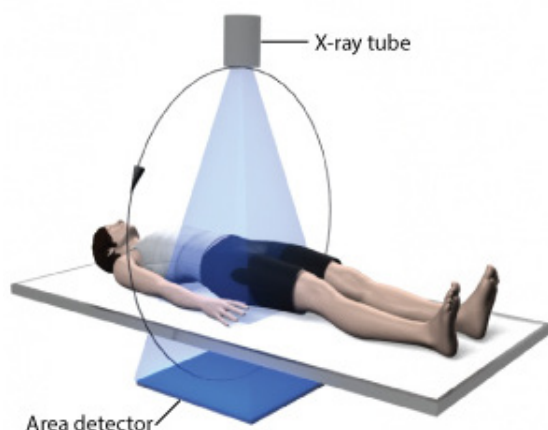


Zalety obrazowania metodą wolumetrycznej tomografii stożkowej w badaniach ortopedycznych kończyn

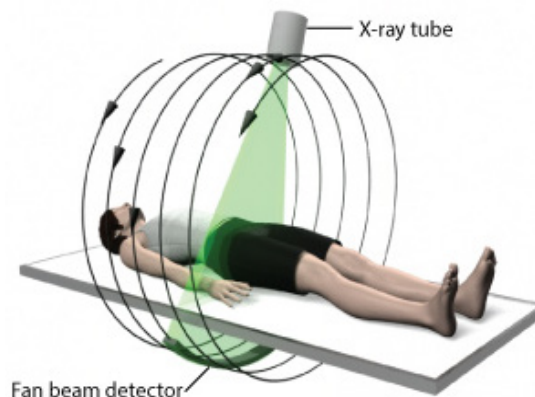
Obrazowanie kończyn metodą tomografii stożkowej

Tomografia komputerowa wiązką stożkową (CBCT) stanowi odmianę tradycyjnej tomografii komputerowej (TK) i po raz pierwszy została opisana pod koniec lat 70-tych XX wieku. Główna różnica pomiędzy tymi dwiema metodami polega na objętości jednorazowo obrazowanego obiektu. W tradycyjnej TK obrazowany jest jedynie wąski wycinek ciała pacjenta z użyciem „wachlarzowej” wiązki promieni rtg. W celu zobrazowania szerokiego zakresu struktur anatomicznych za pomocą TK konieczne jest wielokrotne skanowanie pacjenta za pomocą obracającego się wachlarza promieni rtg. W badaniu CBCT natomiast podczas jednego obrotu detektor wielkopowierzchniowy rejestruje szeroki obszar struktur anatomicznych pacjenta. (Patrz Rysunek 1).

Rysunek 1: Porównanie obrazowania metodą tomografii stożkowej i tradycyjnej tomografii komputerowej



Obrazowanie metodą CBCT: Podczas jednego obrotu detektor wielkopowierzchniowy rejestruje szeroki obszar struktur anatomicznych pacjenta.



Obrazowanie tradycyjną metodą TK: Obrazowany jest wąski wycinek ciała pacjenta z użyciem „wachlarzowej” wiązki promieni rtg i wielu obrotów.

W tradycyjnej rekonstrukcji TK rozdzielczość przestrzenna w kierunku osi Z (rozdzielczość przestrzenna w kierunku ruchu pacjenta) jest określana przez szybkość przechodzenia wachlarza promieni rtg przez ciało pacjenta w połączeniu z szybkością obrotu źródła promieniowania rtg wokół pacjenta. W kierunku osi Z (tj. w projekcjach strzałkowych i czołowych) rozdzielczość tradycyjnej TK jest na ogół niższa niż w prostopadłej projekcji X-Y (tj. w projekcji osiowej).

Należy porównać ten skomplikowany system obrazowania z metodą CBCT, która oferuje system o uproszczonej budowie. Przy CBCT nie ma potrzeby stosowania techniki pierścieni ślizgowych (ang. slip ring) o dużej prędkości. CBCT pozwala także uzyskać rekonstrukcję objętości o izotropowej rozdzielczości przestrzennej we wszystkich trzech kierunkach.

Rysunek 2 przedstawia obraz kolana z preparatu ludzkiego uzyskany za pomocą badanego systemu CBCT opracowywanego przez firmę Carestream Health oraz obraz tej samej próbki zarejestrowany przy użyciu standardowej TK. Można zauważyć różnicę w rozdzielczości przestrzennej przy zastosowaniu systemu zaprojektowanego specjalnie na potrzeby obrazowania kończyn.

Biała księga | Obrazowanie za pomocą tomografii stożkowej (CBCT)

Rysunek 2: Obraz CBCT stawu piszczelowo-udowego na preparacie ludzkim (po lewej) oraz odpowiadający mu obraz MDCT tej samej próbki (po prawej)



Dopiero od niedawna możliwe jest praktyczne wykorzystanie metody CBCT dzięki wprowadzeniu wielkopowierzchniowych cyfrowych detektorów rtg o dużej prędkości, takich jak detektory płaskopanelowe zbudowane na podstawie amorficznego krzemu. Dzięki takim cechom, jak duża powierzchnia, doskonała jakość obrazu, wysoka rozdzielczość i szybki odczyt, detektory te umożliwiły opracowanie szeregu specjalistycznych systemów obrazowania wolumetrycznego. Zostały one zaprojektowane pod kątem konkretnych obszarów zastosowania, takich jak obrazowanie stomatologiczne, laryngologiczne i obrazowanie piersi, oraz systemów radioterapii i zastosowań śródoperacyjnych pod kontrolą obrazu. Firma Carestream obecnie bada możliwość zastosowania tej technologii specjalnie w obrazowaniu kończyn i prowadzi prace badawcze we współpracy z Uniwersytetem Johna Hopkinsa oraz UBMD Orthopaedics & Sports Medicine.

Proces generowania wolumetrycznych obrazów TK składa się z dwóch różnych etapów: akwizycji obrazu oraz rekonstrukcji objętości.

Będący w fazie badań system CBCT firmy Carestream przedstawiony w tym dokumencie został opracowany z myślą o obrazowaniu kończyn (dłoni/nadgarstków, łokci, kolan, stóp/kostek) i wykorzystuje wiele unikatowych możliwości związanych z akwizycją danych i rekonstrukcją objętości. W dokumencie tym podkreślono niektóre z charakterystycznych funkcji systemów obrazowania CBCT dla konkretnych zastosowań.

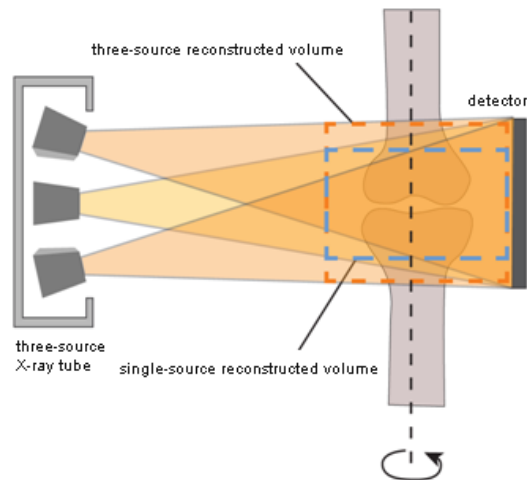
Akwizycja obrazów

System opisany w tym dokumencie wykorzystuje detektor płaskopanelowy o wysokiej wydajności oraz unikatowy projekt lampy RTG o trzech źródłach¹. Detektor ten umożliwia szybką akwizycję projekcji RTG, co pomaga zminimalizować negatywny wpływ ruchu pacjenta na obraz. Wyposażona w trzy źródła lampa RTG została zaprojektowana w celu zmniejszenia znanego artefaktu „wiązki stożkowej”, który zwykle pojawia się w rekonstrukcjach CBCT o dużej objętości. Taka konstrukcja lampy znacznie zwiększyła objętość rekonstrukcji w stosunku do obrazu najczęściej uzyskiwanego przy użyciu

Biała księga | Obrazowanie za pomocą tomografii stożkowej (CBCT)

tradycyjnej akwizycji z jednego źródła.
(Patrz Rysunek 3).

Rysunek 3: Konfiguracja z trzema źródłami a konfiguracja z jednym źródłem — porównanie



Powyższy rysunek przedstawia dodatkową objętość rekonstrukcji w osi Z uzyskaną z użyciem konfiguracji z trzema źródłami. (Lewy rysunek: jedno źródło, prawy rysunek: trzy źródła).

Niedocenianą zaletą wielu systemów CBCT jest usprawniona praca z pacjentem. Jednym z kluczowych aspektów wziętych pod uwagę podczas pracy nad opisywanym tu prototypowym systemem firmy Carestream było opracowanie optymalnego wejścia do obszaru obrazującego. Zastrzeżona konstrukcja wejścia („drzwiczki dla pacjenta”) umożliwia łatwe ułożenie pacjenta zarówno w pozycji stojącej, jak i siedzącej. Konstrukcja ta pozwala ponadto na uzyskanie obrazu jednego kolana, stopy lub kostki w naturalnym położeniu z obciążeniem. Obecnie prowadzi

się badania nad dokładniejszym wyznaczeniem względnego położenia i orientacji kości stopy, kostki i kolana w realistycznych warunkach obciążeniowych. Rysunek 4 przedstawia przykładowe obrazy z urządzenia badanego, porównując skany stawu skokowego pacjenta bez obciążenia ze skanami z obciążeniem, aby uwidocznic zwężenie stawu piszczelowo-skokowego.

Obrazowanie jednorazowo tylko jednej kończyny zmniejsza również ekspozycję pacjenta do poziomu poniżej typowych dawek związanych z tradycyjnymi systemami TK. (Patrz Rysunek 5). Ponadto wiele ostatnich publikacji wskazuje, że typowy zakres dawek stosowanych w systemach CBCT (CTDIvol na poziomie ~5–10 mGy) jest na ogół niższy od dawek stosowanych w TK (CTDIvol ~20–50 mGy).^{2,3}

Rysunek 4: Porównanie obrazu stopy nieobciążonej i obciążonej



Naturalna konfiguracja z obciążeniem umożliwia dokładniejsze określenie względnego położenia i orientacji kości stopy, kostki i kolana w realistycznych warunkach obciążeniowych.

Biała księga | Obrazowanie za pomocą tomografii stożkowej (CBCT)

Rysunek 5 pokazuje dwa z etapów pozycjonowania pacjenta, przez otwierane drzwiczki, do obrazowania prawego kolana w pozycji stojącej.



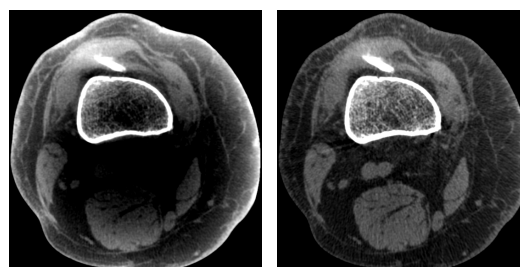
Rysunek 5 przedstawia pacjenta tuż przed wprowadzeniem go do obszaru obrazującego przez otwarte drzwiczki (górne zdjęcie) oraz po zamknięciu drzwiczek (dolne zdjęcie). Widoczne na górnym zdjęciu akcesoria ułatwiające pozycjonowanie pomagają zminimalizować ruch pacjenta podczas skanowania.

Rekonstrukcja objętości

Wygenerowanie wysokiej jakości zrekonstruowanej objętości 3D w systemie tomografii stożkowej wymaga kilku korekt. Z uwagi na zwiększoną objętość obrazowanych jednocześnie struktur w CBCT rozproszenie promieni RTG odgrywa ważniejszą rolę niż w tradycyjnej TK. System badany wyposażono w funkcję korekty efektu rozproszenia promieniowania, której przeznaczeniem jest usunięcie większości efektów rozproszenia ze

zrekonstruowanych objętości. (Patrz Rysunek 6).

Rysunek 6: Korekta rozproszenia



Celem prototypowej funkcji korekty rozproszenia jest usunięcie rozproszenia ze zrekonstruowanych objętości.

Biała księga | Obrazowanie za pomocą tomografii stożkowej (CBCT)

Jak w tradycyjnej TK obecność obiektów silnie osłabiających promieniowanie, takich jak implanty metalowe, może poważnie ograniczyć użyteczność kliniczną zrekonstruowanej objętości. W systemie badanym zastosowano zastrzeżoną metodę redukcji artefaktów spowodowanych obecnością metalu (ang. Metal Artifact Reduction, MAR) w celu poprawy widoczności struktur anatomicznych pacjenta położonych obok metalowych elementów. (Patrz Rysunek 7).

Rysunek 7: Korekta artefaktów spowodowanych obecnością metalu

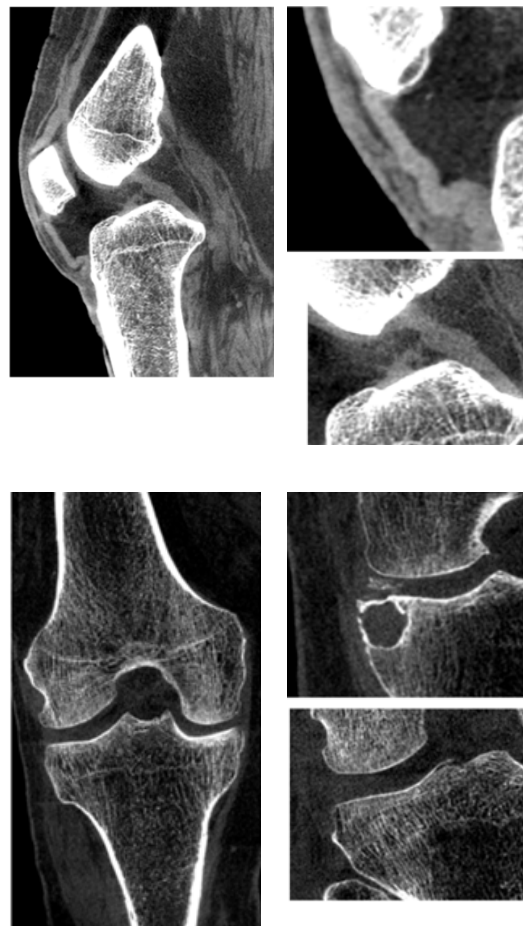


To zdjęcie przedstawia wpływ, jaki zastrzeżona metoda redukcji artefaktów spowodowanych obecnością metalu stosowana w badanym aparacie firmy Carestream wywarła na widoczność struktur anatomicznych pacjenta położonych wokół metalowych elementów.

Dotychczas najpopularniejszą metodą rekonstrukcji objętości była konwencjonalna filtrowana projekcja wsteczna (FBP). W przypadku tej metody przy tworzeniu rekonstrukcji zawsze konieczne jest zastosowanie kilku upraszczających przybliżeń. Przybliżenia te mogą obniżyć jakość obrazu końcowego. Coraz większą popularność zyskują bardziej zaawansowane metody rekonstrukcji, łącznie nazywane rekonstrukcjami iteracyjnymi, oparte na innej metodzie matematycznej. Przy połączeniu odpowiednio skorygowanych danych CBCT z możliwościami najnowocześniejszych technik rekonstrukcji jakość obrazów wynikowych często przekracza standard osiągany za pomocą protokółów akwizycji TK i rekonstrukcji szeroko stosowanych obecnie w środowisku obrazowania medycznego^{2,4}.

Rysunek 8 przedstawia przykład jakości obrazu CBCT uzyskanego przy skanowaniu kolana z obciążeniem. Rysunek ten przedstawia obrazy zarówno kości, jak i tkanek miękkich uchwycone podczas badań wykonywanych z użyciem badanego aparatu CBCT firmy Carestream.

Rysunek 8: Możliwości techniki CBCT w zakresie obrazowania kości i tkanek miękkich



Rysunek 8 przedstawia obrazy zarówno kości, jak i tkanek miękkich uchwycone podczas badań wykonywanych z użyciem badanego aparatu CBCT firmy Carestream.

Biała księga | Obrazowanie za pomocą tomografii stożkowej (CBCT)

Wniosek

Nadejście ery systemów obrazowania CBCT przeznaczonych do unikalnych zastosowań powiązanych z różnymi specjalizacjami klinicznymi stanowi bardzo obiecującą perspektywę. Systemy tego typu mogą rozszerzyć zastosowanie trójwymiarowego obrazowania wysokiej jakości na znacznie większą populację niż populacja obsługiwana dotychczas przez tradycyjne tomografy komputerowe. Obrazowanie wolumetryczne w niestandardowych lokalizacjach wymaga połączenia takich czynników, jak niewielki rozmiar, zoptymalizowany przepływ pacjentów, obrazowanie z obciążeniem i najnowocześniejsze metody rekonstrukcji z zaawansowanymi funkcjami korekty rozproszenia i redukcji artefaktów spowodowanych obecnością metalowych elementów — wszystko to sprawia, że system

CBCT znakomicie nadaje się do użytku bezpośredniego w miejscu leczenia.

Firma Carestream Health od wielu lat jest obecna na rynku systemów do obrazowania wolumetrycznego wiązką stożkową. Zdobyta w tym czasie wiedzę wnosi teraz do dziedziny ortopedycznego obrazowania kończyn. Poprzez prowadzone badania firma Carestream stale rozwija nowatorskie funkcje specyficzne dla obrazowania 3D kończyn w przychodniach ortopedycznych, ośrodkach leczenia urazów i obiektach medycyny sportowej, a także w szpitalnych oddziałach radiologicznych i ratunkowych. Rysunek 9 przedstawia wybór obrazów z modelowaniem powierzchniowym uzyskanych z użyciem aparatów badanych firmy Carestream, które pokazują zakres struktur anatomicznych, jakie jest w stanie zobrazować ten nowy aparat.

Rysunek 9: Obrazy 3D z modelowaniem powierzchniowym



Piśmiennictwo

- (1) Zbijewski. et.al. "Dual-energy Imaging of Bone Marrow Edema on a Dedicated Multi-Source Cone-Beam CT System for the Extremities," SPIE Physics of Medical Imaging (2015) 94120V-1 to 6
- (2) Carrino et.al. "Dedicated Cone-Beam CT System for Extremity Imaging," Radiology (2013) 270(3) 816-824
- (3) Koivisto et.al. "Assessment of Effective Radiation Dose of an Extremity CBCT, MSCT and Conventional X-ray for Knee Area Using MOSFET Dosimeters," Radiat. Prot. Dosim. (2013) 157(4) 515-524
- (4) Demehri et.al. "Assessment of Image Quality in Soft Tissue and Bone Visualization Tasks for a Dedicated Extremity Cone-beam CT System," European Radiology (2015) 25(6) 1742-1751