



Michał Strzelecki
Instytut Elektroniki

Obrazowanie – medycyna nuklearna

Inżynieria biomedyczna, 1. st., 2024





Urządzenia medycyny nuklearnej

Treść wykładu:

- Historia medycyny nuklearnej
- Zasady działania
- Scyntygrafia
- Emisyjna tomografia komputerowa pojedynczych fotonów (Single-Photon Emission Computed Tomography, SPECT)
- Pozytonowa tomografia emisyjna (Positron Emission Tomography, PET)





Czym jest medycyna nuklearna?

- Medycyna nuklearna to dział medycyny zajmujący się bezpiecznym wykorzystaniem promieniowania, którego źródłem są przemiany zachodzące w jądrach atomów substancji promieniotwórczych.
- Medycyna nuklearna dzieli się na dwa podstawowe działy:
 - **diagnostyczna medycyna nuklearna** – wykorzystanie substancji radioaktywnych do uzyskania czystego i pełnego obrazu kości, tkanek itp.
 - **interwencyjna medycyna nuklearna** – wystawienie nowotworu na działanie radioaktywnych substancji w celu zniszczenia zarażonej komórki
- Technikę obrazowania wykonywanego w medycynie nuklearnej nazywa się **scyntygrafią**.



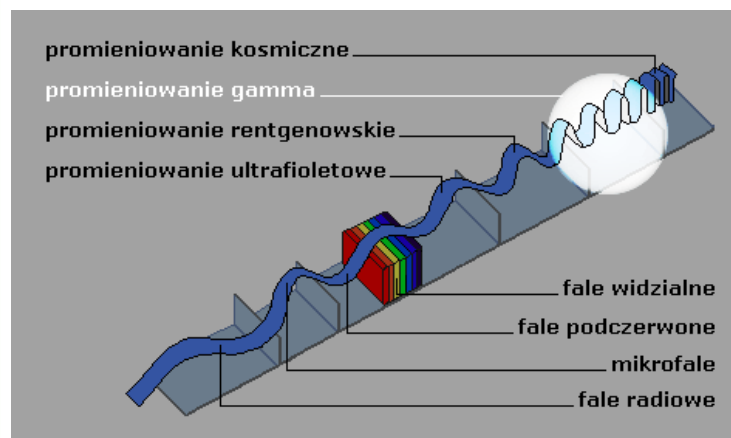
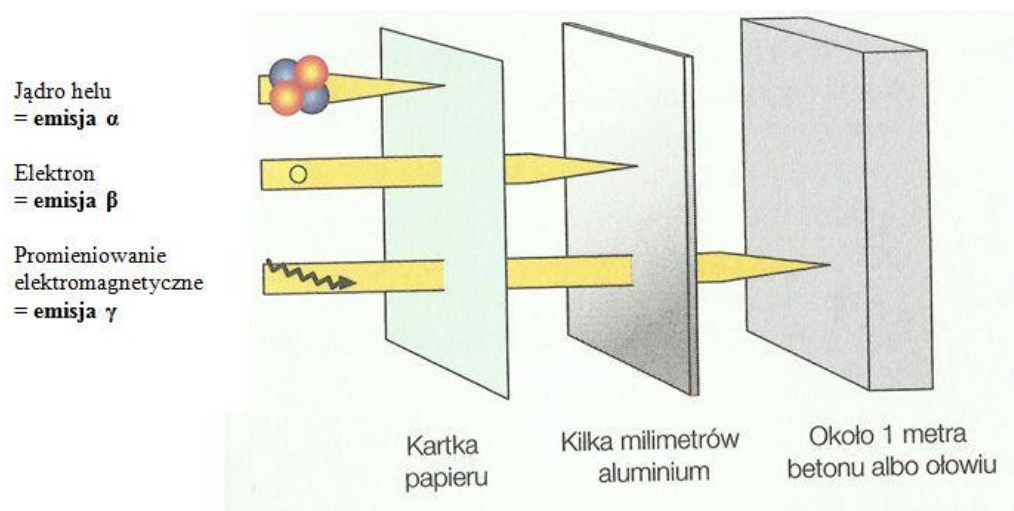
- 1895 – odkrycie promieni rentgenowskich
- 1930 – odkrycie "sztucznej promieniotwórczości"
- 1946 – leczenie radioaktywnym jodem doprowadziło do całkowitego zniknięcia nowotworu pacjenta
- Lata 1950-te – powstaje kamera gamma
- Lata 70. – pierwsze zastosowania diagnostyczne (SPECT)
- Lata 1980-te - zastosowanie medycyny nuklearnej do diagnozowania chorób serca, wykorzystanie komputerów do rejestracji obrazów
- 2000 – skanery PET - CT

Dzisiaj: Około 100 różnych procedur obrazowania medycyny nuklearnej, które dostarczają informacji o prawie każdym narządzie



Promieniowanie jonizujące

- α – emisja jądra helu o krótkim zasięgu
- β – emisja elektronu (e^-) lub pozytonu (e^+) z jądra
- **γ – emisja wysokoenergetycznych fotonów, towarzyszy promieniowaniu α i β , charakteryzuje się dużą zdolnością do przenikania tkanek**





Radiofarmaceutyk

- Radiofarmaceutyk (RF) - związek, który zawiera radioizotop w swojej cząsteczce. Jest to substancja, która bierze udział w metabolizmie komórek, jednocześnie zawiera znacznik promieniotwórczy, dzięki czemu można precyzyjnie śledzić jego działanie w organizmie i badać konkretne procesy życiowe.
- Są wstrzykiwane do krwioobiegu pacjenta, rzadziej wdychane
- Radiofarmaceutyk zawiera:
 - **Radioizotop** - promieniotwórczy izotop pierwiastka.
 - **Ligand** - związki chemiczne będące nośnikiem radioizotopu zdolnym do osadzania się w tkankach i narządach oraz pokonywania bariery krew-mózg.

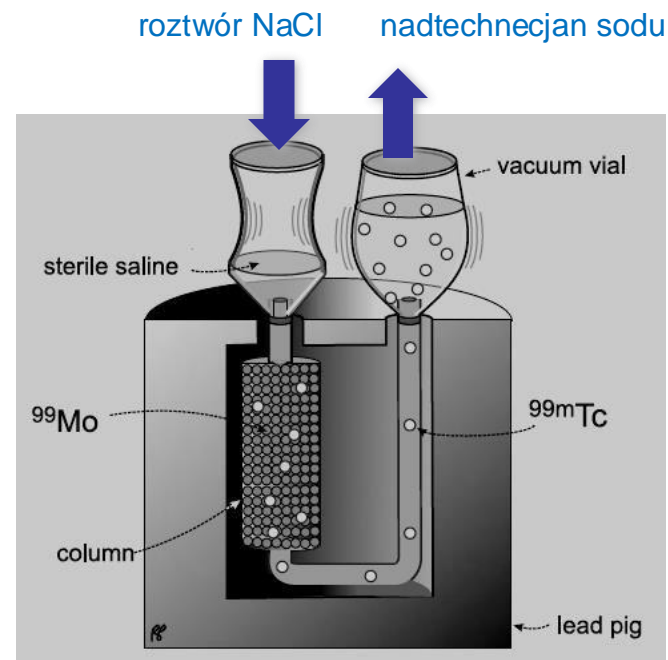
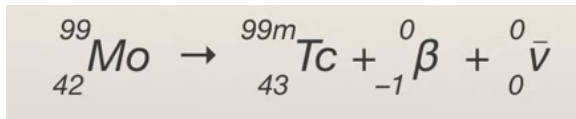
Jest jednak pewien problem...



Wytwarzanie składnika radioaktywnego

Generator 99Mo – 99mTc

- promieniowanie gamma o energii 140 keV
- niewiele promieniowania przenikliwego (10%)
- $T_{1/2} = 6\text{h}$





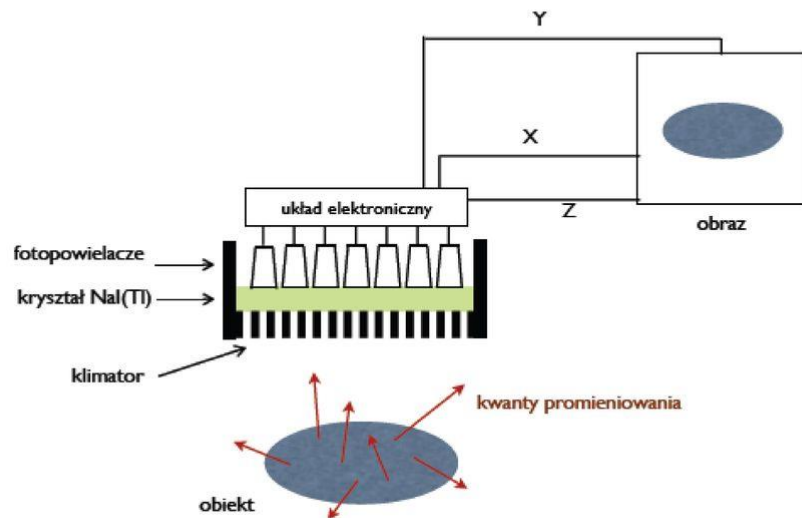
Rodzaje radiofarmaceutyków

| Study | Radioisotope | Emission energy (keV) | Half-life (h) | Radiofarmaceutical | Activity (MBq) | Rotation (degrees) | Projections | Image resolution | Time per projection (s) |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------|---------------|--------------------------------|----------------|--------------------|-------------|------------------|-------------------------|
| Bone, thyroid gland | technetium-99m | 140 | 6 hours | Phosphonates / Bisphosphonates | 800 | 360 | 120 | 128 x 128 | 30 |
| Myocardial perfusion scan | technetium-99m | 140 | 6 hours | tetrofosmin; Sestamibi | 700 | 180 | 60 | 64 x 64 | 25 |
| Brain scan | technetium-99m | 140 | 6 hours | HMPAO; ECD | 555-1110 | 360 | 64 | 128 x 128 | 30 |
| Tumor scan | iodine-123 | 159 | 13 hours | MIBG | 400 | 360 | 60 | 64 x 64 | 30 |
| White cell scan | indium-111 & technetium-99m | 171 & 245 | 67 hours | in vitro labelled leucocytes | 18 | 360 | 60 | 64 x 64 | 30 |



Gamma kamera – detektor fotonów gamma

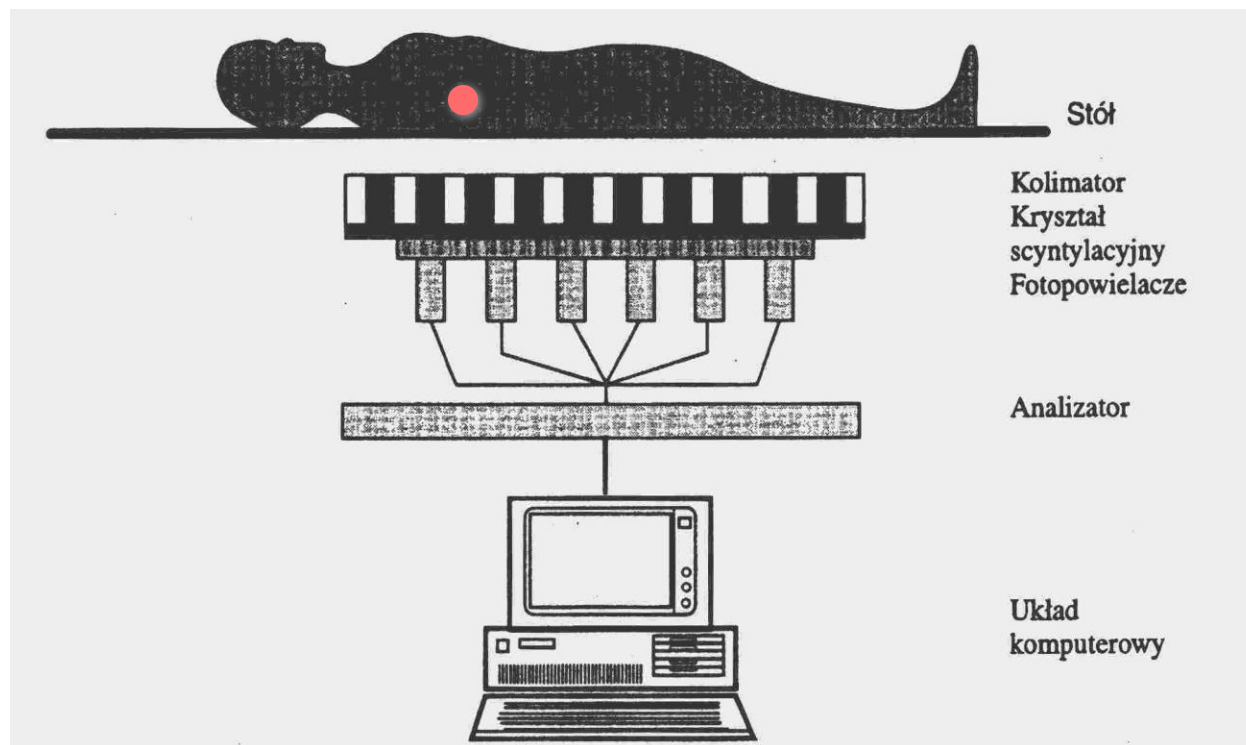
Obrazy SPECT pozyskuje się z wykorzystaniem gamma-kamery



- kolimator
- kryształ scyntylatora
- układu fotopowielaczy
- układy elektroniczne do akwizycji i sterowania wyświetlaniem obrazu



Scyntygrafia



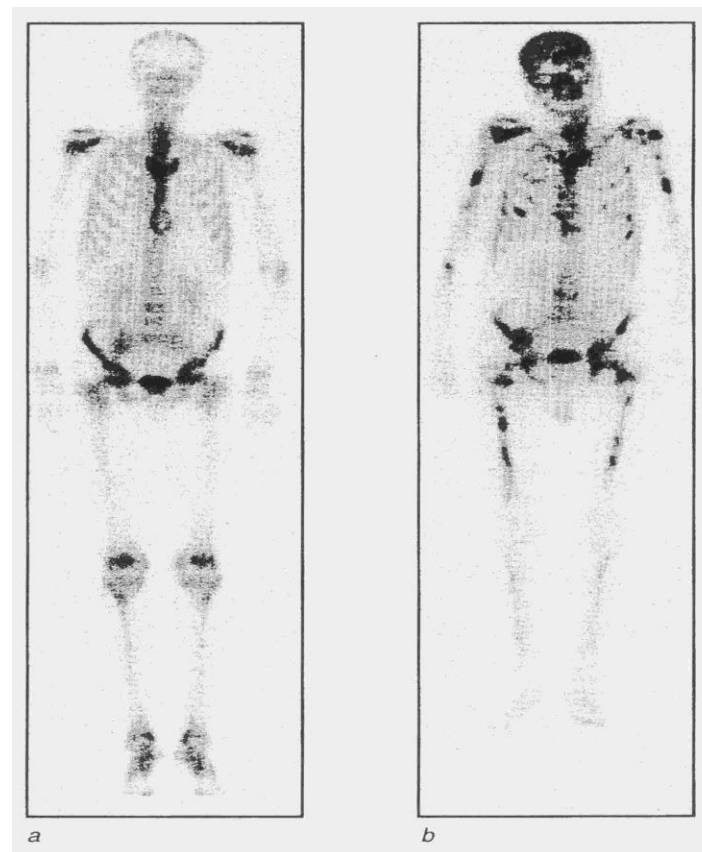
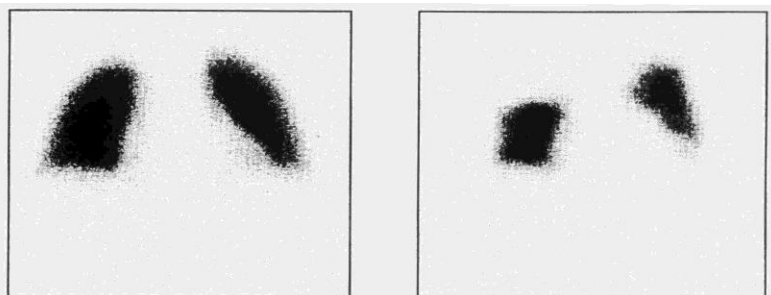
Radioizotop emituje promieniowanie jonizujące (najczęściej gamma), które dzięki wysokiej energii (100 - 450 keV) przenika z organizmu pacjenta na zewnątrz jego ciała, gdzie zostaje rejestrowane przez gammakamerę.



Scyntygrafia

Rodzaje scyntygrafii:

- planarna – jednopłaszczyznowa, obraz określonego fragmentu ciała
- dynamiczna – sekwencyjna, pokazuje zachowanie radiofarmaceutyku w czasie
- „whole body” – obraz całego ciała
- bramkowana – obraz np. serca, synchronizowana sygnałem EKG





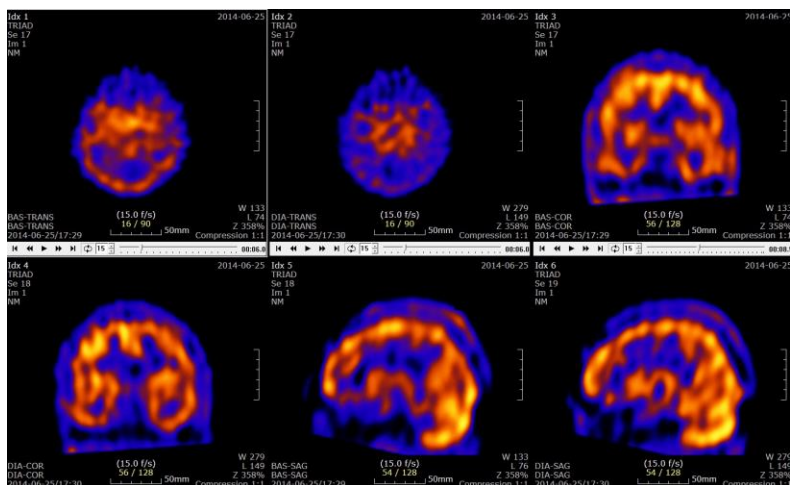
Emisyjna tomografia komputerowa pojedynczych fotonów SPECT

- Wykorzystuje zwykle 2 kamery gamma (kamera scyntylicyjna lub kamera Angera)
- Obrazy 2D i 3D
- Algorytmy rekonstrukcji zbliżone jak w tomografii komputerowej
- Stosunkowo niedroga metoda obrazowania – ponieważ można stosować izotopy o dłuższym czasie rozpadu
- Rozdzielczości 64x64 lub 128x128 pikseli, piksel od 3 do 6 mm
- Mniejsza czułość



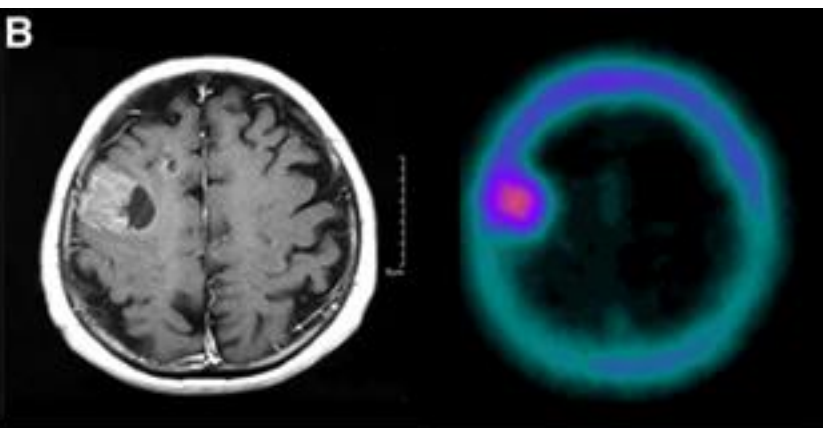
<http://www.impactscan.org/rsna2004.htm>

Przykłady zastosowań SPECT



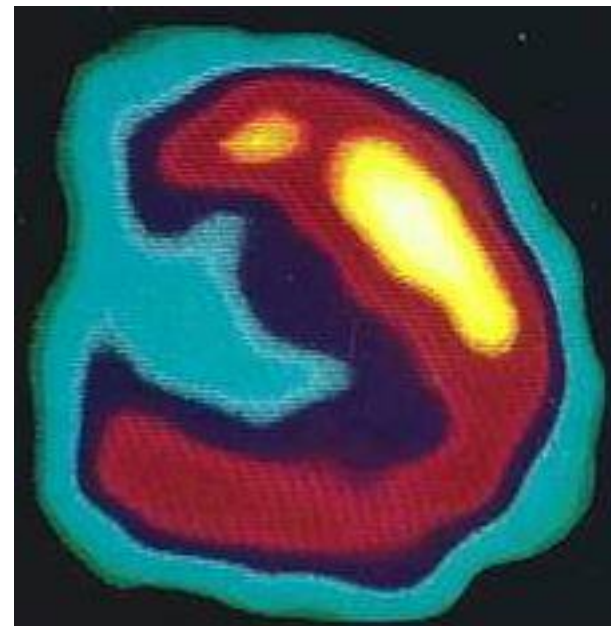
perfuzja mózgu

https://pl.wikipedia.org/wiki/Tomografia_emisyjna_pojedynczych_twor%C3%B3w#/media/Plik:Brain_SPECT_with_Acetamidol_Slices.jpg



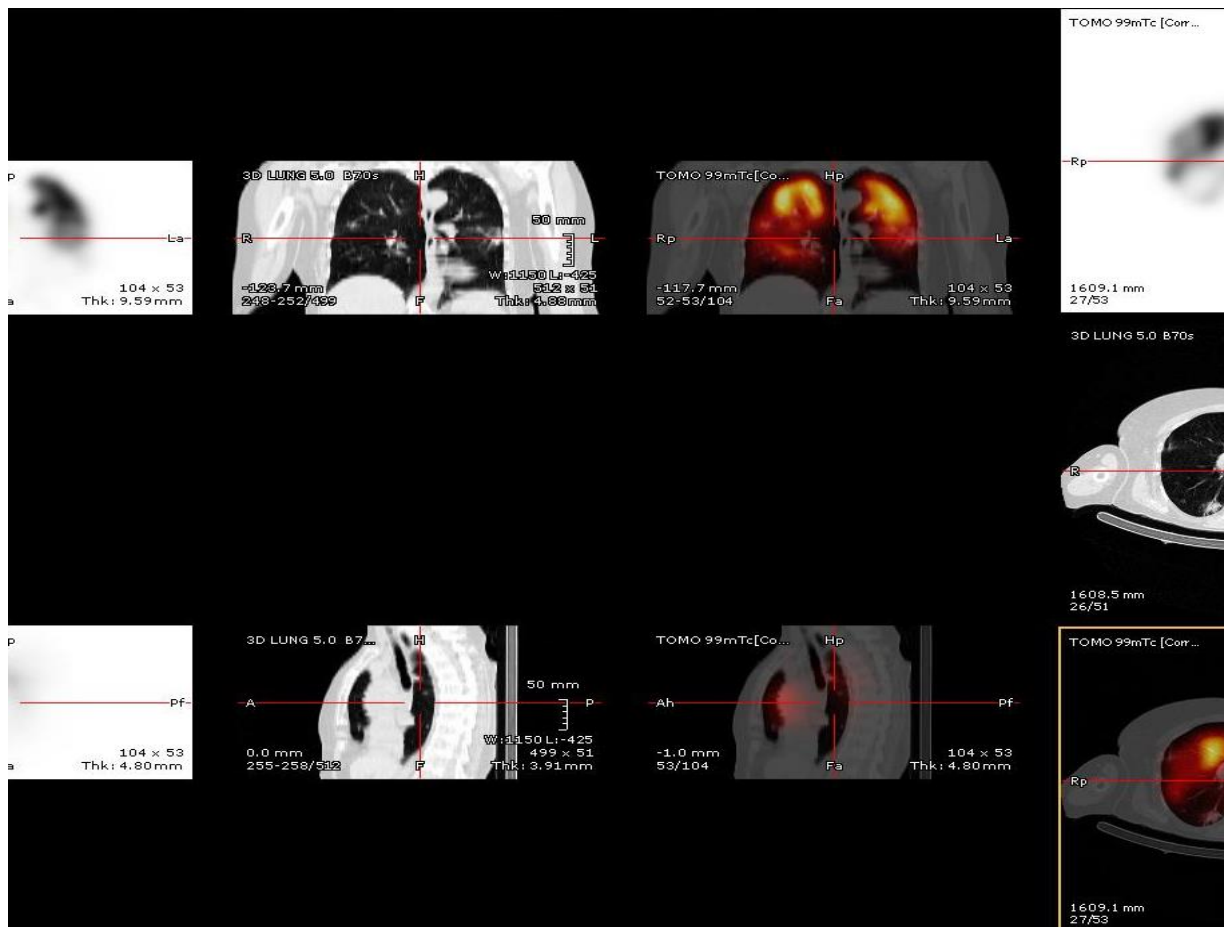
glejak mózgu

<http://laboratoria.net/artku/18370.html>



perfuzja mięśnia sercowego

https://pl.wikipedia.org/wiki/Tomografia_emisyjna_pojedynczych_twor%C3%B3w#/media/Plik:SPECT_Slice_of_Heart.jpg

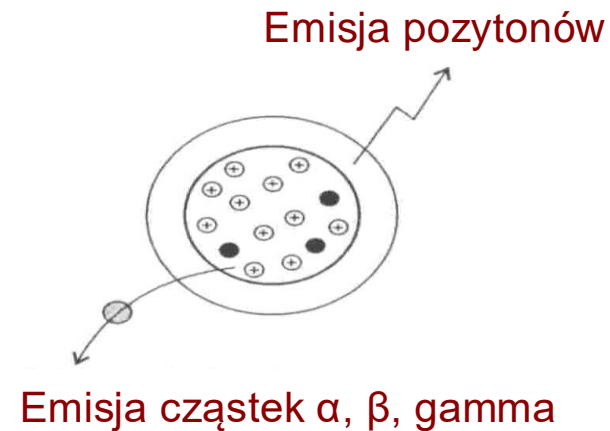


Obraz płuc SPECT, CT, fuzja (SPECT kolorowy)



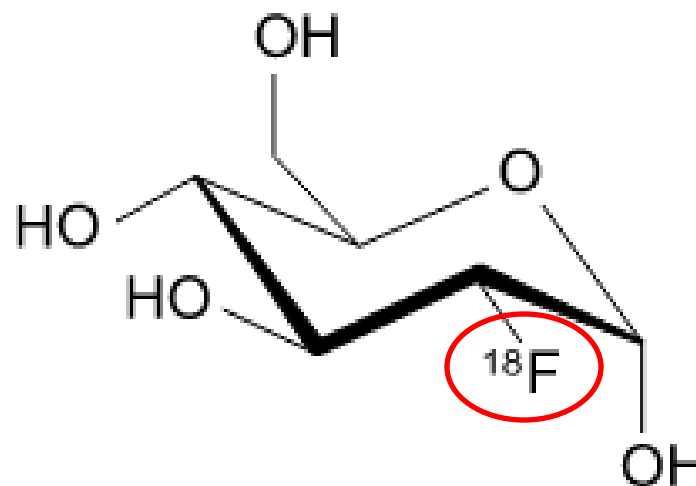
Pozytonowa tomografia emisyjna

- Technika obrazowania medycyny nuklearnej
- Tworzy obrazy 3D (lub 4D – 4. wymiar to czas) procesów metabolicznych zachodzących w organizmie
- Często w połączeniu z tomografią komputerową lub rezonansem magnetycznym
- Wymaga wstrzyknięcia radiofarmaceutyku
- Rozmiar piksela 1-4 mm



Chemia stojąca za PET

- W celu uzyskania obrazów za pomocą technologii PET pacjentowi wstrzykuje się fludeoksyglukozę (pochodna glikozy, $C_6H_{11}FO_5$)
- Jest to cząsteczka podobna do glukozy z grupą hydroksylową zastąpioną atomem emitującym pozyton ^{18}F





Inne radionuklidy

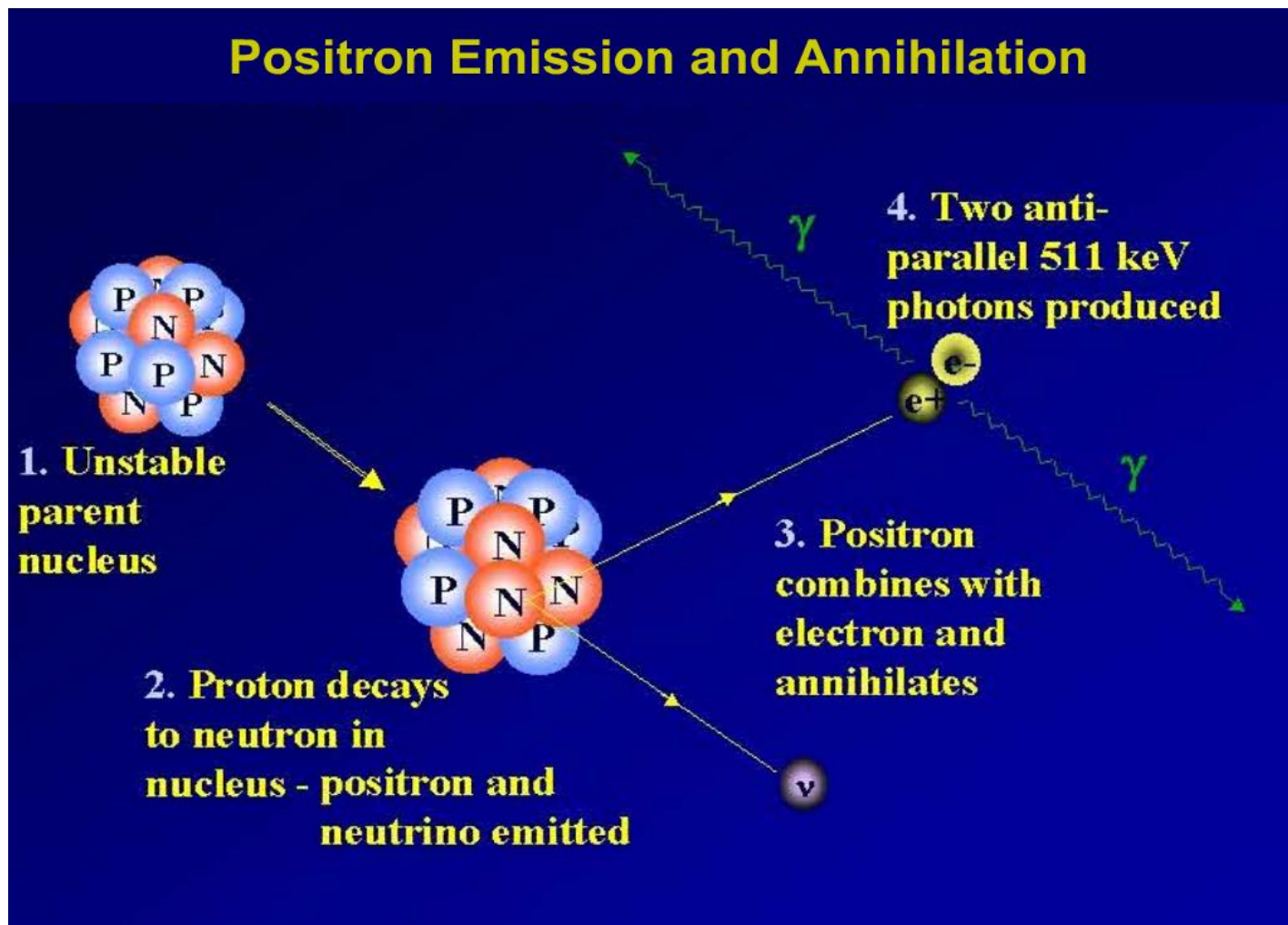
- ^{11}C ($\sim 20\text{min}$)
- ^{13}N ($\sim 10\text{min}$)
- ^{15}O ($\sim 2\text{ min}$)
- ^{18}F ($\sim 110\text{min}$)

Ze względu na krótki okres półtrwania większości radioizotopów, radioznaczniki muszą być wytwarzane przy użyciu cyklotronu w pobliżu urządzenia do obrazowania PET

Cząsteczka radiofarmaceutyku zawiera niestabilne jądro, w którym zachodzi rozpad. Jego efektem jest m.in. pozyton (e^+), który przemieszcza się, dopóki nie straci swojej energii kinetycznej, a następnie anihiluje pierwszym napotkanym elektronem (e^-), tworząc parę fotonów anihilacyjnych (gamma 511 keV)



Positron Emission Phenomena



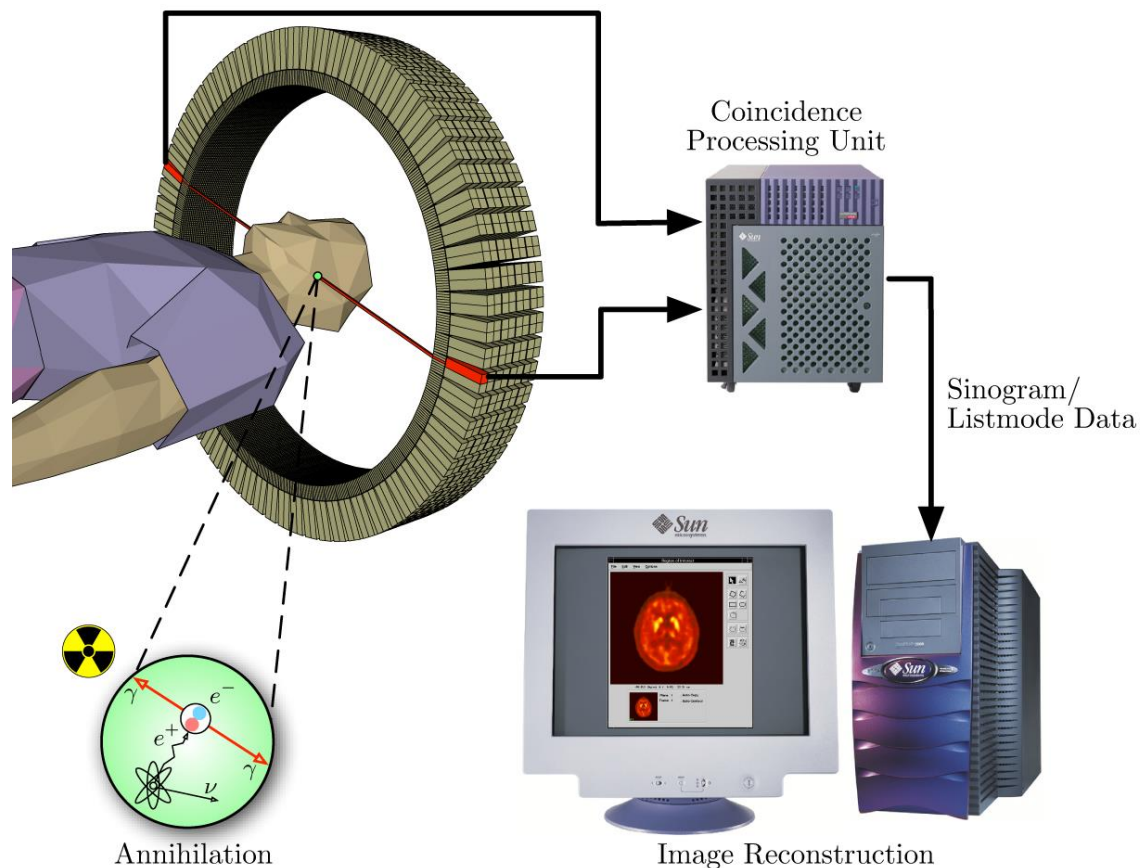


Biologia stojąca za PET

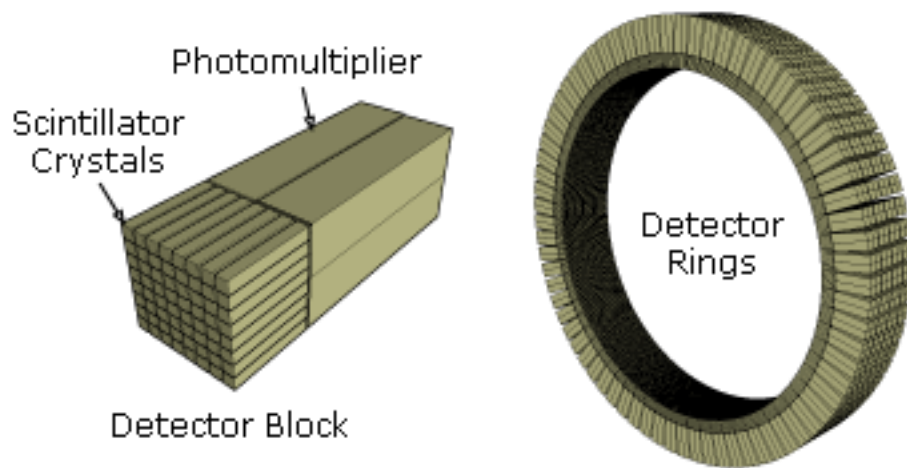
- Komórki potrzebują energii
- Normalne komórki: metabolizm tlenowy
- Komórki rakowe: Metabolizm beztlenowy (glikoliza) -> potrzebują dużo więcej glukozy
- Glikoliza (ciąg reakcji biochemicznych, podczas których jedna cząsteczka glukozy zostaje przekształcona w dwie cząsteczki pirogronianu) jest nieefektywna: komórki rakowe zwiększają tempo metabolizmu, aby uzyskać wystarczającą ilość energii do szybkiej replikacji
- W ten sposób komórki nowotworowe gromadzą więcej glukozy niż komórki nienowotworowe



Schemat systemu akwizycji danych PET



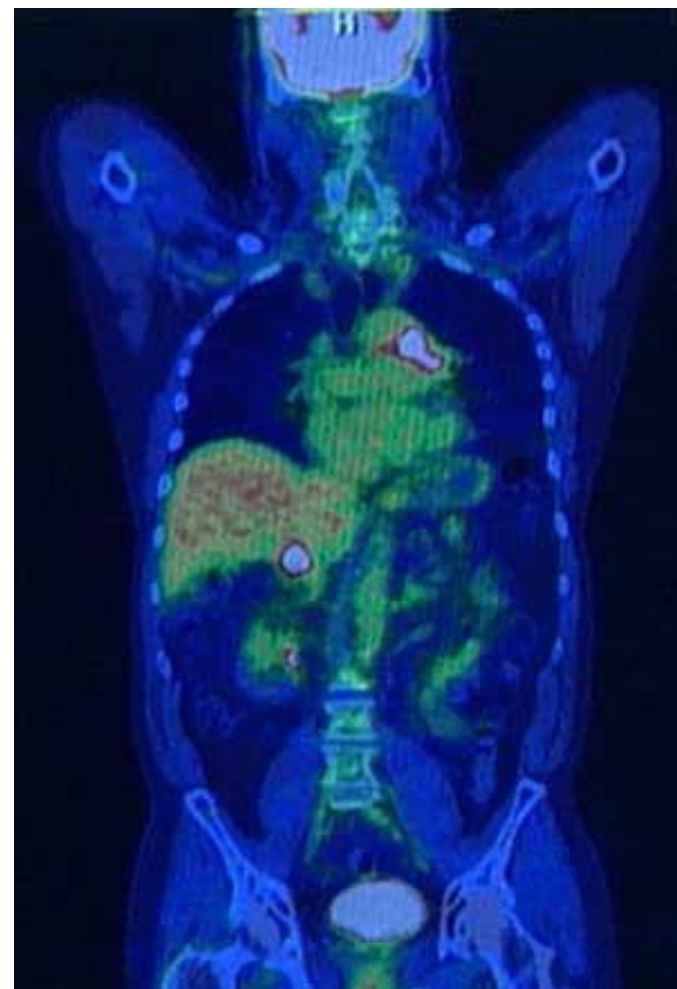
- Scyntylatory – ponownie emituje energię w postaci światła po uderzeniu przez nadlatującą cząstkę
- Fotopowielacz – zwiększają natężenie prądu wytwarzanego przez padające światło (nawet $\times 10^8$) umożliwiając detekcję pojedynczych fotonów
- Układy elektroniczne sterują systemem akwizycji obrazów





Rekonstrukcja obrazu

- Akwizycja wielu przypadków rozpadu promieniotwórczego
- Lokalizacja zdarzenia na linii odpowiedzi (lepszej jakości skanery PET mają czas detekcji poniżej 500ps)
- Rekonstrukcja technikami tomografii komputerowej

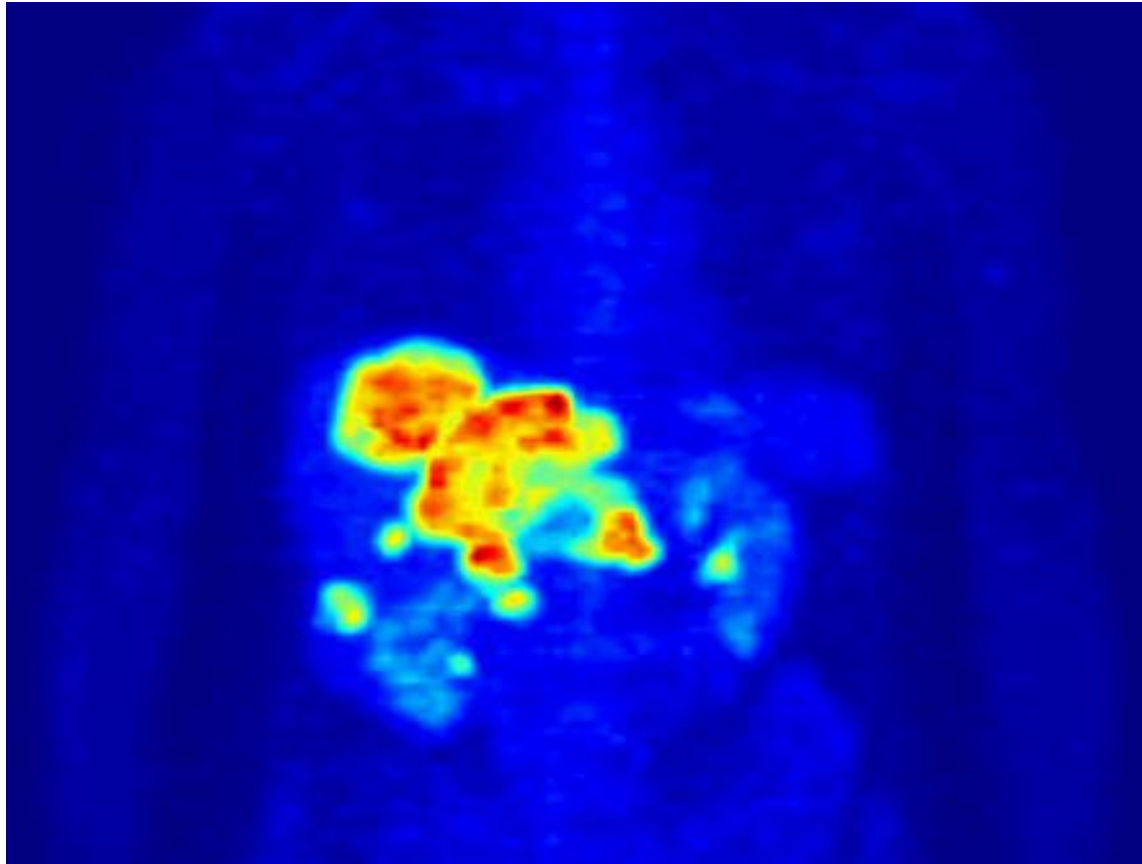


<http://www.radiologyinfo.org/>





Przykład obrazu PET



Projekcja maksymalnej intensywności (MIP) całego ciała (prezentowany fragment) PET

[http://pl.wikipedia.org/wiki/Pozytonowa_emisyjna_tomografia_komputerowa]



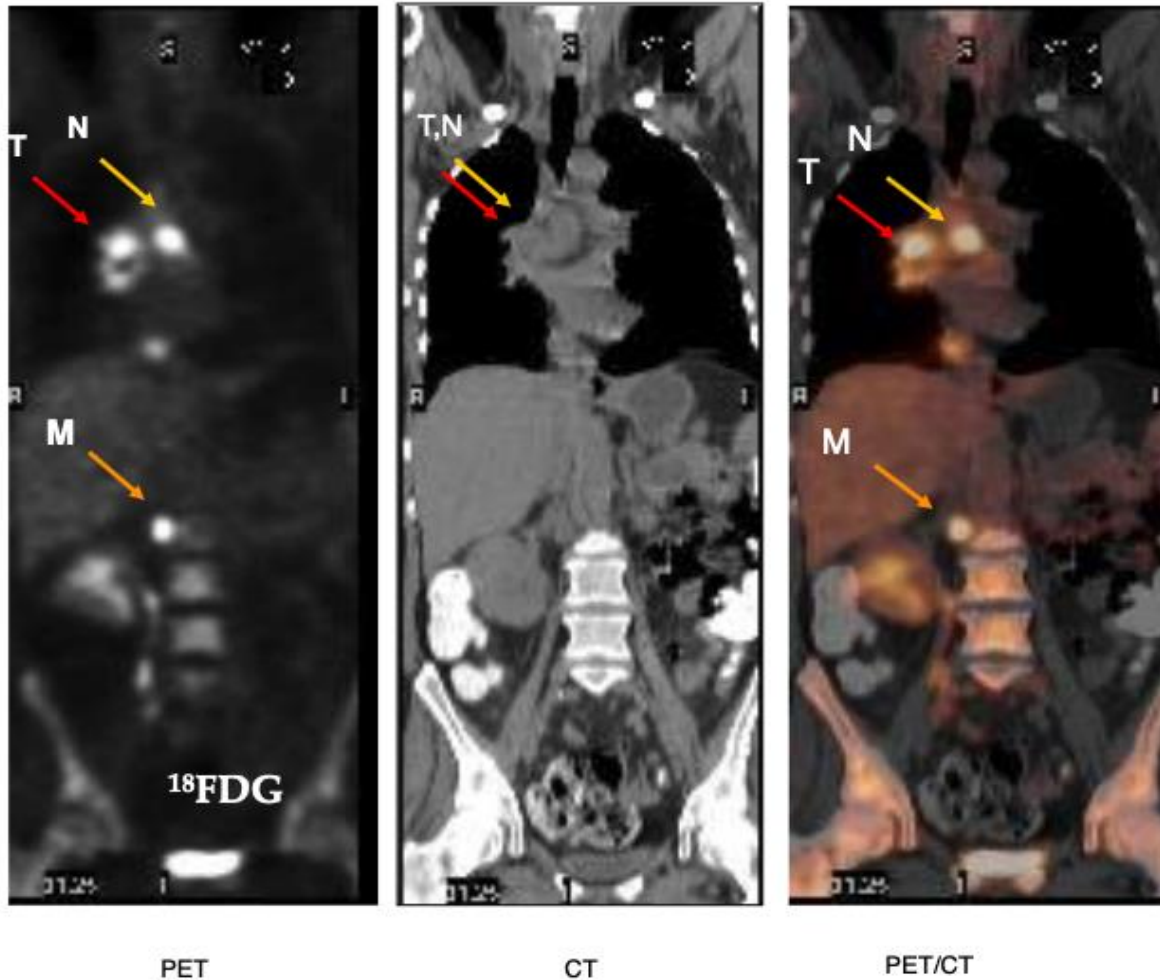
Zastosowania diagnostyczne PET

Dokładność badania PET wynosi:

- rak jajnika 81 proc.
- rak płuca 91 proc.
- nowotwory głowy i szyi 92 proc.
- rak sutka 92 proc.
- rak trzustki 92 proc.
- tkanki miękkie i kości 93 proc.
- nowotwory w płucu 94 proc.
- rak jelita grubego 94 proc.
- chłoniaki 97 proc.
- melanoma 98 proc.
- rak tarczycy (przerzutowy) 100 proc.

Zastosowania diagnostyczne PET

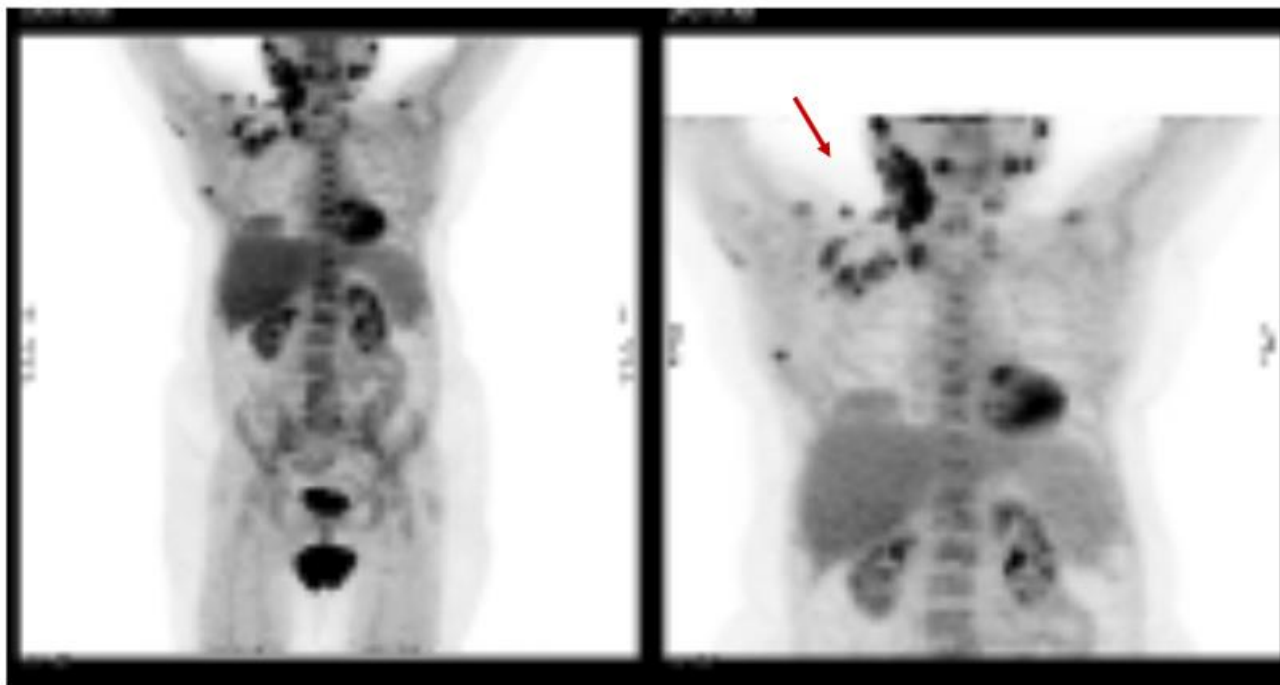
Rak płuca (T) z naciekiem węzła (N) i odległym przerzutem w jamie brzusznej (M)



<https://docplayer.pl/7946097-Pet-pozytonowa-emisyjna-tomografia-zmn-csk-um-lodz.html>

Zastosowania diagnostyczne PET

PET ^{18}F FDG

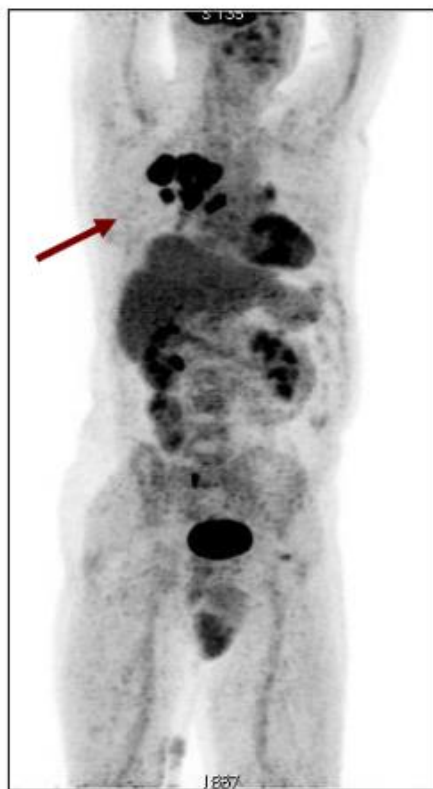


Chłoniak – lokalizacja i rozległość zmian

<https://docplayer.pl/7946097-Pet-pozytonowa-emisyjna-tomografia-zmn-csk-um-lodz.html>

Zastosowania diagnostyczne PET

PET/CT ^{18}F FDG



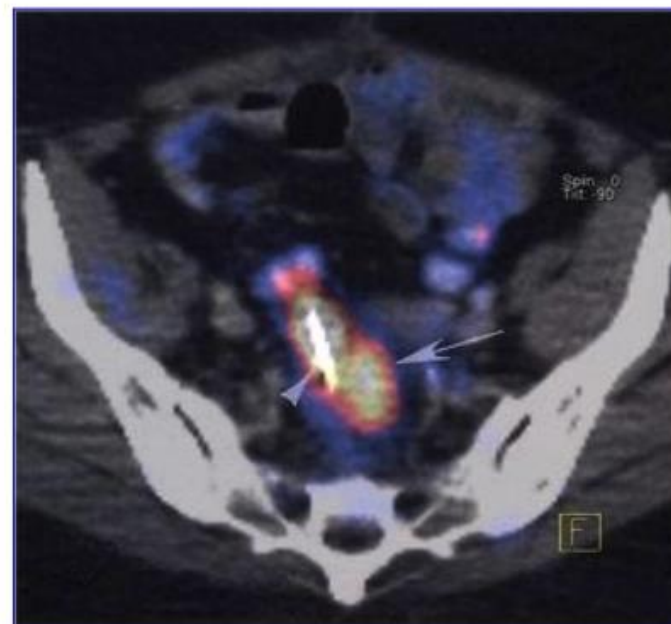
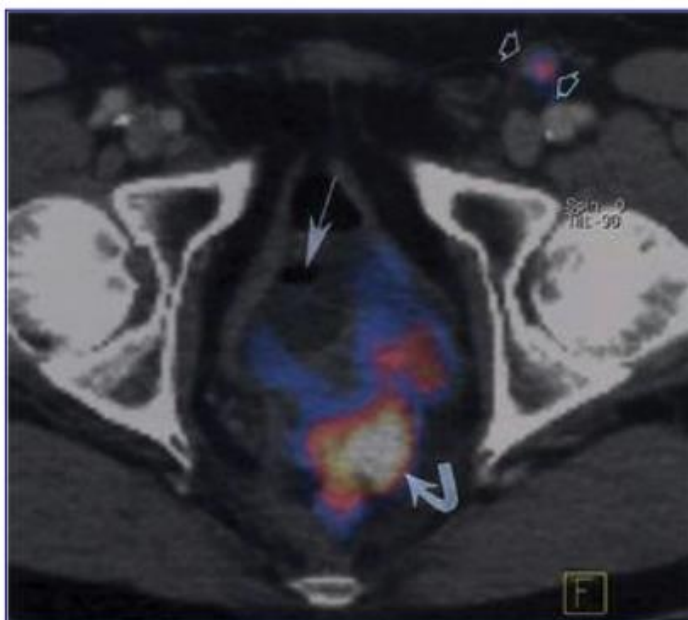
Planowanie radioterapii



Rak płuca prawego

<https://docplayer.pl/7946097-Pet-pozytonowa-emisyjna-tomografia-zmn-csk-um-lodz.html>

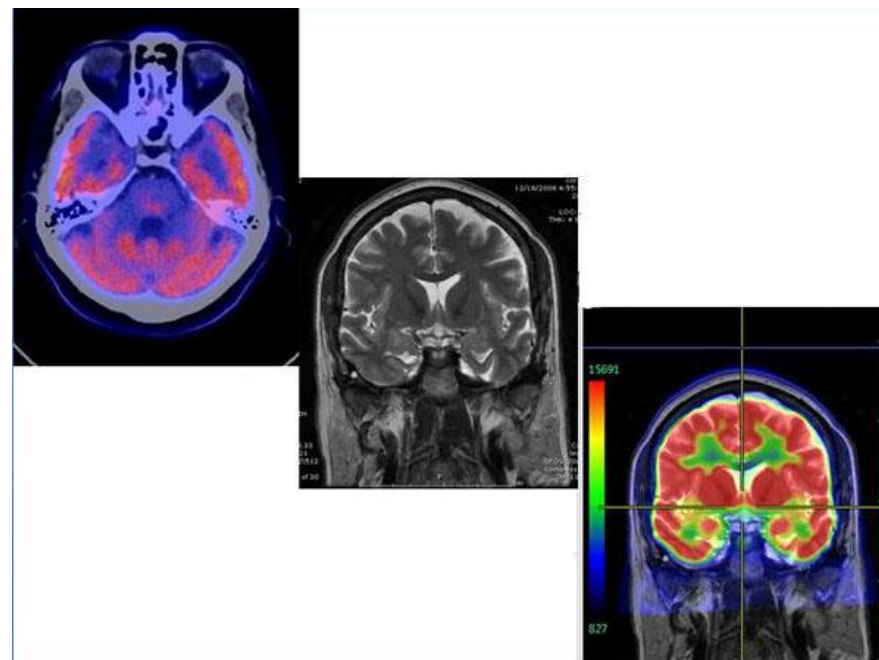
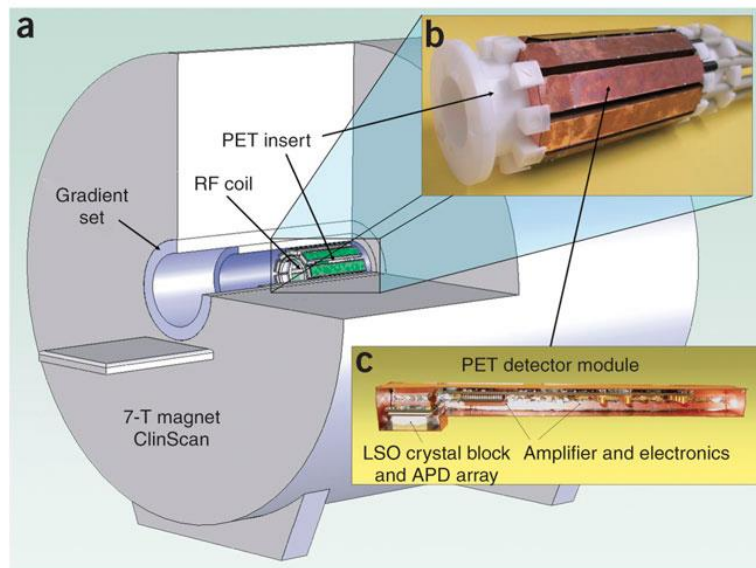
Zastosowania diagnostyczne PET



Rak odbytnicy

<https://docplayer.pl/7946097-Pet-pozytonowa-emisyjna-tomografia-zmn-csk-um-lodz.html>

Skanery PET + MRI



Urządzenia łączące obrazowanie pozytonową tomografią emisyjną (PET) oraz rezonansem magnetycznym (MRI); badania wykonywane jednocześnie, obrazy dopasowywane bezpośrednio w urządzeniu

http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=K2hAcri-ZIE

<https://www.youtube.com/watch?v=r3TiTfMNLw8>



Skannery PET + MRI

- Wykazano, że wykrywalność zmian patologicznych w wybranych nowotworach w obrazach zarejestrowanych za pomocą **PET/MRI jest wyższa o 15%** vs. PET/CT.
- Udowodniono również, że narażenie na promieniowanie jonizujące przy wykonaniu tego **badania jest niemal o 80% niższe** w odniesieniu do PET/CT.

[http://jnm.snmjournals.org/content/61/8/1131?fbclid=IwAR1cYFy17na2e_anDUwCaAr86FwUJ2-fxRP5IY_wGbenJrZJUowmpMwKNGM]





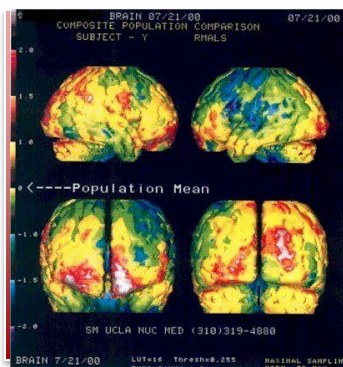
Różnica między obrazowaniem jądrowym a innymi technikami

W badaniu rentgenowskim lub tomografii komputerowej promieniowanie jest generowane przez urządzenie rentgenowskie lub tomografię komputerową, a następnie przechodzi przez ciało pacjenta, zanim zostanie wykryte i zarejestrowane na kliszy lub komputerze.

Medycyna nuklearna stosuje odwrotne podejście: materiał radioaktywny jest wprowadzany do organizmu pacjenta, a następnie wykrywany przez gammakamerę.

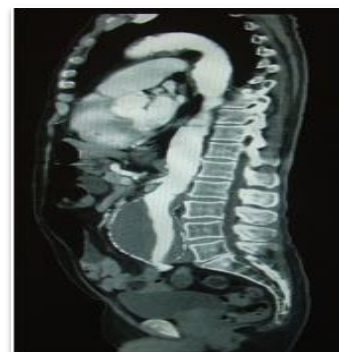


Obrazowanie jądrowe



Obrazowanie jądrowe
pokazuje, jak
funkcjonują narządy

Inne techniki
pokazują anatomię
lub wygląd narządów





Przed badaniem

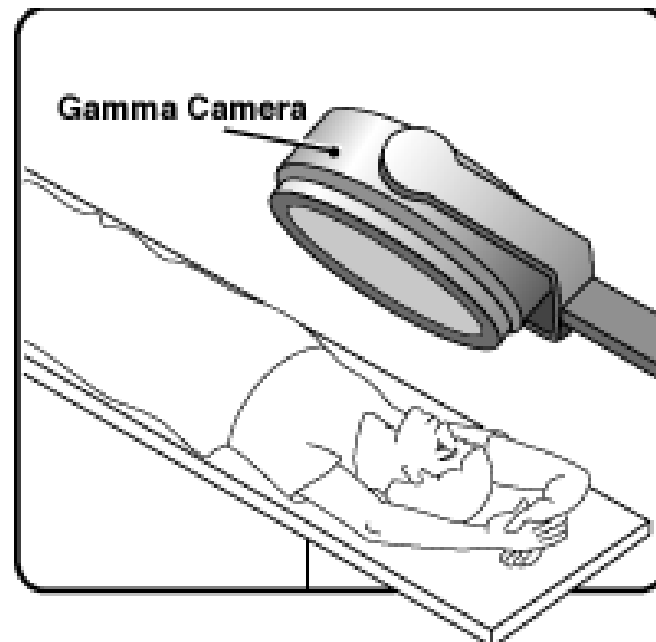
Należy poinformować lekarza:

- Alergie i wszelkie aktualnie przyjmowane leki.
- Pacjenci z cukrzycą powinni powiadomić lekarza lub technika o tej chorobie.
- Cięża (lub karmienie piersią)
- Implanty protetyczne



W trakcie badania

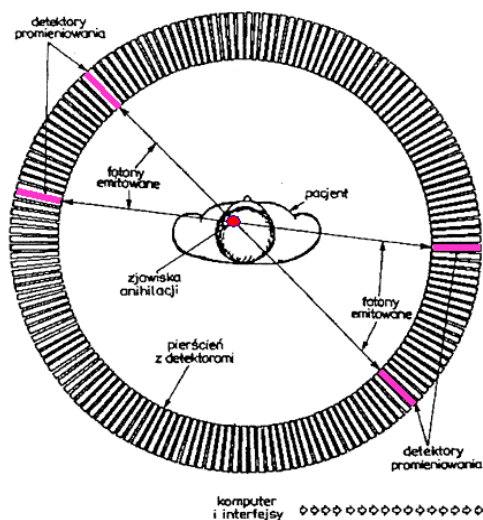
Proszę: Leż spokojnie !!!



After the radioactive tracer material is administered, the patient lies very still on a table while a special camera detects gamma radiation, which is transmitted to computer. The physician studies the computerized images to assess how well an organ is functioning.

8 obecnie działających jednostek medycznych wyposażonych w sprzęt PET-CT:

Bydgoszcz (PET od 2003 r.), Gliwice, Kielce, Poznań, Warszawa (2), Wrocław, Łódź (2)





References

http://my.clevelandclinic.org/services/nuclear_imaging/hic_nuclear_imaging.aspx

<http://www.imaginis.com/nuclear-medicine/clinical-uses-of-nuclear-medicine-2>

„Obrazowanie parametryczne w badaniu mózgu metodami MRI/PET” J. Rumiński, R.Kalicka, B.B Bilewicz, Gdańsk 2006 [p.70-104]

Miliony dla łódzkich szpitali. Będą remonty i sprzęt (pol.). Gazeta Wyborcza Łódź. [2010-03-04].

http://www.google.pl/imgres?imgurl=http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b5/Szpital_MSWiA_Lodz.jpg&imgrefurl=http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Szpital_MSWiA_Lodz.jpg&usq=__Y0gP5KGRb9V6oQcA7zrP_Nr7Mxg=&h=1200&w=1600&sz=389&hl=pl&start=2&sig2=zZRou_VNjD5NEM5nNUEdgw&zoom=1&itbs=1&tbnid=X9pzlt0wH3jvsM:&tbnh=113&tbnw=150&prev=/images%3Fq%3Dszpital%2Bmswia%2B%25C5%2582%25C3%25B3d%25C5%25BA%26hl%3Dpl%26client%3Dopera%26sa%3DX%26rls%3Dpl%26channel%3Dsuggest%26tbs%3Disch:1%26prmd%3Divnsm&ei=6602TdCFN5P-4AbRrJTDAg





References

- http://my.clevelandclinic.org/services/nuclear_imaging/hic_nuclear_imaging.aspx
- <http://www.imaginis.com/nuclear-medicine/clinical-uses-of-nuclear-medicine-2>
- „Obrazowanie parametryczne w badaniu mózgu metodami MRI/PET” J. Rumiński, R.Kalicka, B.B Bilewicz, Gdańsk 2006 [p.70-104]
- Miliony dla łódzkich szpitali. Będą remonty i sprzęt (pol.). Gazeta Wyborcza Łódź. [2010-03-04].
- http://www.google.pl/imgres?imgurl=http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b5/Szpital_MSWiA_Lodz.jpg

