

SYGNAŁY I OBRAZY MEDYCZNE

Informatyka w Medycynie, 2017-2018

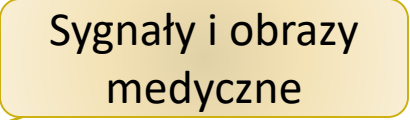
Literatura dodatkowa

- O.S. Pianykh: *Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM). A Practical Introduction and Survival Guide*. Springer, 2008.
- <http://www.cs.put.poznan.pl/kkrawiec/wiki/?n=Zajecia.InformatykaWMedycynie>

SYGNAŁY MEDYCZNE

Sygnały medyczne

Sygnały i obrazy medyczne



- Analiza sygnałów medycznych usprawnia (i poprawia) proces diagnostyczny
- Przetwarzanie sygnałów medycznych to jeden z najszybciej rozwijających się działów informatyki medycznej

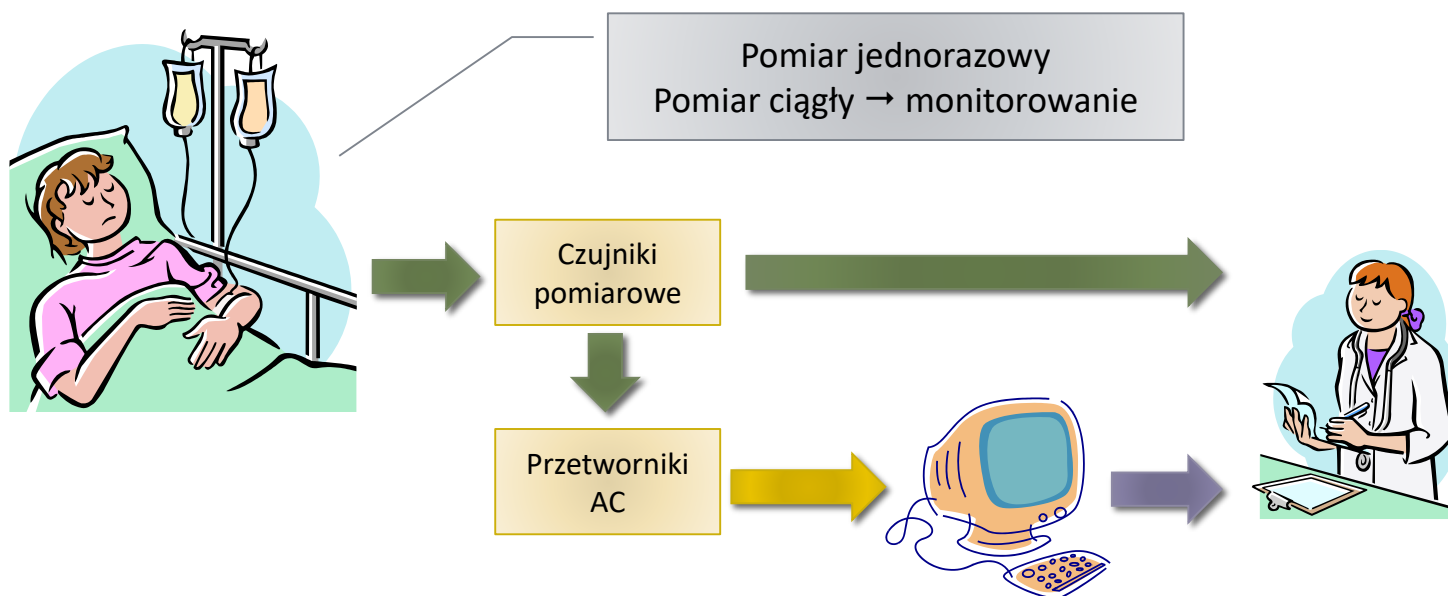
Ocena (obiektywna) stanu zdrowia pacjenta, również nieprzytomnego

- znane standardy sygnałów dla zdrowego pacjenta
- różnice między sygnałami pozwalają na wykrycie choroby, jej zdiagnozowanie oraz wskazanie źródła/lokalizacji

Typy sygnałów medycznych

Typ sygnału	Przykład badania
Mechaniczny	Rejestracja: <ul style="list-style-type: none">▪ ciśnienia krwi▪ ruchów oddechowych▪ ruchów organizmu▪ siły wywieranej przez kończyny▪ przepływu płynów i gazów
Elektryczny	Rejestracja sygnału odwzorowującego pracę: <ul style="list-style-type: none">▪ serca (→ elektrokardiogram)▪ mózgu (→ elektroencefalogram)▪ mięśni (→ elektromiogram)
Magnetyczny	magnetokardiografia
Chemiczny	<ul style="list-style-type: none">▪ rejestracja zmian stężeń hormonów we krwi▪ inne analizy laboratoryjne
Akustyczne	<ul style="list-style-type: none">▪ badanie słuchu▪ rejestracja mowy
Ciepłne	pomiar temperatury ciała

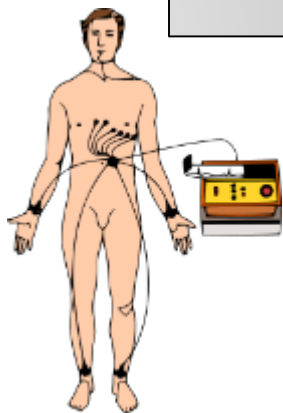
Pomiar sygnału



Sygnaly (bio)elektryczne

- „Zastępniki” sygnałów, które są zbyt trudne, kłopotliwe lub niebezpieczne do pozyskania
- Bardzo dobrze opanowane techniki pomiarowe
- Po odpowiedniej obróbce mogą być dobrym przybliżeniem wymaganego sygnału

EKG (pomiar elektrycznej aktywności serca) zamiast cewnikowania serca w celu pomiaru ciśnienia, objętości pompowanej krwi, ...



Standard Communication Protocol for Electrocardiography (SCP-ECG)

- Standard dla zapisu (w tym kompresji) i wymiany sygnałów EKG między urządzeniami i systemami medycznymi
- Opracowany w ramach projektu europejskiego *Advanced Informatics in Medicine* (1989-91) i zaakceptowany jako standard CEN/TC 251 (2000)
- Standard używany, ale już nie rozwijany – zbyt duża elastyczność, ograniczone możliwości stosowania (zapis 60-sekundowy – wykluczone badania metodą Holtera)

Inne standardy dla zapisu EKG

- Dostępnych jest wiele standardów (9+), proponowanych zarówno przez ośrodki naukowe, jak i producentów sprzętu (Philips-XML)
- Najbardziej popularne to
 - SPC-ECG
 - DICOM ECG
 - format binarny
 - nowe obiekty pozwalające na zapis sygnałów
 - możliwość łączenia informacji sygnałowej i obrazowej (np. EKG i angiogram)
 - ograniczona akceptacja wśród producentów sprzętu
 - HL7 aECG
 - format XML
 - przygotowany przede wszystkim dla wymiany danych zebranych w testach klinicznych (leków)
 - teoretycznie czytelny, ale złożony schemat
 - narzut pamięciowy (500kB odpowiada 20KB w formatach binarnych)

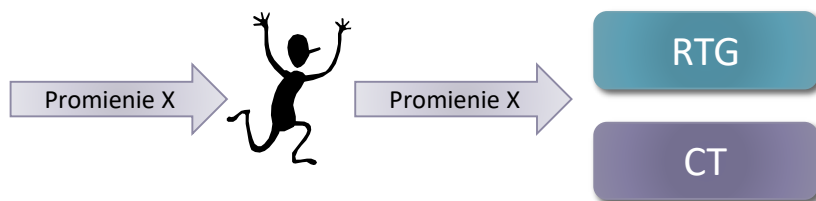
OBRAZY MEDYCZNE

Obrazowanie medyczne

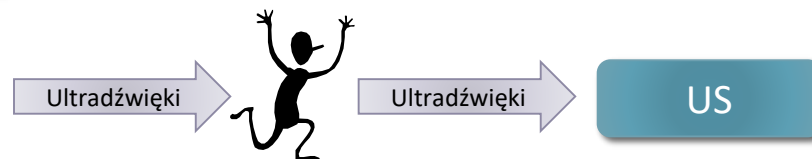
- Obrazowanie strukturalne (morfologiczne)
 - jak zbudowany jest narząd?
 - jak narząd został zmieniony przez chorobę?
 - gdzie jest zlokalizowany narząd i ognisko choroby?
- Obrazowanie funkcjonalne/czynnościowe
 - jak narząd pracuje?

Pozyskiwanie obrazów medycznych

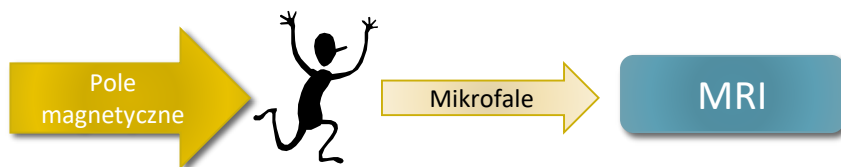
Rentgenografia (RTG) i tomografia komputerowa (CT)



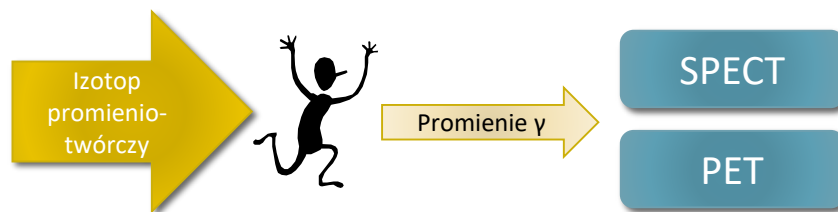
Ultrasonografia (US)



Magnetyczny rezonans jądrowy (MRI)



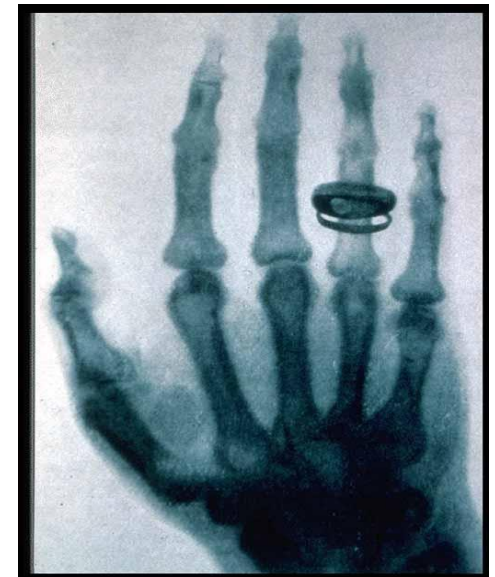
Tomografia emisyjna pojedynczych fotonów (SPECT) i pozytonowa (PET)



RTG

Rentgenografia

- Historia
 - 1895 (Roentgen) → odkrycie promieni X
 - 1901 → nagroda Nobla z fizyki dla Roentgena
- Obrazy otrzymywane przez projekcję wiązki promieniowania X przez ciało pacjenta na błonę filmową
- Zalety – bardzo wysoka rozdzielczość
- Wady – promieniowanie jonizujące (szkodliwe dla pacjenta)



RTG

Charakterystyka

- Obraz rentgenowski to *cień* → *shadowgraph*
- Różne intensywności *cienia* wynikają z różnego pochłaniania promieniowania przez tkanki
- Szczególnie wysoki współczynnik pochłaniania dla tkanki kostnej

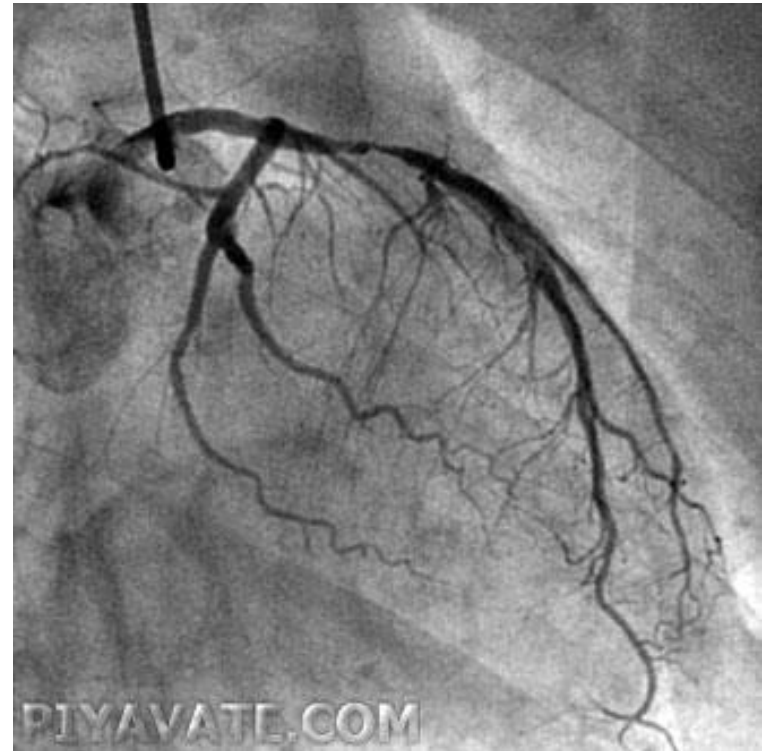


RTG

Badania kontrastowe

- Nakładanie się różnych struktur w obrazie – utrata czytelności
- Radiologia kontrastowa \Rightarrow użycie materiałów nieprzejrzystych dla promieniowania X

Pierwsze eksperymenty już w 1902,
klinicznie pierwsza angiografia w 1923



RTG

Radiografia cyfrowa

- Początki: lata 80-te XX wieku
- Idea: zastąpienie błony filmowej detektorami promieniowania X (flat panel detectors, FPD)
 - *Pośrednie* → promienie X powodują fluorescencję (płyta fosforowa), mierzoną następnie np. przetwornikiem CCD
 - *Bezpośrednie* → promienie X powodują kumulację ładunku elektrycznego (płyta selenowa lub silikonowa)
- Zalety
 - Większa czułość – możliwość uzyskania takiej samej lub lepszej jakości obrazu przy mniejszym napromieniowaniu pacjenta
 - Możliwość manipulowania otrzymanymi obrazami (np. polepszanie jakości, dopasowanie wysycenia)
 - Łatwiejsza archiwizacja i dostęp do obrazów

CT

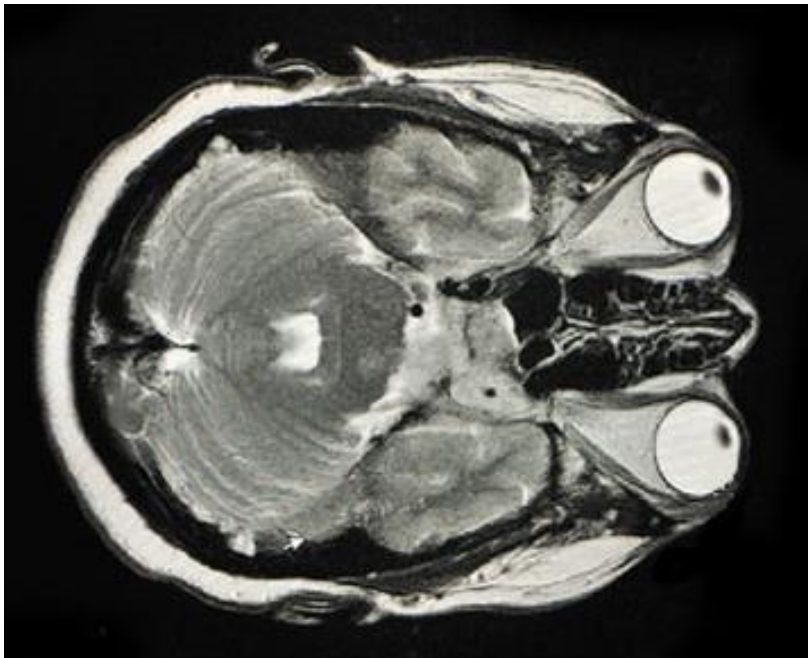
Tomografia komputerowa

- Badanie transmisyjne (podobnie jak RTG)
- Obracanie „wachlarza” wiązek promieni X wokół pacjenta
 - uzyskane obrazy są „zamazane”, struktury nakładają się
 - konieczność dokonania rekonstrukcji z wielu projekcji (180)
- Matematyczna rekonstrukcja na podstawie osłabień (*attenuation*) promieniowania przy różnych kątach projekcji
- W porównaniu do badania RTG
 - przekroje (plastry) ciała pacjenta
 - lepszy kontrast

gr. *tom* – odcinek; część; instrument do cięcia
gr. *tomòs* – cięty; tnący; podzielony na segmenty

CT

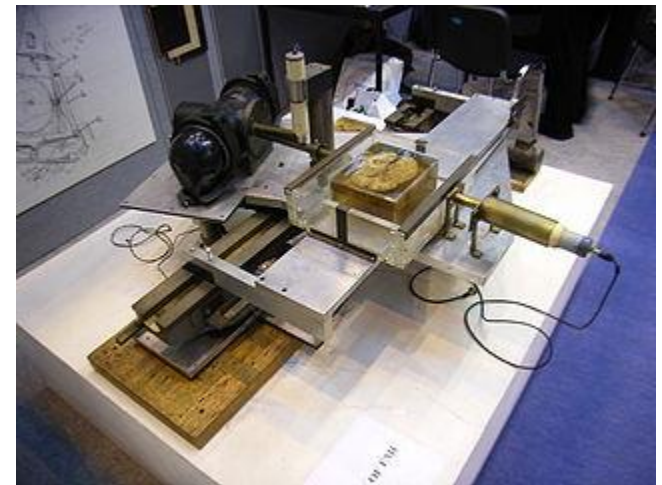
Przykłady zdjęć



CT

Historia

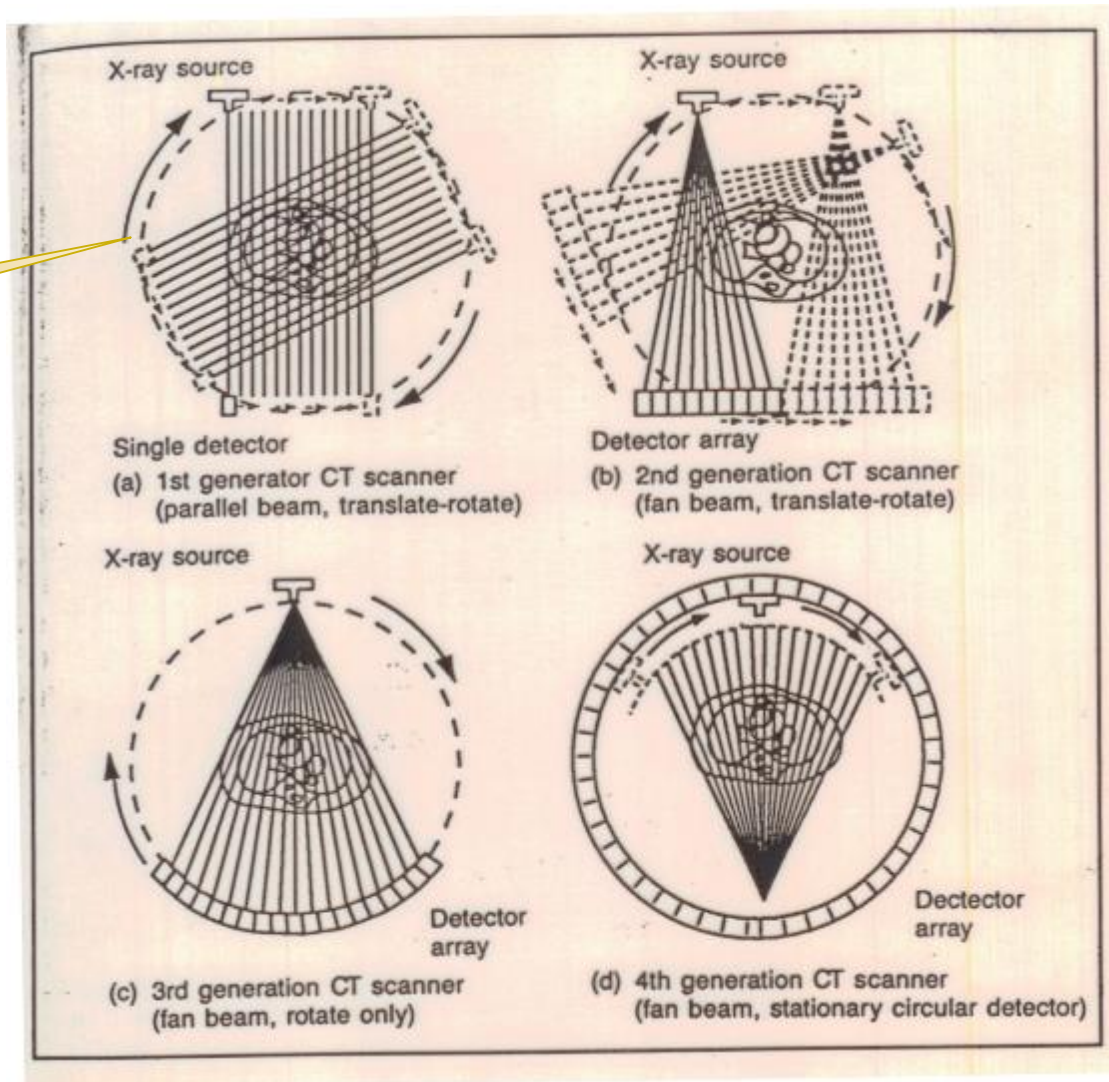
- 1917 (Radon) → matematyczne rozwiązanie problemu rekonstrukcji obrazu 2D z wielu projekcji 1D
- Późne lata 60-te (Cormack) → rekonstrukcja „fantomu” (znany kształt) z użyciem promieniowania X
- Wczesne lata 70-te (Hounsfield) → pierwszy komercyjny tomograf (EMI Corporation, UK)
- 1979 → nagroda Nobla z medycyny dla Cormacka i Hounsfielda
- Kolejne lata → nowe warianty techniki, np. tomografia emisyjna (izotopy)



CT

Generacje tomografów

Gantry (skaner)



CT

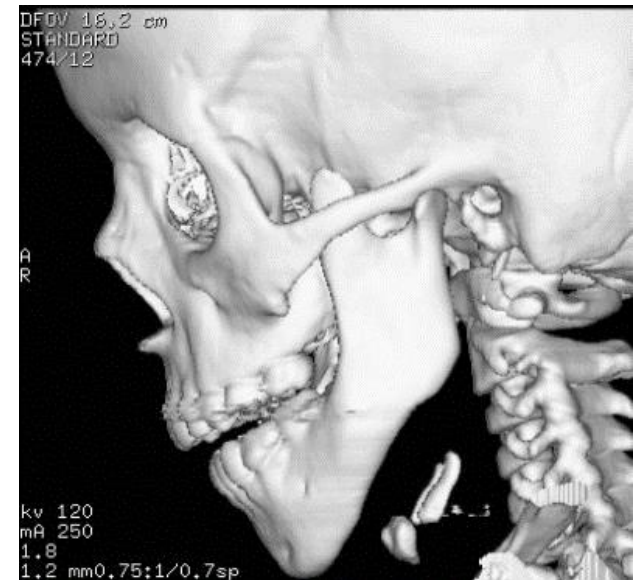
Przykłady urządzeń



CT

Warianty i rozszerzenia

- Badanie „spiralne” (*spiral CT*)
 - jednoczesny ruch obrotowy układu lampa-detektory i przesuwu wzdłużnego stołu (lata 90-te)
 - eliminacja efektu pomijania warstw pomiędzy skanami.
- Możliwość oglądania cięć „wirtualnych”
- Rekonstrukcja obrazów 3D



CT

Podsumowanie

- Poważny postęp w stosunku do diagnostyki rentgenowskiej, ale nadal obrazowanie z wykorzystaniem promieni X
- Różnicowane są głównie tkanka kostna i tkanki miękkie
- Obrazowanie innych struktur często wymaga podania pacjentowi kontrastu ⇒ pewna „inwazyjność” badania

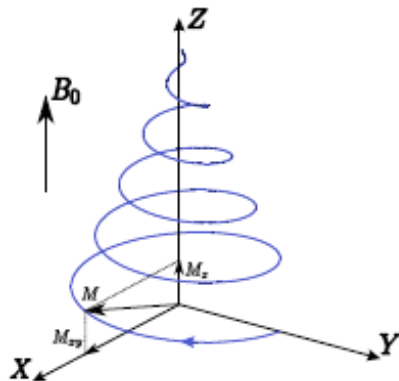
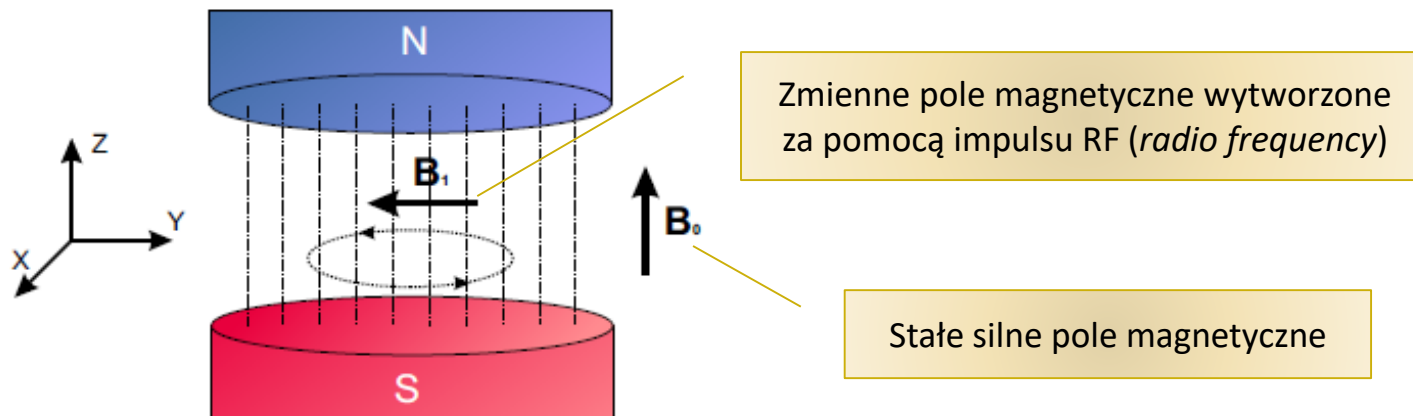
MRI

Magnetyczny rezonans jądrowy

- Badanie emisyjne (zmiana w stosunku do RTG i CT)
- Analiza mikrofal generowanych przez jądra wodoru pod wpływem impulsu elektromagnetycznego
 - 1973 (Lauterbur, Mansfield) → opracowanie podstaw teoretycznych
 - 1974 (Hinshaw) → akwizycja pierwszego obrazu MRI (mysz)
 - 2003 → nagroda Nobla z medycyny dla Lauterbura i Mansfielda
- Nieinwazyjna analiza strukturalna i funkcjonalna ciała pacjenta

Podstawy fizyczne

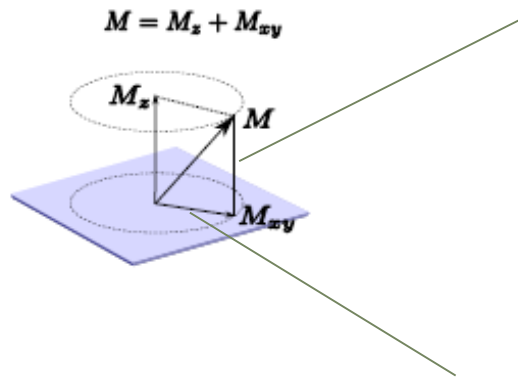
Przedmiot badania – protony (jądra atomu wodoru)



- Powrót do stanu równowagi po zakończeniu nadawania impulsu RF
- Wypromieniowanie pozyskanej energii w postaci sygnału o swobodnej relaksacji (*FID, free induction decay*)

MRI

Podstawy fizyczne



- spin-siatka, relaksacja podłużna
- stała czasowa T1 → czas, po jakim wektor M_z osiąga 63% uprzedniej wartości

- spin-spin, relaksacja poprzeczna
- stała czasowa T2 → czas, po jakim wektor M_{xy} spada do 37% uprzedniej wartości

Czasy T1 i T2 są bezpośrednio powiązane z właściwościami fizykochemicznymi tkanek

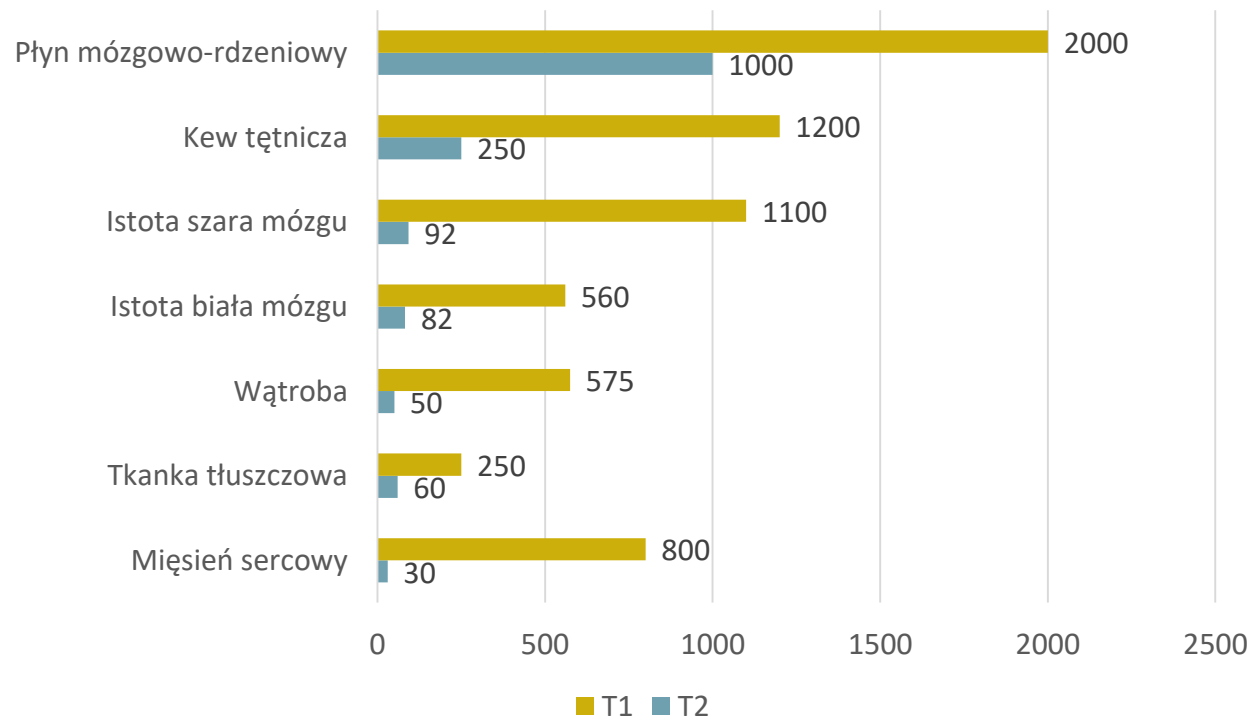
Czasy T1 i T2

- T1 i T2 zależą od powinowactwa cząsteczek wody do struktur komórkowych
 - T1 \Rightarrow tym dłuższy, im większa zawartość wody, a mała liczba makrocząsteczek biologicznych w badanym środowisku
 - T2 \Rightarrow tym dłuższy, im bardziej przypadkowe ruchy cząsteczek (ruchliwość cząsteczek osłabia ich wzajemne oddziaływania); krótki dla np. tkanki tłuszczowej
- Czasy T1 i T2 są niezależne (z reguły $T1 > T2$)
- Zmiany fizjologiczne i patologiczne \rightarrow zmiany ilości wody oraz zmiany jej wiązania z innymi cząsteczkami

MRI

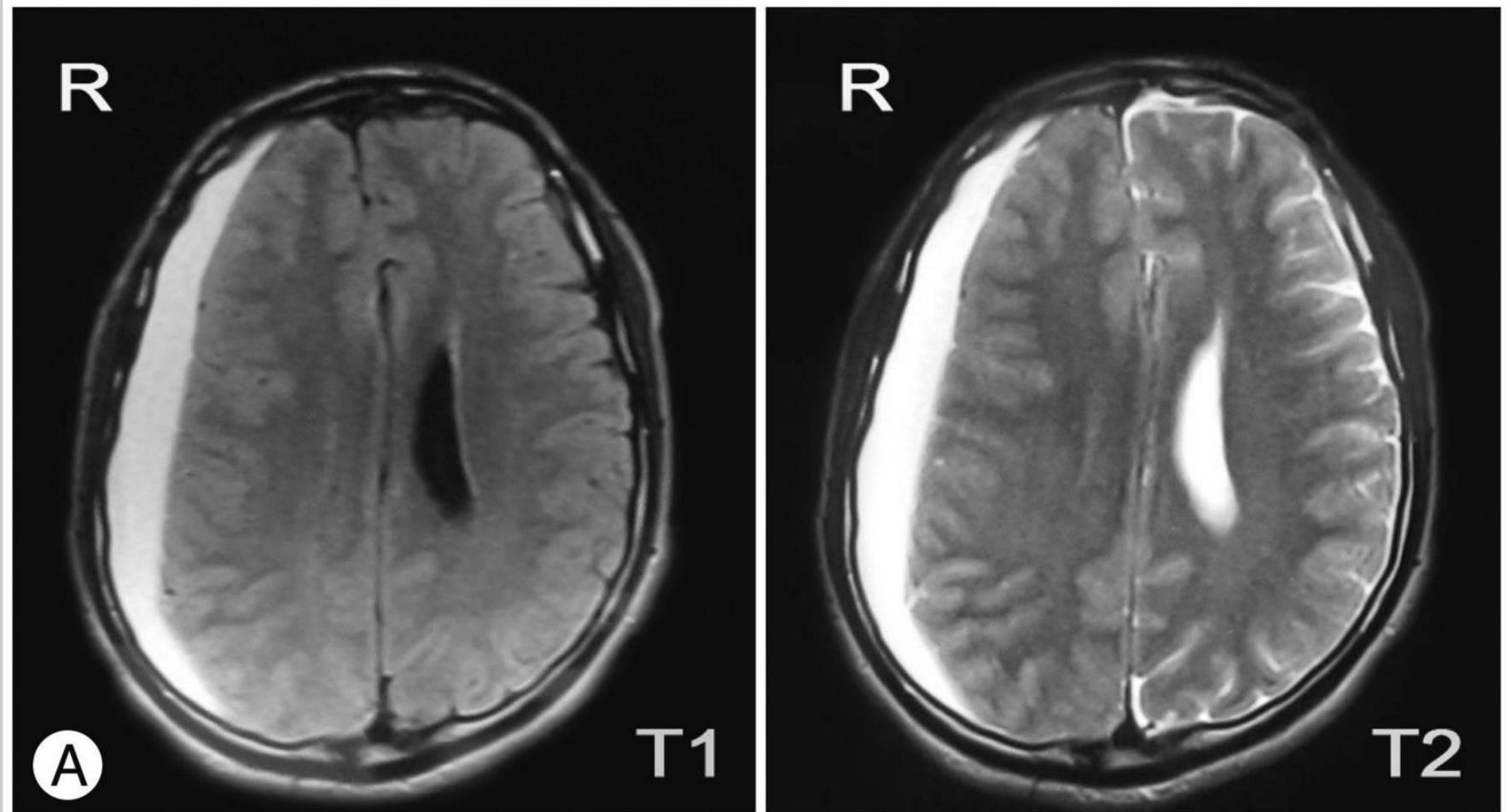
Czasy T1 i T2

Porównanie czasów T1 i T2 [ms]



MRI

Przykład obrazów – wylew



MRI

Rejestracja obrazu

- Obrazy warstwowe uzyskane poprzez selektywne pobudzenie protonów
- Wykorzystanie 3 cewek generujących pole magnetyczne zmieniające się liniowo i nakładające na pole stałe
 - cewka wzdłuż osi Z pacjenta
 - cewka wzdłuż osi Y pacjenta (od tyłu do przodu)
 - cewka wzdłuż osi X pacjenta (od lewej do prawej)
- Obrazy pokazują strukturę fizykochemiczną próbki
- W najprostszym ujęciu obraz jest dwukanałowy (czasy T1 i T2 dla każdego piksela/voxela)

MRI

Tomograf



USG

Ultrasonografia

- Metoda transmisyjna
- Pomiar czasu pomiędzy wyemitowaniem impulsu a powrotem fali odbitej \Rightarrow obliczenie odległości od przeszkody
- Wywodzi się z doświadczeń z sonarem (II wojna światowa)
 - 1942 (Dussik) \rightarrow wykorzystanie reflektoskopu do wykrywania guzów mózgu
 - 1951 \rightarrow pierwszy skaner obrazujący badane organy w tzw. prezentacji dwuwymiarowej z modulacją jasności
 - 1954 (Edler i Hertz) \rightarrow pierwszy kardiologiczny skaner ultradźwiękowy umożliwiający zobrazowanie ruchu zastawek serca
 - 1956 (Mundt i Huges) \rightarrow pierwsze doniesienia dotyczące ultradźwiękowych badań gałki ocznej
 - Lata 60-te \rightarrow boom techniki ultrasonograficznej
- Bardzo popularna i wszechstronna, tania

USG

Ultradźwięki

- Fale mechaniczne \Rightarrow wymagają elastycznego ośrodka do rozprzestrzeniania się
- Stosowane częstotliwości: 1..20+ MHz
- Prędkość rozchodzenia średnio ok. 1540 m/s
 - wątroba 1550 m/s
 - krew 1570 m/s
 - śledziona 1578 m/s
 - mięśnie wzdłuż włókien 1592 m/s
 - mięśnie w poprzek włókien 1610 m/s

USG

Ultradźwięki

- Wytwarzanie ultradźwięków
 - przetwornik – dysk z materiału piezoelektrycznego o średnicy 1-2 cm (lub wiele elementów)
 - piezoelektryki: materiały krystaliczne: kwarc (klasyczny), wypierany przez syntetyki: tytanian baru, cyrkonian ołowiu...
- Ogniskowanie wiązki ⇨ polepszenie jakości odwzorowania
 - mechaniczne
 - soczewki i zwierciadła akustyczne
 - starsze urządzenia
 - elektroniczne
 - przetworniki w formie koncentrycznych pierścieni
 - nowsze generacje urządzeń

USG

Przykładowy obraz



Zestawienie wybranych technik

Cecha	USG	CT	MRI
Promieniowanie	niejonizujące	jonizujące	fale radiowe
Czas badania	15 min.	30 min.	60 min.
Grubość warstwy	centymetry	milimetry	centymetry
Pole	b. małe (wada)	duże	małe lub duże
Obraz	dynamiczny	statyczny	statyczny
Metoda analizy	echogeniczność	pomiar osłabiania	pomiar czasów relaksacji
Zdolność rozdzielcza			
geometryczna	średnia (niska)	b. dobra	dobra
kontrastu	średnia (niska)	dobra	b.dobre
Środki cieniujące	brak	jodowe	paramagnetyczne
Aparat	przewoźny	nieruchomy	nieruchomy
Główne wskazania	badanie płodu, serca i jamy brzusznej	badanie mózgowia	badanie mózgowia, rdzenia kręgowego i serca
Zakres	j. brzuszna	całe ciało	całe ciało
Koszt badania	1	10x	20x
Zakłócenia	kości i powietrze	ruchy badanego, ciała metaliczne	ruchy badanego, ciała metaliczne
Główne przeciwwskazania	brak	ciąża	stymulatory serca, metalowymi protezami (np. zastawek serca);
Bezpieczeństwo	brak uchwytnego ryzyka	niebezpieczne	brak uchwytnego ryzyka

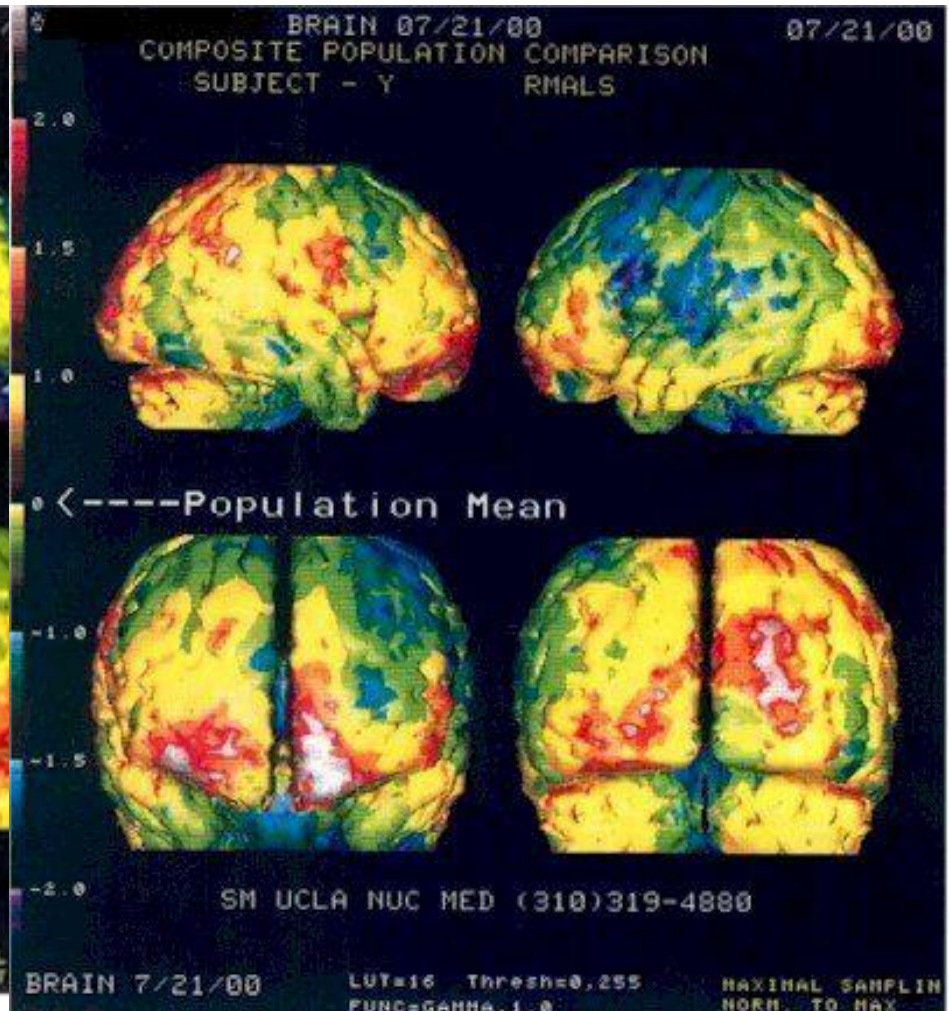
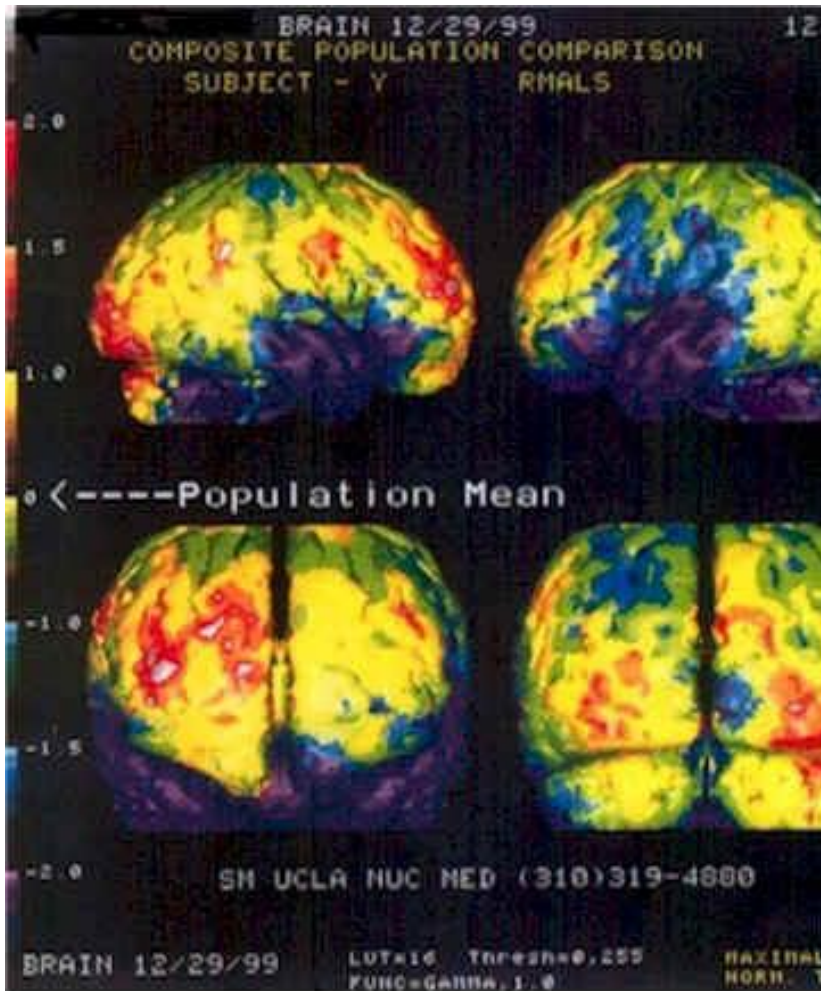
SPECT

Tomografia emisyjna pojedynczych fotonów

- Metoda emisyjna – fale γ emitowane przez radioznacznik
 - wprowadzony do organizmu poprzez iniekcję, inhalację lub pokarmowo
 - połączenie izotopu (technet ^{99m}Tc) z właściwym znacznikiem
- Badanie funkcjonalne/metaboliczne, gdzie obraz zależy od stopnia wychwytu radioznacznika przez narząd
- Zwiększenie wychwytu radioznacznika lub jego ubytek wskazuje na zmiany patologiczne
- Podstawy rekonstrukcji obrazu jak w transmisyjnej CT

SPECT

Przykład obrazów – mózg przed i po leczeniu



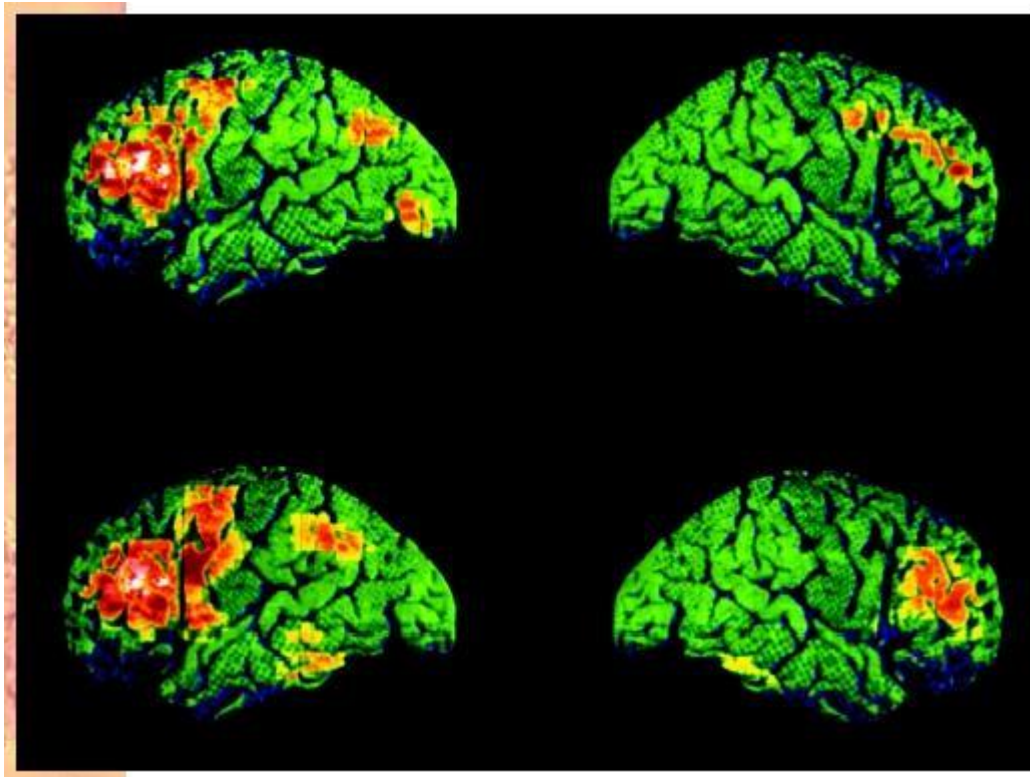
PET

Pozytronowa tomografia emisyjna

- Zasada działania taka sama jak w SPECT
- Zróżnicowanie ze względu na typ radioznacznika oraz jego energię
- Większa czułość PET niż SPECT i szybszy czas połowicznego rozkładu znacznika
 - mniejsze ryzyko dla pacjenta
 - problem z przygotowaniem znaczników (cyklotron i szybka synteza)
- Wykorzystanie w diagnostyce neurologicznej, kardiologicznej i onkologicznej (90% rozpoznawanych nowotworów)

PET

Przykład obrazów – osoba zdrowa i chora



Schizofrenia

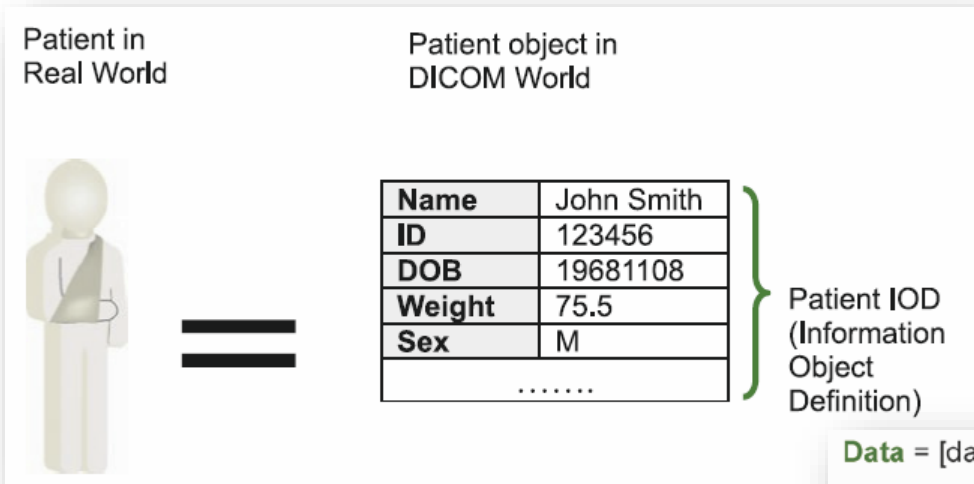
DICOM I PACS

Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM)

- Standard do reprezentacji i przetwarzania (odczyt, zapis, wyszukanie...) obrazów medycznych wraz z dodatkową informacją (historia pacjenta, warunki badania)
 - 1985 → wersja 1.0 opracowana przez American College of Radiology (ACR) i National Electrical Manufacturers Association (NEMA) ⇒ ACR-NEMA, elementy danych i znaczniki
 - 1988 → wersja 2.0, pierwsza wykorzystana w praktyce przez producentów sprzętu, ograniczona obsługa transmisji danych
 - 1993 → wersja 3.0, znacznie rozbudowana część związana komunikacją w sieciach komputerowych ⇒ DICOM; wprowadzenie certyfikatu zgodności
- Coroczne poprawki i rozszerzenia bez wprowadzania nowej wersji standardu (nie ma DICOM 4.0)

Obiekty i usługi

- Obiekty (pacjenci, urządzenia, ...) opisane za pomocą atrybutów
⇒ *Information Object Definitions (IODs)*
- Słownik danych DICOM obejmuje ponad 2000 atrybutów należących do 27 typów



Obiekty podstawowe (*normalized*) oraz złożone (*composite*), składające się z obiektów prostych

Data = [data element 1] + [data element 2] + ... + [data element N]

Example:

Patient = [Name] + [Age] + [Weight] + ... + [Sex]

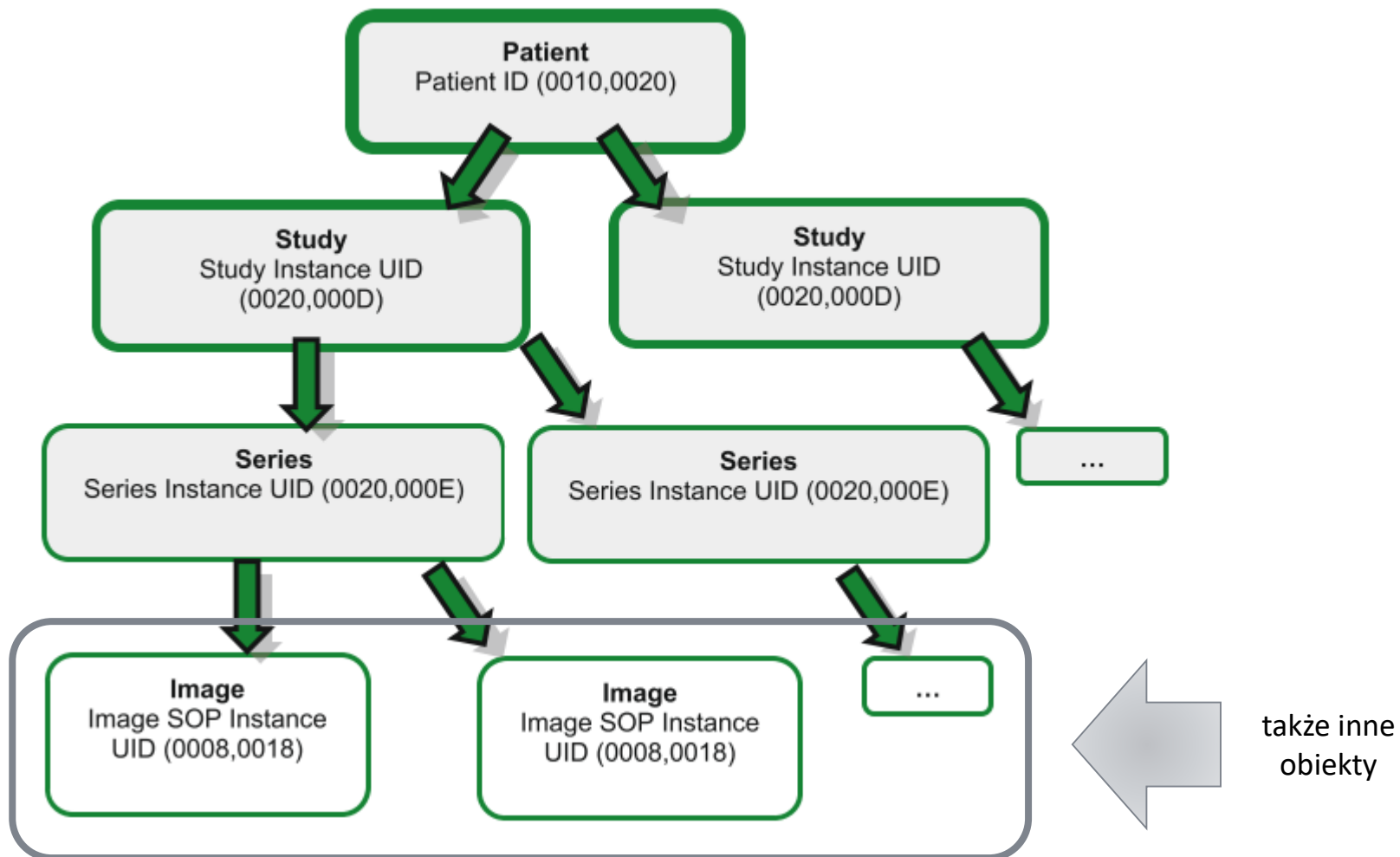
DICOM

Atrybuty i ich typy

(Group, Element) tag	Attribute (data element) name	VR	VM	Retir
(0008,0001)	Length to End			RET
(0008,0005)	Specific Character Set	CS	1-n	
...				
(0010,0010)	Patient Name	PN	1	
(0010,0020)	Patient ID	LO	1	
(0010,0021)	Issuer of Patient ID	LO	1	
(0010,0030)	Patient's Birth Date	DA	1	
(0010,0032)	Patient's Birth Time	TM	1	
(0010,0040)	Patient's Sex	CS	1	
...				
(0010,1000)	Other Patient IDs	LO	1-n	
(0010,1001)	Other Patient Names	PN	1-n	
...				
(FFFE,E00D)	Item Delimitation Item		1	
(FFFE,E0DD)	Sequence Delimitation Item		1	

VR name, abbreviated and full	Definition of VR contents	Allowed characters	Length of data (value) in characters
Text			
CS Code String	A string of characters with leading or trailing spaces being nonsignificant. Example: "CD123_4"	Uppercase characters, 0-9, the SPACE character, and the underscore character (_)	16 maximum
SH Short String	A short character string. Example: telephone numbers, IDs		16 maximum
LO Long String	A character string that may be padded with leading and/or trailing spaces. Example: "Introduction to DICOM"		64 maximum
ST Short Text	A character string that may contain one or more paragraphs.		1024 maximum
LT Long Text	A character string that may contain one or more paragraphs, the same as LO, but can be much longer.		10,240 maximum

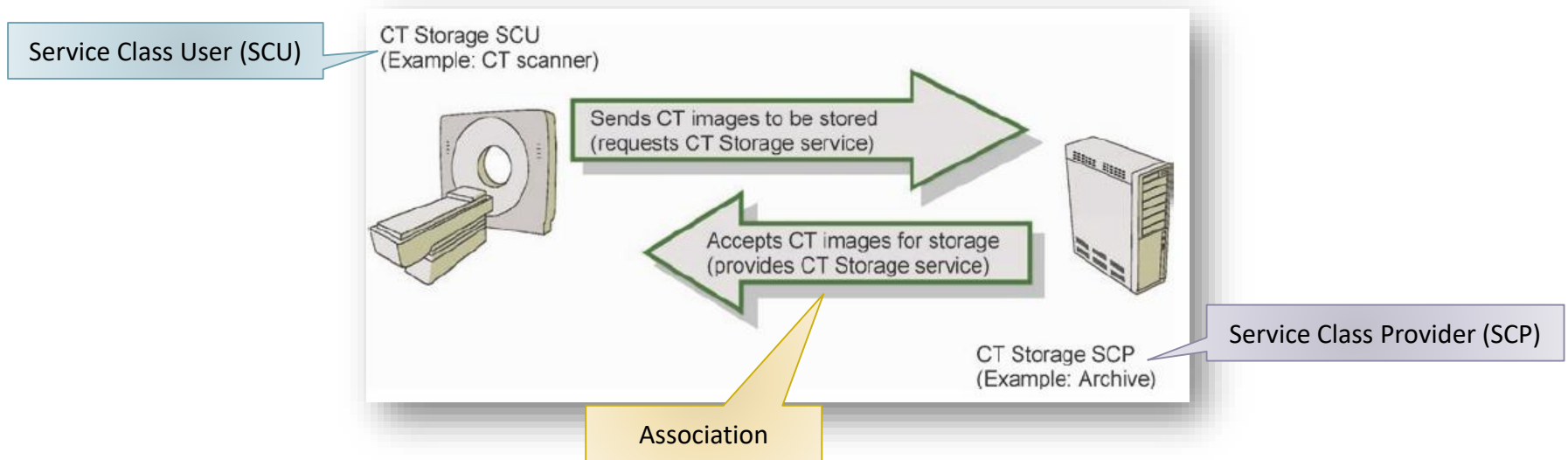
Organizacja danych



DICOM

Obiekty i usługi

- Obiekty wymieniane są pomiędzy urządzeniami i systemami komputerowymi ⇒ *Application Entities (AEs)*
- Aplikacje udostępniają usługi działające na obiektach ⇒ *Service-Object Pairs (SOPs)*



- Pary usługa-obiekt pogrupowane w klasy ⇒ *SOP Classes*

Transfer danych

- SCU i SCP wymieniają dane (obiekty) przez sieć \Rightarrow *association*
- Przed rozpoczęciem transmisji następuje ustanowienie powiązania (\Rightarrow *association establishment*) – SCU i SCP wymieniają się charakterystykami (\Rightarrow *Presentation Context*)
 - obsługiwane usługi (SOP)
 - dopuszczalne role/strony (SCU, SCP) w transakcji

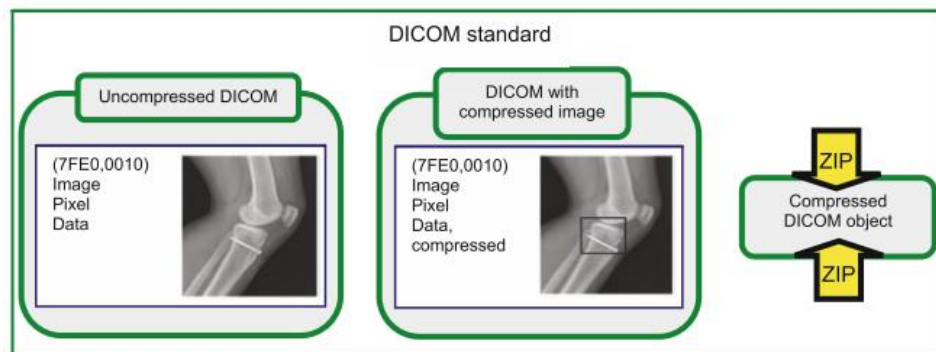


Certyfikat zgodności dla urządzenia lub systemu (\Rightarrow *DICOM conformance statement*)

Np. urządzenie z certyfikatem CT Storage SCU \rightarrow tylko **wysyłanie** obrazów TK

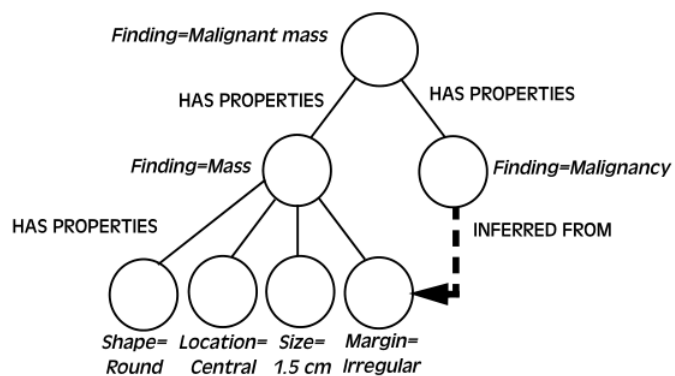
Zapis obrazów

- Obiekt może zawierać jeden atrybut zawierający specyfikację pikseli (→ obraz + informacje dodatkowe, np. rows/cols)
- Atrybut ten może składać się z wielu ramek (→ możliwość zapisu filmu lub serii obrazów)
- Reprezentacja obrazu za pomocą formatów specyficznych dla DICOM (starsze, bez kompresji), albo niezależnych (np. JPEG)
- Możliwość zastosowania metody LZW (ZIP) do całego pliku DICOM – tylko podczas transferu



Zapis innych formatów i struktur

- Zdyskretyzowane sygnały (dźwięk, EKG, ...)
- Obrazy z „niestandardowych” źródeł (⇒ *secondary capture*)
- Dokumenty PDF
- Ustrukturalizowane raporty z danymi tekstowymi i obrazowymi (→ drzewiasta hierarchia sekcji i podsekcji, dane w liściach)



Chest X-ray Report:

Observer: Clunie^David^A^Dr.

History: malignant melanoma excised 1Y

Findings:

- finding: multiple masses in both lung fields
- best illustration of findings:

Conclusions:

- conclusion: cannon-ball metastases
- conclusion: recurrent malignant melanoma

Diagnosis Codes:

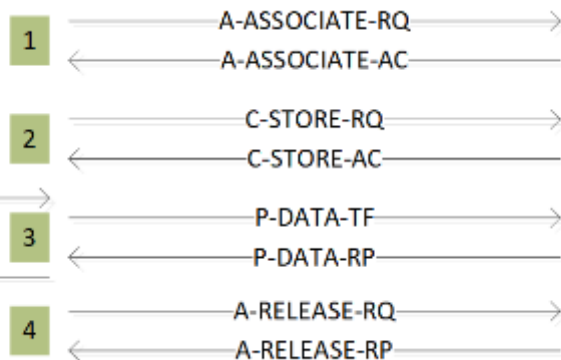
- diagnosis: 172.9/ICD9
- diagnosis: 197.0/ICD9



Komunikacja



Jednostka akwizycyjna
C-STORE SCU



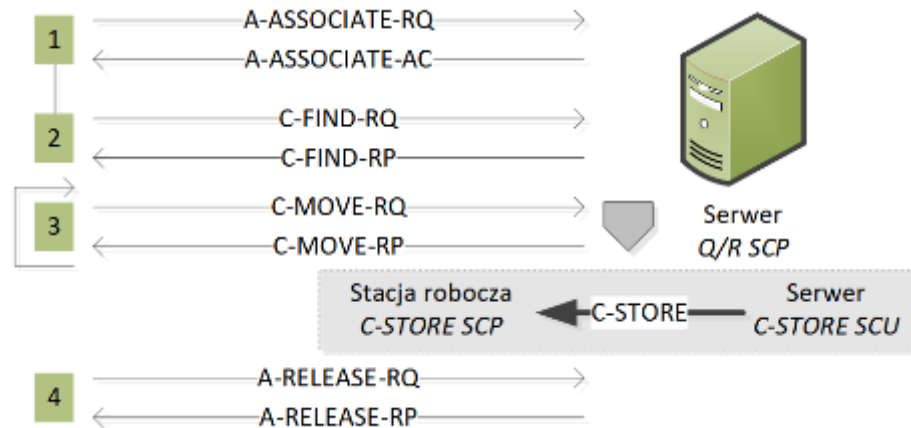
Serwer PACS
C-STORE SCP

Zapis wyników CT na serwerze

Pobranie wyników z serwera na stację roboczą



Stacja robocza
Q/R SCU



SYSTEMY PACS

Picture Archiving and Communication Systems (PACS)

- Klasa systemów (sprzęt i oprogramowanie) odpowiedzialnych za przetwarzanie danych obrazowych
 - przechowywanie
 - wyszukiwanie
 - udostępnianie
 - prezentacja
- Ścisła współpraca z RIS → realizacja zleceń oraz opisu wyników

HI-PACS (Hospital-integrated PACS) → systemy
PACS zintegrowane z RIS oraz HIS

Lista usług

Usługa	Opis
<i>Send</i>	Wysyła obrazy do stacji docelowej (np. serwera, stacji diagnostycznej)
<i>Recv</i>	Odbiera obrazy z serwera lub jednostki akwizycyjnej
<i>ArchAck</i>	Wysyła do jednostki akwizycyjnej potwierdzenie archiwizacji obrazu
<i>AcqDel</i>	Kasuje obrazy z jednostek akwizycyjnych
<i>Arch</i>	Kopiuje obraz z dysku serwera do jednostki archiwizującej
<i>Retrv</i>	Pobiera obrazy z jednostki archiwizującej
<i>Stor</i>	Zarządza dyskiem serwera
<i>WsSrv</i>	Obsługuje żądania udostępnienia danych wysyłane przez stacje diagnostyczne lub przeglądowe
<i>WsReq</i>	Inicjalizuje żądania udostępnienia danych
<i>ImgManag</i>	Zarządza danymi obrazowymi i aktualizuje bazę danych PACS
<i>RISRecv</i>	Odbiera komunikaty HL7 z RIS-u; komunikuje się z usługą <i>Prefetch</i> w celu uzyskania archiwalnych danych podczas przyjmowania pacjenta lub wyznaczania wizyty
<i>Prefetch</i>	Umożliwia uzyskanie archiwalnych danych obrazowych i tekstowych
<i>RISTrans</i>	Wysyła komunikaty HL7 do serwera PACS
<i>WLTrans</i>	Wysyła listy robocze do jednostki akwizycyjnej
<i>WLRecv</i>	Odbiera listy robocze z serwera RIS
<i>AcqAck</i>	Wysyła potwierdzenie wykonania procedury medycznej

PODSUMOWANIE

Podsumowanie

- Znacznie pozyskiwania i analizy sygnałów oraz obrazów z punktu widzenia diagnostyki medycznej
- Szybki rozwój diagnostyki obrazowej
- Standardy do zapisu sygnałów i obrazów (DICOM)
- Systemy do przetwarzania sygnałów i obrazów (PACS)