

SLAJDY 2,3,4:

1. Zarys historyczny tomografii

Pierwszy tomograf, tzw. EMI scanner, został zbudowany przez Godfreya Hounsfielda, z brytyjskiej firmy EMI Ltd. I tu ciekawostka – to jest ta sama firma EMI, która jest teraz potęgą, jeśli chodzi o wytwórnictwo płytowe. Do nich należy m.in. Abbey Road Studio.

Podstawy matematyczne tego wynalazku są zasługą austriackiego matematyka Johanna Radona. W 1917 udowodnił on, że obraz dwu- i trójwymiarowego obiektu można odtworzyć w sposób zupełny z nieskończonej ilości rzutów tego przedmiotu.

Pierwszy tomograf zainstalowano w szpitalu Atkinson Morley Hospital, w londyńskim Wimbledonie. Pierwszy pacjent został tam przebadany w 1971[1]. W Stanach Zjednoczonych sprzedawano go w cenie 390 000 USD, a pierwszy zamontowano w 1973 w Mayo Clinic i Massachusetts General Hospital.

Hounsfield i Cormack otrzymali w 1979 Nagrodę Nobla za wynalezienie i budowę tomografu komputerowego.

Cormack opracował teoretycznych podwalin dla tomografii komputerowej. Rezultaty jego pracy zostały później opublikowane w dwóch referatach w „Journal of Applied Physics” w 1963 i 1964. Wspomniane referaty wzbudziły niewielkie zainteresowanie dopóki Godfrey Hounsfield wraz z kolegami nie zbudował pierwszego tomografu komputerowego w 1972, biorąc pod uwagę teoretyczne wyliczenia Cormacka. Za ich niezależny wkład, Cormack i Hounsfield zostali uhonorowani Nagrodą Nobla w dziedzinie fizjologii i medycyny w 1979.

SLAJD 5:

2. Podstawy fizyczne

Lampa rentgenowska – zasada działania: Wysokie napięcie przyłożone do elektrod przyspiesza dodatnie jony (jonowa lampa rentgenowska) lub elektrony odrywające się z katody (elektronowa lampa rentgenowska). Cząstki te, bombardując elektrodę (katodę w lampie jonowej lub anodę w lampie elektronowej), emitują promieniowanie hamowania, będące strumieniem kwantów promieniowania X o ciągłym widmie energetycznym.

Włókno katody ma średnie 200 μm i rozgrzewa się do 2200°C. W środku lampy panuje próżnia rzędu 1 nb, a ok. 98% energii kinetycznej elektronów jest zamieniana na ciepło, dlatego potrzebny jest system chłodzenia.

Prąd lampy – prąd elektronów płynących od katody do anody.

Moc lampy – iloczyn prądu lampy i napięcia przyspieszającego. Efektywna moc lampy zależy od próżni – mniejsza próżnia powoduje, że mniej elektronów dociera do anody oraz że docierające do anody elektrony mają mniejszą średnią energię kinetyczną.

Nateżenie promieniowania – zdefiniowane jako moc promieniowania na jednostkę powierzchni i zależy od liczby fotonów (która zależy od prądu lampy) oraz od energii wiązki, która zależy od napięcia przyspieszającego.

SLAJD 6,7:

Zasada działania i medycznego (klasycznego) tomografu i laboratoryjnego uCT jest taka sama. Różna jest tylko geometria umieszczenia próbek (ew. człowieka). W klasycznym CT (IV generacji) mamy miejsce na próbkę (człowieka) – nieruchome. Wykorzystuje się wachlarzową wiązkę promieniowania (obejmującą całościowo pacjenta), lampę rentgenowską, która obraca się wokół pacjenta oraz pierścien nieruchomych detektorów.

W przypadku uCT geometria jest następująca: mamy lampę rentgenowską, detektor w postaci panelów Flat Panel Detectors FPD oraz próbkę, która jest umieszczona w stałej pozycji zarówno od lampy jak i detektora. Próbka ta rotuje wokół osi y. Pomiar polega na rejestracji dwuwymiarowych projekcji rentgenowskich obiektu przy jego obrocie o co najmniej 180 stopni.

Kolejnym etapem, po dokonaniu pomiaru, jest rekonstrukcja.

SLAJD 8:

3. Zasada działania – rekonstrukcja obrazu

Rekonstrukcja to proces odwzorowania wnętrza próbki jako superpozycji zarejestrowanych projekcji dwuwymiarowych. Jest to proces matematyczny oparty na prawie Lamberta-Beera dla materiałów złożonych. Strumień danych z detektorów zawiera informacje na temat pochłaniania promieniowania przez poszczególne tkanki (elementy składowe obiektu).

Z prawa Lamberta-Beera znane dla nas są (możliwe do pomiaru): natężenie promieniowania padającego i natężenie promieniowania po przejściu przez próbkę i aby poznać jak wyglądają poszczególne współczynniki osłabienia w badanym materiale, trzeba zastosować transformatę Radona. Jakość rekonstrukcji zależy od tego jak dokładnie obiekt jest próbkowany, jaki jest SNR.

SLAJD 9:

4. Geometria pomiaru

W praktyce istotna jest geometria pomiaru. Definiuje się następujące parametry:

- rozmiar piksela, która jest stały,
- rozmiar woksela po rekonstrukcji jest zależy od powiększenia, które z kolei jest stosunek FDD/FOD oraz od rozmiaru piksela,
- focal spot, czyli rozmiar plamki będącej źródłem promieniowania rentgenowskiego, nie jest punktem (jakby było przy idealizacji), lecz posiada pewne liniowe wymiary, dlatego pojawia się półcień (penumbra). Ustalenie rozmiaru focal spot ma istotne znaczenie dla pomiarów.

SLAJD 10, 11, 12, 13:

5. Etapy pomiaru

1. Kalibracja offsetu – przy wyłączonej lampie pojawia nam się i tak jakaś czarna klatka, związana z szumami aparaturami i prądem ciemnym, dlatego, aby się pozbyć tego „tła” to wykonuje się parę pomiarów (ok. 100) przy wyłączonej lampie, a następnie taką otrzymaną „czarną klatkę” odejmuje się od uzyskiwanych obrazów.

2. Adjustowanie włókna – katoda z każdym pomiarem się zużywa, więc maleje jej szerokość (maleje pole przekroju), a zatem rośnie opór (ze wzorku $R=rho l/s$) – należy dobrać odpowiednie napięcie do stanu katody.

3. Centrowanie układu magnetycznego – chcemy maksymalne natężenie w środku detektora.

4. Kalibracja wzmocnienia – uwzględnienie różnicy w pikselach poszczególnych i ujednoczenie warunków pomiarowych.

SLAJD 14:

6. Przygotowanie próbki

Wymagania co do przygotowania próbki są związane z parametrami aparaturowymi, ale także konieczne, w celu uniknięcia różnego rodzaju artefaktów.

Wymagania:

- niewielkie rozmiary próbek – rzędu kilku cm – związane z wielkością aparatury,
- alternatywa dla analizy morfometrycznej,
- próbki biologiczne muszą być zabezpieczone przed wysychaniem – zmiany wilgotności próbki w czasie pomiarów powodują powstanie artefaktów na obrazie,
- istotne jest stabilne mocowanie próbki – uniknięcie artefaktów, zadbanie o to, by nie doszło do grawitacyjnego przemieszczania się fragmentów próbki
- wykonywanie kalibracji osi obrotu układu mechanicznego – wymagane aby uniknąć artefaktów związanych z niedoskonałością poruszania próbką. Oś obrotu może ulegać lekkiej precesji, a sama próbka przy pomiarze może się delikatnie oddalić lub przybliżyć.

SLAJD 15:

7. Zalety i wady metody

Zalety:

- badanie niedestrukcyjne,
- możliwość pomiaru struktur z dużą zdolnością rozdzielczą,
- alternatywa dla analizy morfometrycznej (np. kości beleczkowych, kosteczek słuchowych)
- koszty,
- dostępność.

Wady:

- liczne artefakty,
- w przypadku próbek biologicznych bardzo ważna jest ich preparatyka,
- istotne jest odpowiednie mocowanie i zabezpieczenie próbki w czasie pomiarów.

SLAJD 16,17,18,19:

8. Zastosowania

- Medycyna, stomatologia
 - obrazowanie tkanek i organów
- Weterynaria, Nauki biologiczne
 - obrazowanie małych zwierząt
- Analiza przemysłowa, badania materiałowe
 - badanie struktury odlewów, jakości montażu podzespołów oraz struktur elektronicznych, wykrywanie nieciągłości materiału
 - obrazowanie i analiza implantów, pianek metalicznych,
- Geologia
 - analiza porowatości i budowy fazowej skał,
- Archeologia i antropologia

- badanie mumii egipskich, rzeźb Buddy, urn kremacyjnych-popielnic (nie niszcząc sprawdzamy wnętrza – szczątki ludzkie)
- Przemysł spożywczy
 - analiza produktów żywnościowych, do oszacowania zawartości poszczególnych składników żywności, a także uzyskania informacji na temat ich rozmieszczenia

Typowe obszary zastosowania uCT

- Defektoskopia/defektografia
 - rodzaje uszkodzeń bez niszczenia próbki (metoda nieinwazyjna)
 - możliwość sprawdzania uszkodzeń bez zmiany stanu układu w jakim zaszyły
 - kontrola jakości
 - możliwość zmiany procedury pomiarów „na żywo”
- Mechanika, inżynieria materiałowa
 - analiza porowatości odlewów a także zawartości bąbelków powietrza
 - badanie mikropęknięć
 - analiza zużycia elementów
 - badanie spoin i ich niedoskonałości (łączenia)
- Przemysł elektroniczny <- główny odbiorca uCT
 - np. nieniszczące badanie czy się wszystko dobrze przylutowało
- Inżynieria procesowa
 - procesy: krzepnięcia, wytrącania, w fazie gazowej
 - formowanie plastyczne
 - pakowanie cząstek i spiekanie
 - badanie zmiany objętości części stałej
 - rozłożenie drobin w procesie utwardzania (badanie rozkładu sił oddziaływań)
- Metrologia
 - detekcja krawędzi
 - pomiary średnic
 - problem obiektów wielofazowych (wielomateriałowych)

SLAJD 20,21:

9. Zastosowania – stomatologia
Porównanie obrazowania mikro-CT i histologii do wykrywania próchnicy

Czemu mikro-CT zamiast/lub badania histologicznego?

- mniejsza inwazyjność,
- badanie histologiczne powoduje odpryski i złamania zęba,
- uniezależnienie od klasyfikacji przebarwień spowodowanych np. kawą jako próchnicy,
- szybsze przygotowanie próbki.

SLAJD 22:

Skąd niezgodności uzyskanych wyników?

- artefakty z mikro-CT,

- przebarwienia pochodzące np. od kawy, papierosów,
- różne możliwości obserwatorów,
- zastosowana energia promieniowania.

SLAJD 23:

Wnioski:

- bardzo wysoka korelacja między mikro-CT a histologią: 0,80 ($p < 0,0001$),
- mikro-CT osiągnęło wyższy stopień zgodności między pacjentami niż histologia,
- mikro-CT podlega ograniczeniom w postaci artefaktów,
- mikro-CT może być stosowane w miejsce lub jako równoważna technika wykrywania próchnicy.

SLAJD 24:

uCT pozwala dorosłym w sercu wciąż pozostać dzieckiem.

Rysunek: Kapelusz – wąż boa zjadający słońca

SLAJD 25:

Bibliografia

<http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-d870ce86-e2d8-49eb-a7ed-ab577e49bbcd>

http://journals.bg.agh.edu.pl/GEOLOGIA/2009-02-1/Geologia_2009_2-1_72.pdf

http://abid.cobrabid.pl/download.php?ma_id=2047