonuje się poprzez diagnostykę USG oraz RTG. Rzadziej poprzez urografię lub tomografię komputerową. Metody te nie pozwalają na identyfikację typu złogu, lecz jedynie jego rozmiaru, kształtu i umiejscowienia w drogach moczowych. Tomografia dwuenergetyczna (DECT) jednoźródłowa jest nową techniką tomografii komputerowej polegającą na naświetlaniu dwoma wiązkami promieniowania o różnych energiach (80 keV i 140 keV), które są rejestrowane symultanicznie na detektorze. Umożliwia to określenie wartości Z_{eff} badanego materiału, czyli efektywnej liczby atomowej, dzięki czemu możliwe jest podanie informacji o składzie chemicznym.

Cel pracy:

Celem pracy jest: analiza i ocena skuteczności metody rozpoznania składu chemicznego złogów krystalicznych układu moczowego za pomocą tomografii dwuenergetycznej (oraz zaproponowanie protokołu badań za pomocą tej metody).

Materiał i Metody:

Badania zostały wykonane w latach 2011-2013 w Zakładzie Radiologii Ogólnej, Zabiegowej i Neuroradiologii w Uniwersyteckim Szpitalu Klinicznym im. Jana Mikulicza – Radeckiego ze współpracą z Kliniką Urologii i Onkologii Urologicznej. Badanie za pomocą tomografii dwuenergetycznej zostało przeprowadzone na grupie 42 złogów pochodzących od pacjentów w wieku 20 do 79 lat, u których wykryto złogi. Średnia wieku wynosiła 56 lat. W badanej grupie złogi pochodzące od mężczyzn stanowiły większość 66,67% (28 przypadków, średnia wieku 58 lat), pochodzące od kobiet stanowiły 33,33% (14 przypadków, średnia wieku 50 lat) ogółu. Badania wykonano za pomocą tomografu dwuenergetycznego Discovery 750HD CT marki GE Healthcare, posiadającego układ 64 rzędowych detektorów GEMSTONE, o grubości warstwy 0,625/1,25 mm. Aparat Discovery 750HD jest wyposażony w lampę z możliwością szybkiego przełączania energii wiązki, tzw. „fast kVp switching”, między 80 a 140 keV. Protokół badań został podzielony na dwa etapy - lokalizacja i detekcja złogu protokołem niskodawkowym (Low Dose) oraz badanie właściwe celowanym protokołem dwuenergetycznym ze zmniejszonym, ze względu na minimalizowanie dawki promieniowania, polem naświetlania (FOV = ok 5x5cm). Przed przystąpieniem do pracy oszacowano wartości Z_{eff} oczekiwane dla poszczególnych typów złogów. Pomiary dokonano dla złogów pochodzących od 42 pacjentów, które umieszczono w specjalnie zbudowanym do celów pracy fantomie wodnym. Badanie zostało przeprowadzone za pomocą protokołu

dwuenergetycznego „GSI Renal Stones” o wartościach energii promieniowania 80 i 140 keV, przełączanych w interwałach trwających 0,2 ms, wybrano pitch 0,984:1, grubość warstwy 0,625 mm. Dane w formacie plików DICOM zostały przesłane z konsoli operatorskiej na stacje opisowe A.W.4.6, gdzie dokonano analizy danych używając dedykowanego oprogramowania do badania za pomocą protokołu dwuenergetycznego. Na stacjach opisowych zmierzono wartości jednostek HU przy energii 80 keV i 140 keV oraz Z_{eff} dla złogów. Pomiar wykonano zaznaczając ROI centralnie i brzegowo na złogu. Pomiar powtórzono trzykrotnie dla 3 różnych warstw. Następnie złogi dostarczono do analizy laboratoryjnej w celu ustalenia składu chemicznego metodami fizyko-chemicznymi. Wyniki analizy laboratoryjnej otrzymano dla 40 pacjentów. W celu oceny skuteczności DECT w wykrywaniu składu chemicznego złogów wykonano analizę korelacji wartości poprzez obliczenie współczynnik korelacji Pearsona wartości jednostek HU dla dwóch różnych energii oraz wartości Z_{effD} otrzymanych doświadczalnie za pomocą tomografu DECT z wartościami oczekiwanymi Z_{effT} wynikających z analizy chemicznej. W badanym materiale wykonano również analizę ICC (Testy korelacji wewnątrzklasowej) między grupami złogów w celu ustaleniu różnic na podstawie otrzymanych wartości Z_{effD} .

Wyniki:

Dla najczęściej występujących czystych i jednorodnych złogów układu moczowego wedle literatury, obliczono wartości Z_{effT} a następnie podzielono na pięć grup: szczawiany wapnia (CaO_x) $Z_{eff} = 13,64$, fosforany wapnia ($CaPO_x$) $Z_{eff} = 14,87$, fosforany magnezowo-amonowe ($MgPO_x$) $Z_{eff} = 10,13$, pochodne puryn (kwasu moczowego) (UA) $Z_{eff} = 7,02$ i cystynowe (Cyst) $Z_{eff} = 11,10$. Następnie na podstawie otrzymanych analiz fizyko-chemicznych w których oznaczono procentowy skład złogów, dla badanej grupy kamieni obliczono wartości oczekiwane Z_{effT} . Otrzymane w wyniku przeprowadzonych badań za pomocą tomografu dwuenergetycznego wartości Z_{effD} dla poszczególnych złogów wykazały zbieżność z wartościami oczekiwanymi Z_{effT} , w przypadku złogów jednorodnych $CaO_x - 95\%$, UA - 100%, $CaPO_x - 100\%$, Cyst - 50%. W przypadku złogów o niejednorodnym składzie chemicznym: $CaO_x+CaPO_x - 71\%$, $CaO_x+CaPO_x+MgPO_x - 40\%$, $CaO_x+UA - 67\%$, $CaO_x+MgPO_x - 100\%$. Wartości Z_{effD} skorelowano z analizą chemiczną opartą o wartości Z_{effT} . Współczynnik korelacji wynosił $r = 0,60$ przy poziomie istotności $p < 0,001$ co oznacza wysoką korelację wartości Z_{eff} otrzymanej doświadczalnie.

Ze względu na zbliżone wartości Z_{eff} wszystkich przebadanych złogów $Z_{effD} \in (7;16)$ wykonano analizę zgodności za pomocą testów korelacji wewnątrzklasowej by wykazać różnice między wartościami Z_{eff} dla różnych grup złogów. Ze względu na małą liczebność kamieni jednorodnych dla Cyst, UA, $CaPO_x$ i CaO_x+MgPO_x wykonano analizę tylko dla części przebadanej grupy, u której wykazano, że nie ma różnic istotnych statystycznie między poszczególnymi grupami złogów, które były uwzględnione w badaniach, czyli współczynnik ICC był wartością zbliżoną do zera, co świadczy o bardzo małej korelacji.

W pracy doktorskiej dodatkowo zbadano możliwość oceny składu chemicznego złogów za pomocą wartości jednostek HU. Badanie wykonano dla wartości 80 keV i 140 keV i skorelowano z wynikami analizy chemicznej. Dla jednostek HU przy energiach promieniowania 80 keV i 140 keV współczynnik korelacji był odpowiednio: przeciętny ($r=0,41$, $p<0,009$) i słaby ($r=0,22$, $p<0,164$).

Wnioski: Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

1. Analiza DECT złogów UKM wykazała przydatność w rozpoznawaniu składu chemicznego złogów.
2. W badaniu wykryto korelację między składem chemicznym złogów UKM a wartościami Z_{effD} . Współczynnik korelacji Pearsona wynosił $r = 0,60$.
3. W wyniku przeprowadzonej analizy Z_{eff} wykazano, że złogi moczanowe znacznie odróżniają się od pozostałych grup złogów w badaniach DECT, niemniej różnice między pozostałymi grupami (złogi niejednorodne, szczawiany) są relatywnie małe. Otrzymane wyniki pozwalają stwierdzić, że ta metoda nadaje się na rozróżnianie złogów moczanowych.
4. Pomiary Z_{eff} są najbardziej wiarygodne dla złogów jednorodnych, wykonuje się je umiejscawiając ROI w centrum złogu.
5. Dla złogów niejednorodnych można jedynie orientacyjnie przybliżyć skład (złogi składające się z wielu warstw jednorodnych).
6. Wykazano, że nie można oprzeć analizy składu chemicznego kamieni na podstawie wartości jednostek HU dla złogów przy energiach promieniowania 80 keV i 140 keV. Współczynnik korelacji rozkładu Pearsona między analizą chemiczną a wartościami jednostek HU wynosił odpowiednio $r = 0,41$ (przeciętny) i $r = 0,22$ (słaby)

Tomasz Kraśnicki

Assesment of Dual Energy Computed Tomography in identification and analysis of urinary tract stones chemical composition.

ABSTRACT

Introduction:

Urolithiasis is one of the most common urinary tract disease. It occurs between 3 and 5 decade of life, mostly in male population. Depending on the size and mainly due to the chemical composition of calculi decision about the treatment is made, which is carried out by: calling the spontaneous "birth" of urinary stones, pharmacological dissolving of stones, crushing using ultrasonic methods - lithotripsy ESWL, or surgical removal. Nowadays, diagnosis of renal stones is performed by ultrasound and X-ray, less often by urography or computed tomography. These methods do not allow to identify of the urinary stones type, but only its size, shape and location in the urinary tract. Dual-energy single - source computed tomography (DECT) is a new technique and involves the use of two beams of radiation of different energies (80 keV and 140 keV), which are recorded simultaneously on the specific detector. It allows to determine the Z_{eff} value of a material (effective atomic number) making it possible to provide information about the chemical composition.

Purpose:

The main purpose of the thesis is the analysis and assessment of identification method of urinary stones chemical composition performed on dual energy CT (and propose a clinical protocol for this method).

Material and Methods:

The study was carried out in 2011-2013 in the Department of General Radiology, Interventional and Neuroradiology at the Jan Mikulicz - Radecki University Clinical Hospital in cooperation with the Clinic of Urology and Urologic Oncology. Dual energy CT research was performed on a group of 42 concrements from patients aged 20 to 79 years who were diagnosed urolithiasis. The average age was 56 years. Majority of the group were stones from males 66.67% (28 cases, average age 58 years), from women was 33.33% of the group (14 cases, average age 50 years). The study was performed using dual energy CT Discovery 750HD CT for GE Healthcare, with 64 row detectors GEMSTONE, layer thickness of 0.625 / 1.25 mm. The Discovery 750HD CT is equipped with a lamp with kVp fast energy beam switching between 80 and 140 keV, so-called, "fast kVp switching". The study protocol was divided into two phases - the location and detection of stones low dose protocol and the main study protocol with targeted dual energy protocol with reduced exposure field (FOV = approx 5x5cm) due to minimizing the radiation dose. Before starting the experiment, the expected Z_{eff} value for most common types of urinary stones were calculated. Measurements were carried out for concrements derived from 42 patients which were placed each of them separately in specially constructed water phantom. The study was conducted using a dual energy protocol "GSI Renal Stones" with energy 80 keV and 140 keV, switched in intervals lasting 0.2 ms, chosen pitch 0.984: 1, layer thickness of 0.625 mm. The DICOM data files have been transferred from console operator stations to diagnostic stations AW4.6, where they were analyzed. For urinary stones HU units at energy 80 keV and 140 keV and Z_{eff} values were measured. The measurements were performed by selecting boundary and centrally ROI on the stones. The measurement was repeated to three different layers. Then the concrements were provided for laboratory analysis to determine the chemical composition by physico-

chemical methods. The laboratory analysis results were obtained for 40 patients. In order to assess the effectiveness of DECT method of urinary stones chemical composition identification, correlation analysis was performed by calculating Pearson correlation coefficient between HU units for two different energy levels, Z_{effD} values obtained experimentally by CT DECT and expected Z_{effT} values from chemical analysis. Also was performed an analysis of the ICC (intraclass correlation test) between groups of concrements in order to determine the differences based on the received values Z_{effD} .

Results:

According to the literature for the most common, pure and homogenous urinary stones, Z_{effT} values were calculated and then divided into five major groups: calcium oxalate (CaOx) = 13.64 Z_{eff} , calcium phosphates (CaPO_x) $Z_{\text{eff}} = 14.87$, magnesium ammonium phosphate (MgPO_x) $Z_{\text{eff}} = 10.13$, uric acid (UA) $Z_{\text{eff}} = 7.02$ and cystine (Cyst) $Z_{\text{eff}} = 11.10$. On the basis of physico-chemical analyzes the percentage composition of stones was calculated, for the studied group expected Z_{effT} values was calculated. Z_{effD} values obtained from dual energy CT examination for individual stones have shown convergence with the expected Z_{effT} values, in the case of homogeneous stones: CaO_x - 95%, UA - 100% CaPO_x - 100% Cyst - 50%. In case of heterogeneous stones it was: ($\text{CaO}_x + \text{CaPO}_x$) - 71%, ($\text{CaO}_x + \text{CaPO}_x + \text{MgPO}_x$) - 40%, ($\text{CaO}_x + \text{UA}$) - 67%, ($\text{CaO}_x + \text{MgPO}_x$) - 100%. Z_{effD} value were correlated with the chemical analysis. The correlation coefficient was $r = 0.60$ at the significance level of $p < 0.001$ which means a high correlation.

Due to the similar Z_{eff} values of all studied deposits, $Z_{\text{effD}} \in (7; 16)$, an analysis of compliance with the intraclass correlation tests were performed to demonstrate the differences between groups of stones. Due to small number of the homogeneous stones for Cyst, UA, CaPO_x and ($\text{CaO}_x + \text{MgPO}_x$), analysis was performed only for a part of the group. It was demonstrated that there is no statistically significant differences between Z_{effD} values of groups of deposits, which were included in the study, in other words a factor ICC a value close to zero, which indicates a very low correlation.

In the study also examined the possibility of assessing the chemical composition of concrements by CT Hounsfield units value. The HU values data was collected for the 80 keV and 140 keV and correlated with the chemical analysis. For HU units correlation coefficient was as follows: average ($r = 0.41$, $p < 0.009$) for 80 keV and weak ($r = 0.22$, $p < 0.164$) for 140 keV.

Conclusion:

Based on the study the following conclusions were made:

1. DECT analysis of the urinary stones has provided usefulness in identifying their chemical composition.
2. There is correlation between the chemical composition of the urinary stones and the values Z_{effD} . Pearson correlation coefficient was $r = 0.60$.
3. Z_{eff} analysis shown that uric acid stones significantly differ from other groups of calculi; differences between the other groups (heterogeneous concrements, oxalate stones) are relatively small. The results allow to conclude that method is suitable to distinguish uric acid stones.
4. Z_{eff} measurements are the most reliable for homogenous concrements, by placing ROI in the center of the urinary stone.
5. For non-homogenous concrements chemical composition can be only identified tentatively (stones consisting of multiple homogeneous layers).
6. It has been shown that urinary tract stones can't be identified and distinguished by using HU values method at diagnostic energies of X-ray during CT examination. Pearson's

correlation coefficient between chemical analysis and the HU values was $r = 0.41$ (average) for 80 keV X-ray beam energy and $r = 0.22$ (weak) for 140 keV X-ray beam energy.