



# **TECHNIKI OBRAZOWANIA W KARDIOLOGII NUKLEARNEJ**

**Autor: Dorota Kokosińska**

Praca zaliczeniowa z przedmiotu Metody i Techniki Jądrowe

**Prowadzący: prof. dr hab. Jan Pluta**



**Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki**

ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

tel. +48 222 347 267, fax: +48 226 282 171

[www.fizyka.pw.edu.pl](http://www.fizyka.pw.edu.pl)

# Spis treści

<b>1. Rozwój i podstawy medycyny nuklearnej</b> .....	3
1.1. Podstawy medycyny nuklearnej.....	3
1.2. Zarys historyczny .....	4
1.3. Nieinwazyjne techniki obrazowania stosowane w kardiologii.....	5
1.3.1. Echokardiografia .....	5
1.3.2. Tomografia komputerowa.....	6
1.3.3. Rezonans magnetyczny .....	8
1.4. Wykorzystanie reakcji jądrowych w medycynie nuklearnej .....	10
<b>2. Wiarygodność metod diagnostycznych</b> .....	11
<b>3. Radiofarmaceutyki</b> .....	12
3.1. Własności radiofarmaceutyków .....	12
3.2. Rodzaje radioizotopów stosowanych w medycynie nuklearnej .....	13
3.3. Wytwarzanie .....	14
<b>4. Aparaty scyntygraficzne</b> .....	15
<b>5. Techniki obrazowania w kardiologii nuklearnej</b> .....	17
5.1. SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) .....	17
5.1.1. Scyntygrafia w chorobie niedokrwiennej serca, GSPECT .....	17
5.1.2. Scyntygrafia „gorąca” .....	20
5.1.3. SPECT-CT .....	20
5.2. PET (Positron Emission Tomography).....	21
5.2.1. Podstawy fizyczne metody Positron Emission Tomography .....	22
5.2.2. Radioizotopowa angiokardiografia.....	23
5.2.3. Uzyskiwanie obrazów metodą bramkową (wentrykulografia izotopowa).....	24
5.2.4. PET-CT .....	26
<b>6. Podsumowanie</b> .....	27
<b>7. Bibliografia</b> .....	28

# 1. *Rozwój i podstawy medycyny nuklearnej*

---

## 1.1. *Podstawy medycyny nuklearnej*

Według ustawy z dnia 12 marca 2004r. o zmianie ustawy z dnia 29 listopada 2000r –Prawo atomowe:

**„ Medycyna nuklearna to wszelka działalność diagnostyczna związana z podawaniem pacjentom produktów radiofarmaceutycznych, a także z zabiegami terapeutycznymi przy użyciu produktów radiofarmaceutycznych. ” [25]**

---

Założeniem technik obrazowania jest wywołanie zmian głównie w ogniskach chorobowych po to, aby móc zauważyć patologię w tych miejscach i umiejętnie zaplanować leczenie. Medycyna nuklearna pozwala na wykrycie potencjalnych zmian czy anomalii fizjologicznych w organizmie człowieka. Dzięki takiemu obrazowaniu jesteśmy w stanie wykryć potencjalne „zagrożenia” ze strony naszego organizmu, co w przypadkach wczesnego wykrycia choroby jest związane z możliwością całkowitego wyleczenia.

Wniknięcie substancji radioaktywnej w przypadku medycyny nuklearnej nazywa się inkorporacją (nie odnosi się to do wniknięcia substancji powodującej wewnętrzne skażenie w wyniku zdarzenia losowego). Stosowanie znaczników promieniotwórczych w medycynie nuklearnej sprowadza się do przedsięwzięć ograniczonych zaleceniami lekarza specjalisty. Wprowadzanie radiofarmaceutyków odbywa się zazwyczaj poprzez inhalację, iniekcję, drogą doustną, dotętniczo, dokanałowo, podskórnie lub domięśniowo. Wielkość dawek, które „pochłaniamy” po wniknięciu takiej substancji zależy najczęściej od rozmieszczenia takiego izotopu w narządach lub tkankach i zmienności tego rozmieszczenia w czasie. Należy jednak pamiętać, że w każdym przypadku, kiedy mamy do czynienia z substancją promieniotwórczą, możemy spodziewać się działań niepożądanych. W najgorszym przypadku może dojść do mutacji genetycznych.

Medycyna nuklearna znajduje również zastosowanie w terapii wielu innych schorzeń. Są to między innymi:

- Leczenie nadczynności tarczycy – polega na przyjęciu kapsułki, która zawiera radioaktywny jod, który wchłania się do krwi i wychwytywany zostaje przez tarczycę. Promieniowanie takie powoduje, że zostaje zahamowana produkcja hormonów tarczycy, co umożliwia terapię jej nadczynności. Metodę z zastosowaniem radioaktywnego jodu można także stosować w przypadku powiększenia narządu tarczycy bez zaburzeń jej funkcji.
- Leczenie stanów zapalnych stawów takich jak zmiany zwyrodnieniowe stawów czy choroba reumatyczna – polega na nakłuciu chorego stawu i wprowadzeniu dożylnie odpowiedniego radioizotopu. Powoduje to ustąpienie dolegliwości poprzez zahamowanie procesu zapalnego.
- Leczenie przeciwbólne u pacjentów z przerzutami do kości – w takiej sytuacji wstrzykuje się radioizotop, który gromadzi się w tych miejscach, co również hamuje zapalenie i pozwala na zredukowanie bólu.

- Choroby nowotworowe - może być stosowana między innymi jako terapia radykalna, która ma na celu wyleczenie choroby lub/i terapia paliatywna, którą stosuje się, aby poprawić komfort życia pacjenta. Terapie takie są stosowane w leczeniu nowotworów złośliwych takich jak mięsaki, który nie jest związany z tkanką nabłonkową, rak, który pochodzi z tkanki nabłonkowej oraz potworniak, jak również w leczeniu nowotworów łagodnych, ale także zdiagnozowanych przerzutów czy potencjalnie możliwych przerzutów.

## 1.2. Zarys historyczny

- W 1913r. George Hevesy wraz z Friedrichem Paneth przeprowadzili pierwsze badania z użyciem znacznika  $^{210}\text{Pb}$ .
- W 1923r. Hevesy wykonał badania u roślin z użyciem  $^{210}\text{Pb}$ , a w 1924r. przeprowadził natomiast doświadczenie z użyciem znaczników radioaktywnych  $^{210}\text{Pb}$  i  $^{210}\text{Bi}$  u zwierząt.
- Od 1915r. do 1930r. miało miejsce kilka poważnych przypadków związanych z nadużyciem stosowania znaczników radioaktywnych u ludzi, szczególnie  $^{226}\text{Ra}$  stosowanego przeważnie w postaci  $\text{RaCl}_2$ .
- W latach 1928-1932 wprowadzono przepisy ochronne, które miały na celu ograniczenie dostępności i stosowania substancji promieniotwórczych.
- Ok. 1930r. Robert Jemison Van de Graaff uruchomił pierwszy liniowy akcelerator, natomiast 2 lata później został skonstruowany pierwszy cyklotron - dokonał tego Thomas Edward Lawrence.
- W 1934r. Enrico Fermi otrzymał  $^{128}\text{I}$ .
- Za początek diagnostyki związanej z radioizotopami uznaje się badanie z użyciem  $^{24}\text{Na}$  – badanie diagnostyczne u człowieka – wykonane w 1936r. przez Josha Hamiltona. W tym samym roku Hamilton zastosował po raz pierwszy do leczenia białaczki u człowieka izotop  $^{32}\text{P}$ .
- Ważnym momentem, który wpłynął na rozwój medycyny nuklearnej, było skonstruowanie i uruchomienie atomowego reaktora – miało to miejsce w 1942r.
- W 1958r. Anger zademonstrował prototyp gamma kamery.
- W 1962r. w USA zostaje zainstalowana wyprodukowana fabrycznie kamera scyntylicyjna.
- Przez cały czas poszukiwano co raz to nowszych substancji radiofarmaceutycznych zarówno do diagnostyki jak i terapii medycznej w dziedzinie medycyny nuklearnej. Radionuklidem „prawie idealnym” okazał się  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , który stosowany był do badań wykonywanych za pomocą gamma kamery i zastąpił on stosowany wcześniej  $^{131}\text{I}$ .
- Kolebką medycyny nuklearnej były Stany Zjednoczone Ameryki Północnej.
- W Polsce natomiast duże znaczenie miało, w 1955r., utworzenie Instytutu Badań Jądrowych, a następnie, w 1958r., uruchomienie reaktora „Ewa”.
- Pod koniec lat pięćdziesiątych w Polsce nastąpił rozwój placówek diagnostyki i terapii medycznej. Uruchomiono wówczas Zakład Radiologii Lekarskiej w Warszawie, filię Instytutu Onkologii w Gliwicach oraz Zakład Medycyny Nuklearnej w Ośrodku Ochrony Radiologicznej i Radiobiologii Wojskowego Instytutu Higieny i Epidemiologii w Warszawie.

- W 1925r. założono Polskie Lekarskie Towarzystwo Radiologiczne(w jego skład wchodzi m.in. Sekcja Radiologii Sercowo-Naczyniowej) działające do dziś, którego celem jest

**„Rozwijanie i propagowanie radiologii polskiej, inspirowanie członków do twórczej pracy naukowej i stałego podnoszenia ich kwalifikacji zawodowych oraz wykorzystanie nowych zdobyczy nauki w praktyce”. [24]**

---

### 1.3. *Nieinwazyjne techniki obrazowania stosowane w kardiologii*

#### 1.3.1. *Echokardiografia*

Najbardziej znanym i najczęściej wykonywanym badaniem przezklatkowym jest echokardiografia. Całkowicie nieinwazyjna technika echokardiografii bazuje na ultradźwiękach, w wyniku której nie występują żadne efekty uboczne, zatem nie ma ograniczeń pod względem ilości wykonywanych badań.

- **Echokardiografia obciążeniowa** – pozwala na ocenę kurczliwości miokardium, w przypadku zwiększonego zapotrzebowania na energię, co uzyskuje się dzięki:
  - obciążeniu wysiłkowym lub farmakologicznym (dobutamina, adenozyzna, dipirydamol)
  - szybkiej stymulacji serca (wykorzystuje się do tego celu elektrodę przezprzełykową)

Więcej informacji dotyczących zastosowania echokardiografii obciążeniowej w praktyce klinicznej można znaleźć w artykule z 2011r. [11]

- **Echokardiografia przezprzełykowa** – monitorowanie układu krążenia i ocena funkcji serca

Badanie to polega na wprowadzeniu sondy emitującej ultradźwięki, której średnica wynosi ok.1mm, do przełyku. W tym badaniu wykorzystuje się fakt, że przełyk znajduje się w bliskim sąsiedztwie z lewą komorą i lewym przedsionkiem serca.

(Ciekawy link – aplikacja umożliwiająca podgląd 20 projekcji echokardiografii przezprzełykowej [26])

- **Echokardiografia śródoperacyjna** - pozwala na monitorowanie serca w czasie operacji i w okresie pooperacyjnym.
- **Echokardiografia kontrastowa** – pozwala na ocenę przepływu krwi w badanym obszarze

Badanie to polega na dożylnym podaniu środków, które charakteryzują się przepływem podobnym do erytrocytów w celu wzmocnienia sygnału.

- **Echokardiografia przezklatkowa** umożliwia:
  - ocenę wymiarów serca – badanie jednowymiarowe
  - obliczenie frakcji wyrzutowej – badanie dwuwymiarowe
  - ocena struktur serca w 3D – badanie trójwymiarowe
  - monitorowanie prędkości elementów, które odbijają emitowaną wiązkę ultradźwięków- badanie Dopplera



Rys.1. Rysunek przedstawiający przykładowy obraz otrzymywany w badaniu echokardiografii przezklatkowej [27]

### 1.3.2. Tomografia komputerowa

Tomografia komputerowa jest nieinwazyjną metodą diagnostyczną, która wykorzystuje promieniowanie rentgenowskie. Umożliwia ona zobrazowanie wnętrza organizmu. Uzyskiwane w wyniku prześwietlenia obrazy (statyczne lub filmy) mają formę przekrojów w wybranych płaszczyznach lub rekonstrukcji 3D.

Obecnie w celu diagnostyki serca wykorzystuje się **komputerową tomografię wielorzędową (MDTC- Multi-row-detector computed tomography)**. MDTC umożliwia diagnozowanie takich struktur anatomicznych jak: tętnice wieńcowe, zastawki, jamy serca oraz zastawki oraz pozwala na ocenę kurczliwości serca, zwężenia i uwapnienia naczyń (określenie stadium miażdżycy) oraz wyliczenie frakcji wyrzutowej.

Rozwój MDTC, który jest związany z techniką skanerów (obecnie używa się 64-rzędowych tomografów) umożliwił krótki czas badania (ok.10s)-jest to ważna cecha np. przy obrazowaniu całej klatki piersiowej, które teraz można wykonać w czasie jednego pełnego oddechu. Dodatkowo uległa polepszeniu przestrzenna rozdzielczość (ok.0,4mm), skrócił się czas obrotu skanera oraz zmniejszyła się dawka promieniowania.

W stosowanych systemach MDTC wykorzystuje się różne rodzaje rekonstrukcji obrazów serca i naczyń wieńcowych. Najczęściej wykorzystywane to:

- **Maximum intensity projection (MIP)** – używana w badaniach naczyń
- **Multipanar reformed reconstructions (MPR)** – umożliwia ocenę miokardium, naczyń i zastawek
- **Multipanar wolume rendering (MPVR)** – rekonstrukcja objętościowa
- **3D** – odzwierciedlenie przebiegu naczyń
- **Wirtualna angiografia** – ocena wnętrza naczynia



*Rys. 2. Rysunek przedstawiający zwapnienie zastawki między aortą a lewą komorą serca w rekonstrukcji MPR [7]*

Badanie wykonywane jest w pozycji leżącej na wznak. Najpierw zakłada się wenflon do żyły odłokciowej, przez który podaje się niejonowy środek kontrastowy w celu zakontrastowania naczyń. Podczas akwizycji konieczne jest wstrzymanie oddechu na ok. 30s. W pierwszym etapie gromadzenia danych dokonuje się oceny stadium uwapnienia naczyń (co nie wymaga podania kontrastu) w trybie sekwencyjnym w czasie którego do akwizycji obrazu dochodzi w zdefiniowanym wcześniej oknie czasowym, a nie podczas całego cyklu pracy serca (pozwala to na ograniczenie dawki promieniowania do ok. 80%). W kolejnym etapie natomiast wykonywana jest angiografia naczyń i jam serca przy wcześniejszym podaniu kontrastu jodowego. W tym etapie wykorzystuje się algorytm zbierania danych na podstawie retrospektywnego bramkowanego EKG - akwizycja następuje w trakcie całego cyklu pracy serca oraz wykorzystywana jest wsteczna rekonstrukcja w różnym momencie cyklu - pozwala to ocenić funkcję serca i wyeliminować artefakty.

Przeciwwskazaniami do MDTC mogą być:

- nasilone zaburzenia rytmu serca
- tachykardia
- niewydolność oddechowa w stadium zaawansowanym
- ciąża
- uczulenie na środki kontrastowe

MRI-magnetic resonance imaging –rezonans magnetyczny jest metodą diagnostyczną, która swoje zastosowanie znalazła także w obrazowaniu serca. Badanie z zastosowaniem rezonansu magnetycznego wykonuje się w sytuacji gdy technika echokardiografii nie umożliwiła precyzyjnej diagnostyki zmian w sercu.

Working Group on Cardiovascular Magnetic Resonance (CMR) of European Society of Cardiology i The Society for Cardiovascular Magnetic Resonance zaproponowała podział wskazań na 4 klasy ( Podział pochodzi z [6] ) :

- **klasa I** — grupa chorób, w których badanie serca metodą MRI powinno być wykonane jako metoda obrazowa pierwszego rzutu; obejmuje ona: wrodzone wady serca u dorosłych, diagnostykę dużych naczyń, diagnostykę choroby niedokrwiennej serca (żywność, rozległość blizny), kardiomiopatie, ocenę masy i funkcji komór, diagnostykę guzów serca;
- **klasa II** — grupa schorzeń, w których podobne informacje można uzyskać za pomocą innych technik obrazowych; do wspomnianych schorzeń należą: wady wrodzone u dzieci, choroby dużych naczyń (np. ostre rozwarstwienia aorty), diagnostyka choroby niedokrwiennej serca (ocena perfuzji, obecność skrzeplin w jamach), dysfunkcja pomostów aortalno-wieńcowych, choroby osierdzia;
- **klasa III** — grupa wskazań, w której istnieją metody alternatywne i CMR ma ograniczone zastosowanie; na przykład ocena zastawek, naczyń wieńcowych, płynu w worku osierdziowym;
- **klasa IV** — w tej grupie, jak dotąd, MRI nie ma zastosowania klinicznego o udowodnionej przydatności, chociaż badania eksperymentalne prognozują przydatność tej metody w najbliższej przyszłości, na przykład w diagnostyce obwodowej zatorowości płucnej;

Rezonans magnetyczny wykorzystuje się do oceny:

- **morfologii serca**
  - wykorzystywane są sekwencje SE (spin echo) i TSE/FSE (turbo spin echo/Fast spin echo);
  - obejmuje badanie miokardium i otaczających go struktur;
  - ocenia się maksymalny i minimalny wymiar poprzeczny prawej i lewej komory serca;
  - ocenie podlega również grubość ścian komór oraz przegrody;
  - obliczana jest masa mięśnia lewej komory (kardiomiopatie, nadciśnienie, zwężenie zastawki aortalnej)
  - ocena występowania płynu w osierdziu, krwi w worku osierdziowym;
  - badanie tętnic wieńcowych (zobrazowanie wnętrza naczyń);
  - wykorzystuje się systemy rzędu 3T(tesli);
- **funkcji czynnościowej serca**
  - ocenia się frakcję i objętość wyrzutową, kurczliwość i ruchomość miokardium oraz objętość jam serca;
  - wykorzystywane są sekwencje: GE (gradient echo), SSFP (steady-state free precession sequence) oraz cin-MR



- **ukrwienia i żywotności miokardium**

- badanie perfuzji – 2 etapy:
  - first pass – pierwsze przejście (podanego dożylnie) środka kontrastowego przez miokardium (gorsze ukrwienie – mniejsze wzmocnienie kontrastowe)
  - akwizycja po ok. 10 do 30 min od podania kontrastu – uwidocznienie obszaru objętego martwicą w zawale lub blizną
- badanie żywotności - obciążeniowe testy farmakologiczne

Sekwencje to kolejne impulsy i gradienty, które umożliwiają uzyskanie sygnału – określają one metodę uzyskiwania obrazów poprzez dobranie odpowiednich parametrów.



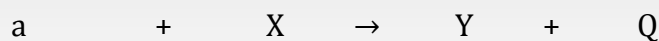
*Rys. 3. Rysunek przedstawiający badanie morfologii serca (płyn w osierdziu) - sekwencja spin-echo [6]*

Obecnie wykorzystuje się również **spektroskopię rezonansu magnetycznego**, która umożliwia ocenę metabolizmu miokardium – zalecana dla osób z takimi schorzeniami jak: kardiomiopatie czy niedokrwienie, ale także dla pacjentów po transplantacjach. Spektroskopia pozwala ocenić progres leczenia. Nie wymaga ona podawania kontrastu i jest pozbawiona działań ubocznych.

#### 1.4. Wykorzystanie reakcji jądrowych w medycynie nuklearnej

Współczesna medycyna nuklearna zazwyczaj stosuje izotopy, które nie występują w naturalnych szeregach promieniotwórczych, a źródłem takich izotopów są reakcje jądrowe. „Pociskami”, które wywołują takie reakcje są przede wszystkim: protony, neutrony,  ${}^2_1\text{H}$ ,  ${}^4_2\text{H}$ , cięższe jądra, oraz czasami mezon.

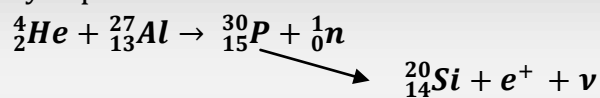
Reakcję jądrową można zapisać:



„pocisk” + „target” → produkty + wydzielona energia

Gdy wartość energii reakcji jest ujemna oznacza to, że pocisk miał wyższą energię niż tak zwana progowa energia reakcji, czyli minimalna energia pocisku, przy której ta reakcja może zajść.

Przykładem takiej reakcji może być np. :

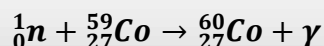
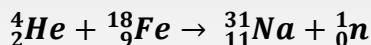


Wzór.1. Reakcja pochodzi z [2]

Powyższa reakcja przedstawia schemat „sztucznej” promieniotwórczości, w którym jednym z produktów jest  ${}^{30}_{15}\text{P}$  → jądro promieniotwórcze, którego rozpad zachodzi w sposób spontaniczny i nie różni się on od naturalnych jąder promieniotwórczych.

Dla medycyny nuklearnej ważne są te reakcje jądrowe, w których wyniku mogą powstać promieniotwórcze izotopy, które możemy wykorzystać w celach medycznych.

Są to między innymi:



Wzór.2. Wzory reakcji pochodzą z [2]

Wymagania w procesach produkcji promieniotwórczych izotopów, które powstają w wyniku reakcji jądrowych:

- wybór reakcji, w których dany izotop może powstać
- odpowiednie źródła pocisków (np. jądra przyspieszane w cyklotronie lub cząstki  $\alpha$ , które emitowane być mogą z substancji promieniotwórczej)
- realizacja zderzenia
- zebranie produktu
- przygotowanie produktu do postaci dogodnej dla konkretnej instytucji lub kliniki

Dodatkowo, przy każdej reakcji jądrowej, możemy określić prawdopodobieństwo zajścia takiej reakcji, którego miarą jest wielkość zwana **przekrojem czynnym**.

Przekrój czynny można wyrazić w jednostkach pola powierzchni ( $1 \text{ b} = 10^{-28} \text{ m}^2$ ). Miara ta stanowi odpowiednik tarczy w sensie geometrycznym i zmienia się ona w zależności od rodzaju pocisku i targetu .

**W dziedzinie medycyny nuklearnej pojęcie przekroju czynnego jest bardzo ważne, ponieważ pozwala nam ono określić wydajność przeprowadzonej reakcji jądrowej.**

## 2. *Wiarygodność metod diagnostycznych*

---

W obrazowaniu medycznym trzeba pamiętać o tzw. **wiarygodności zastosowanej metody**. Oznacza ona odpowiedni dobór metody do analizowanej cechy obrazu. Miarami wiarygodności takiej metody są m.in. **czułość i swoistość**, ale także **dokładność**. Musimy przeprowadzić badanie statystyczne co do użyteczności danej metody.

Jeśli naszym celem jest wykrycie osób chorych spośród grupy osób chorych i zdrowych to musimy wyznaczyć 3 wartości – wspomniane wcześniej czułość, swoistość i dokładność. Jeśli uznamy, że wartością pozytywną jest choroba pacjenta, to wartością prawdziwie pozytywną ( **TP - „true positive”** ) jest to, że metoda poprawnie zdiagnozowała osobę chorą, natomiast jeśli wynikiem diagnozy było to, że osoba zdrowa została uznana za chorą, to jest to wartość fałszywie pozytywna ( **FP - „false positive”** ). Natomiast jeśli wartością negatywną jest to, że pacjent jest zdrowy, to wartość prawdziwie negatywna ( **TN- „true negative”** ) oznacza, że osoba zdrowa została uznana za osobę bez żadnych zmian czy anomalii fizjologicznych. Natomiast w sytuacji gdy osoba chora zostanie zakwalifikowana do osób zdrowych, to jest to wartość fałszywie negatywna ( **FN - „false negative”** ).

Teraz możemy wyznaczyć parametry takie jak :

- $CZUŁOŚĆ = \frac{TP}{TP+FN}$
- $SWOISTOŚĆ = \frac{FP}{FP+TN}$
- $DOKŁADNOŚĆ = \frac{TP+TN}{TP+TN+FN+FP}$
- $WARTOŚĆ\ PREDYKCYJNA\ DODATNIA = \frac{TP}{TP+FP}$
- $WARTOŚĆ\ PREDYKCYJNA\ UJEMNA = \frac{TN}{TN+FN}$

**Czułość** jest miarą, która pozwala na określenie ilu pacjentów chorych zostało dobrze zdiagnozowanych.

**Swoistość** określa natomiast procentową wartość dobrze zdiagnozowanych zdrowych pacjentów.

W przypadku kiedy nie jesteśmy w stanie zoptymalizować najlepszych wartości czułości i swoistości, wtedy możemy obliczyć **dokładność**, która pozwala określić ile prawidłowych detekcji dokonała użyta metoda.

**Wartość predykcyjna dodatnia** umożliwia określenie w ilu procentach osoba chora może być pewna swej choroby na podstawie danej metody, zaś **wartość predykcyjna ujemna** – w ilu procentach pacjent może być pewien, że jest całkowicie zdrowy.

Metodę możemy uznać za wiarygodną kiedy zoptymalizujemy powyższe wartości i osiągniemy jak najlepsze wyniki.

### 3. *Radiofarmaceutyki*

---

Scyntygrafia jest jedną z metod terapii diagnostycznej, ale też w niewielkim stopniu terapeutycznej. W obrazowaniu tą metodą wykorzystuje się radiofarmaceutyki, które są substancjami metabolicznymi znaczone odpowiednimi izotopami promieniotwórczymi. Przy wyborze radiofarmaceutyku musimy mieć na uwadze fakt, że powinien być on odpowiednio dobrany do diagnozowanego narządu. Związane jest to z faktem, że substancja, która pełni rolę radiofarmaceutyku, jest w naturalny sposób gromadzona w danym narządzie.

Radiofarmaceutyki najczęściej wstrzykuje się do krwioobiegu, rzadziej stosowane jest wprowadzenie znacznika poprzez inhalację. Emitują one promieniowanie  $\gamma$ , które powstaje w wyniku rozpadu promieniotwórczego izotopu. Promieniowanie jest rejestrowane przez odpowiednie detektory, a następnie przetwarzane przez systemy komputerowe wzbogacone w różne systemy wizualizacji obrazów.

Badanie z wykorzystaniem radiofarmaceutyków pozwalają na uzyskanie informacji na temat czynności badanego narządu, ale nie jego anatomii (badania rentgenowskie). W przypadku kiedy występują jakieś odstępstwa od normy, co do gromadzenia danej substancji w narządzie, mówimy wtedy o zmianach patologicznych tego narządu.

#### 3.1. *Własności radiofarmaceutyków*

- powstają z chemicznego połączenia dwóch składników :
  - radioizotopu
  - ligandu - nośnik radioizotopu
  - mogą być również radiofarmaceutyki niezwiązane, bez nośnika, są to m.in.  $^{131}\text{I}$ ,  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{31}\text{P}$ ;
- promieniowanie emitowane:
  - gamma - promieniowanie elektromagnetyczne;
  - beta - promieniowanie cząsteczkowe;
- energia potrzebna, aby izotop wysyłał promieniowanie, wychodzące z ciała człowieka zawiera się w przedziale: od 68keV dla  $^{201}\text{Tl}$  do 364keV dla  $^{131}\text{I}$ ;
- promieniowanie powinno być monoenergetyczne;
- dość krótki czas połowicznego rozpadu - do kilku dni;
- dość krótki czas wydalania;
- czyste chemicznie.

### 3.2. Rodzaje radioizotopów stosowanych w medycynie nuklearnej

- reaktorowe – powstają w wyniku reakcji danego izotopu i neutronów

radionuklid	typ reakcji jądrowej	typ neutronów
$^{51}\text{Cr}$	$^{50}\text{Cr}(n,\gamma)^{51}\text{Cr}$	neutrony termiczne (0,1 eV)
$^{99}\text{Mo}$	$^{98}\text{Mo}(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$	
$^{59}\text{Fe}$	$^{59}\text{Co}(n,p)^{59}\text{Fe}$	neutrony szybkie (1 MeV)
$^{131}\text{I}$	$^{235}\text{U}(n,f)^{131}\text{I}$	rozpad jądra

Tab.1. Tabela przedstawiająca radionuklidy reaktorowe, która opisuje proces powstania poprzez naświetlanie określonym typem neutronów, w wyniku którego zachodzi pewna reakcja. [17]

- cyklotronowe – powstają w wyniku reakcji jądrowej danego izotopu i cząstek posiadających ładunek elektryczny

radionuklid	T1/2	promieniowanie	typ reakcji jądrowej
$^{11}\text{C}$	20,3 min	$\beta^+$	$^{10}\text{B}(d,n)^{11}\text{C}$
$^{13}\text{N}$	9,9 min	$\beta^+$	$^{12}\text{C}(d,n)^{13}\text{N}$
$^{18}\text{F}$	109,8 min	$\beta^+$ , EC	$^{16}\text{O}(^3\text{H},n)^{18}\text{F}$
$^{67}\text{Ga}$	78,3 h	$\gamma$ , EC	$^{65}\text{Cu}(\alpha, 2n)^{67}\text{Ga}$
$^{123}\text{I}$	13,3 h	$\gamma$ , EC	$^{121}\text{Sb}(\alpha,2n)^{123}\text{I}$
$^{201}\text{Tl}$	73,1 h	$\gamma$	$^{200}\text{Hg}(d,n)^{201}\text{Tl}$

Tab.2. Tabela przedstawiająca radionuklidy cyklotronowe, która zawiera promieniowanie jakie emituje nuklid matczyny, czas połowicznego rozpadu radionuklidu jak również zachodzący typ reakcji [17]

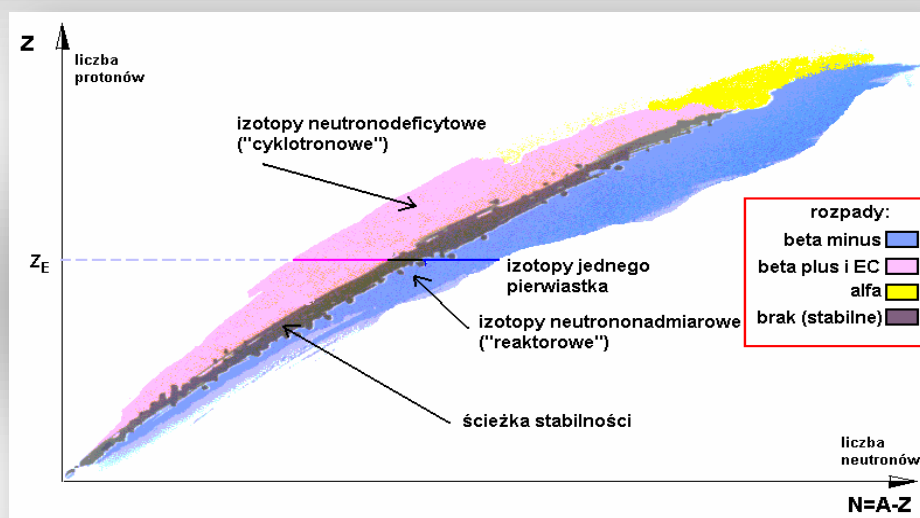
- generatorowe – powstają w wyniku samoistnego rozpadu izotopu matczynego

radionuklid	T1/2	Typ reakcji jądrowej	radionuklid	T1/2
$^{87}\text{Y}$	80 h	$\beta^+$ , EC	$^{87\text{m}}\text{Sr}$	2,8 h
$^{99}\text{Mo}$	67 h	$\beta^-$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6 h
$^{113}\text{Sn}$	118 dni	K, $\gamma$	$^{113\text{m}}\text{In}$	1,7 h
$^{132}\text{Te}$	75 h	$\beta^-$ , $\gamma$	$^{132}\text{I}$	2,4 h

Tab.3. Tabela przedstawiająca radionuklidy generatorowe, która przedstawia czas połowicznego rozpadu nuklidu matczynego, typ reakcji, radionuklid do jakiego rozpadł się radionuklid matczyny oraz czas połowicznego zaniku powstałego radionuklidu. [17]



Rys. 4. Rysunek przedstawiający syntezaator chemiczny do otrzymywania radiofarmaceutyków [22]



Rys. 5. „Mapa izotopów”[3]

### 3.3. Wytwarzanie

Do wytwarzania znaczników stosowanych w technikach takich jak PET czy SPECT nadaje się w zasadzie każdy przyspieszacz protonów, deuteronów i cząstek  $\alpha$  w zakresie energii od 10MeV do 40MeV.

Takim akceleratorem cząstek jest np. cyklotron. Radionuklidy można wytwarzać na wiązce wewnętrznej i wiązce wychodzącej z komory akceleracyjnej.

Etapy wytwarzania po zajściu reakcji jądrowej:

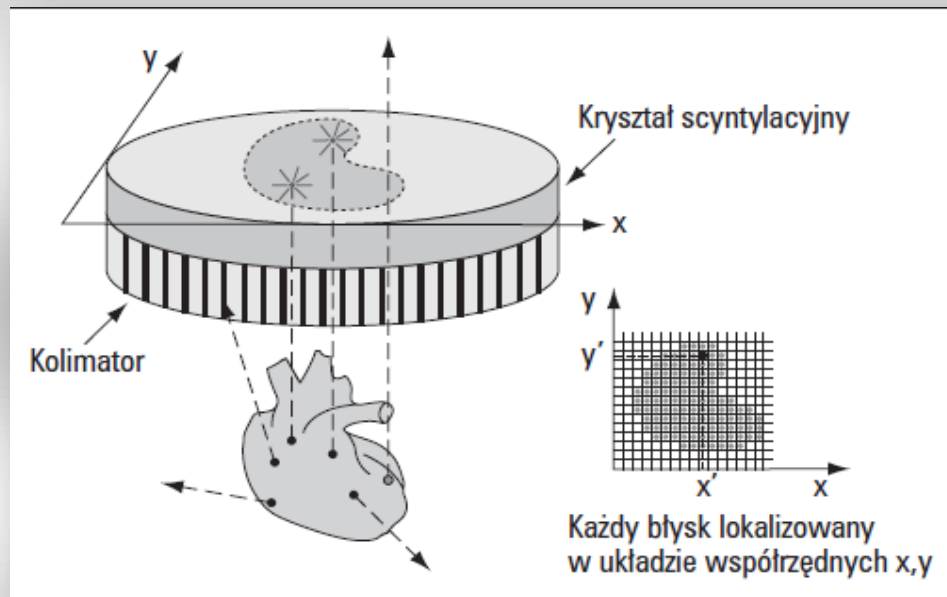
- wydzielenie radionuklidu z target;
- synteza znacznika;
- wstępne przygotowanie radiofarmaceutyku;
- finalna sterylizacja;
- kontrola jakości mająca na uwadze czystość chemiczną i biologiczną( w miejscu wytwarzania i w miejscu potencjalnego wykorzystania);

## 4. Aparaty scyntygraficzne

Kinetykę podanego dożylnie znacznika można zobrazować przy użyciu aparatów scyntygraficznych. Najczęściej stosowanym obecnie detektorem scyntylicyjnym jest gamma kamera, zwana również kamerą scyntylicyjną.

Charakterystyczne cechy gamma kamery:

- duży kryształ NaI,
- nieruchoma głowica detektora,
- zbieranie aktywności jednocześnie z dużej powierzchni,
- rejestracja pozycji źródła promieniowania,
- komputerowa analiza sygnału.



Rys.6. Schemat działania kamery scyntylicyjnej [10]

Gamma kamera składa się z:

- kryształu scyntylicyjnego (zazwyczaj NaI)
- zestawu fotopowielaczy.

Kamera scyntylicyjna to detektor promieniowania jonizującego, w których wykorzystywane jest zjawisko scyntytacji. Zasada działania opiera się na konwersji energii promieniowania gamma na błyski światła widzialnego. Obraz ten jest zamieniany w zestawie fotopowielaczy na impulsy elektryczne, które stopniowo są wzmacniane wewnątrz każdego fotopowielacza.

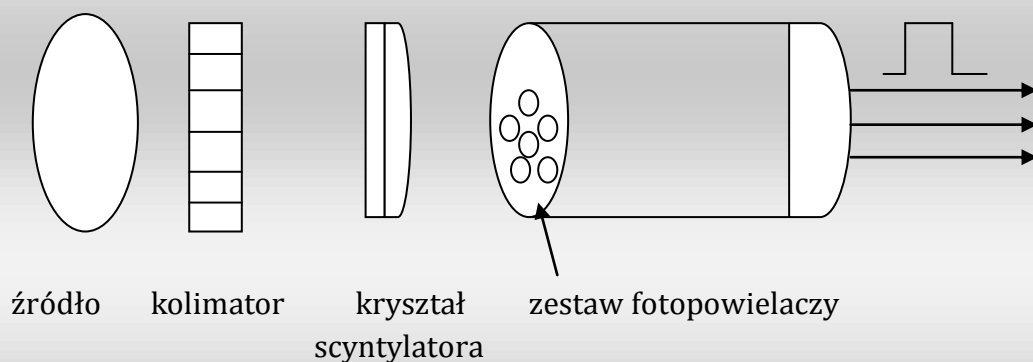
Impulsy elektryczne z matrycy detektorów „przechodzą” do obwodu elektrycznego, który wysyła 3 sygnały:

- Sygnał, którego amplituda odpowiada energii rejestracji fotonów, przechodzi następnie przez jednokanałowy analizator amplitudy. Pozwala on na odróżnienie kwantów gamma, które „wychodzą” z pacjenta od tych, które padają na scyntylicyjny. W uproszczeniu oznacza to możliwość odróżnienia kwantów z rozproszenia Comptona i kwantów pierwotnych.
- Dwa sygnały, które odpowiadają miejscu rejestracji fotonu wewnątrz obrazu.

Z miejsca, w którym został zaabsorbowany foton, światło będzie rozchodziło się w kryształ scyntylacyjny, a następnie dotrze do kilku fotopowielaczy za pomocą światłowodu. Intensywność świecenia będzie zależna od odległości zarejestrowania błysku od fotopowielacza. Następnie odpowiedni układ elektroniczny zbiera wszystkie impulsy i formuje je w dwa impulsy, których amplitudy informują o położeniu miejsca błysku. Ten sam układ zbiera również impulsy ze wszystkich fotopowielaczy po to, aby uformować z nich jeden impuls, którego amplituda informuje natomiast o energii promieniowania jonizującego.

Końcowy etap to odwzorowanie obrazu źródła na ekranie komputera, przy wcześniejszej przeróbce obrazów na binarną postać cyfrową, której dokonuje przetwornik ADC - analog to digital converter. W gamma kamerach używa się zazwyczaj 7- lub 8-bitowych przetworników, co oznacza, że interesujący nas obszar badań jest podzielony na  $2^7 \cdot 2^7$  lub  $2^8 \cdot 2^8$  pikseli.

Za źródłem często umieszcza się również kolimator, który służy do tego, aby każdy punkt na scyntylatorze odwzorowywał dokładnie jeden konkretny punkt na źródle. Kolimator stanowi układ szczelin lub otworów w metalowej konstrukcji.



Rys. 7. Rysunek przedstawiający poglądowy schemat działania gamma kamery

**Kamera scyntylacyjna używana do badań kardiologicznych** ma optymalnie zmniejszoną masę (ok. 550 kg) i wymiary, co pozwala na jej przewożenie. Kamerę taką stosuje się w diagnostyce ciężkich stanów pacjentów. Dodatkowo, urządzenie charakteryzuje się dość małym polem widzenia (25 cm), bardzo dobrą rozdzielczością kryształu i jednorodnością obrazu oraz dość krótkim czasem martwym.



## 5. Techniki obrazowania w kardiologii nuklearnej

---

**„Nuclear Cardiology has played a pivotal role in establishing the diagnosis of heart disease and in the assessment of disease extent and the prediction of outcomes in the setting of coronary artery disease.(...).Nuclear cardiology studies use noninvasive techniques to assess myocardial blood flow, evaluate the pumping function of the heart as well as visualize the size and location of a heart attack.” [23]**

---

Kardiologia nuklearna jest wykorzystaniem medycyny nuklearnej w dziedzinie kardiologii. Badania z zastosowaniem radioizotopów wykorzystują metody, które umożliwiają ocenę budowy jak również czynności badanego narządu. Poza tym pozwalają one na rozpoznanie schorzenia o wiele wcześniej niż inne techniki obrazowania. Podstawową różnicą między technikami opisanymi w podrozdziale 1.3 a medycyną nuklearną jest fakt, że rozpoznanie schorzenia następuje w wyniku zauważonych zaburzeń czynnościowych. Kardiologia nuklearna ma szerokie zastosowanie między innymi w rozpoznaniu choroby niedokrwiennej serca (zaburzenia perfuzji miokardium), która może być przyczyną zawału.

Jedną z pierwszych technik, które zostały wprowadzone, była radiokardiografia, której zasada polegała na umieszczeniu w okolicy serca, nad klatką piersiową, sondy scyntylicyjnej i wstrzyknięciu związku promieniotwórczego, który emitował promieniowanie  $\gamma$ . W ten sposób, otrzymywano krzywą zwaną radiokardiogramem zawierającą zmiany aktywności, która pozwalała określić proces przechodzenia danego znacznika przez jamy serca. Z radiokardiogramu odczytywano wówczas między innymi średni czas oraz obliczano rzut minutowy.

### 5.1. SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography)

#### 5.1.1. Scyntygrafia w chorobie niedokrwiennej serca, GSPECT

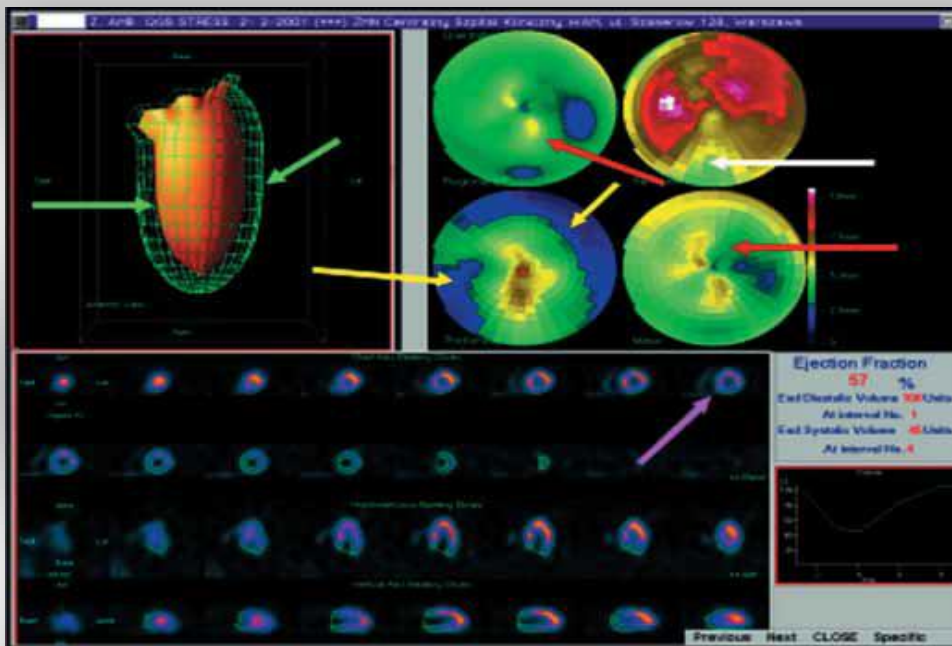
Scyntyografię stosuje się, aby uwidocznić i ocenić ukrwienie mięśnia sercowego. Próbowano dokonać tego z użyciem kationów, leków, metabolitów oraz hormonów. Najczęściej jednak zaczęto używać radioizotopów różnego rodzaju kationów biorąc pod uwagę ich właściwości biologiczne i fizyczne związane z dość szybkim gromadzeniem się w narządzie. Obecnie do oceny ukrwienia mięśnia sercowego stosowany jest  $^{201}\text{Tl}$  i  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ .

Po dożylnym wprowadzeniu talu 201 około 80% przechodzi właśnie do miokardium, a jego gromadzenie jest zależne od ukrwienia. Czas połowicznego rozpadu  $^{201}\text{Tl}$  wynosi 74h. Do detekcji rozmieszczenia  $^{201}\text{Tl}$  stosowana jest zazwyczaj kamera scyntylicyjna opisana w rozdziale 4. Tło tkankowe zmniejsza się po ok. 10-20 min od podania znacznika dzięki czemu uzyskiwane są lepszej jakości obrazy co pozwala na rozpoczęcie badania. Badanie to wykonuje się wielu pozycjach głowy. Niektóre z nich to: pozycja prawa przednia skośna z nachyleniem  $30^\circ$ , pozycja lewa przednia skośna z nachyleniem  $30^\circ/45^\circ/60^\circ$  lub pozycja lewa boczna z nachyleniem  $90^\circ$ .

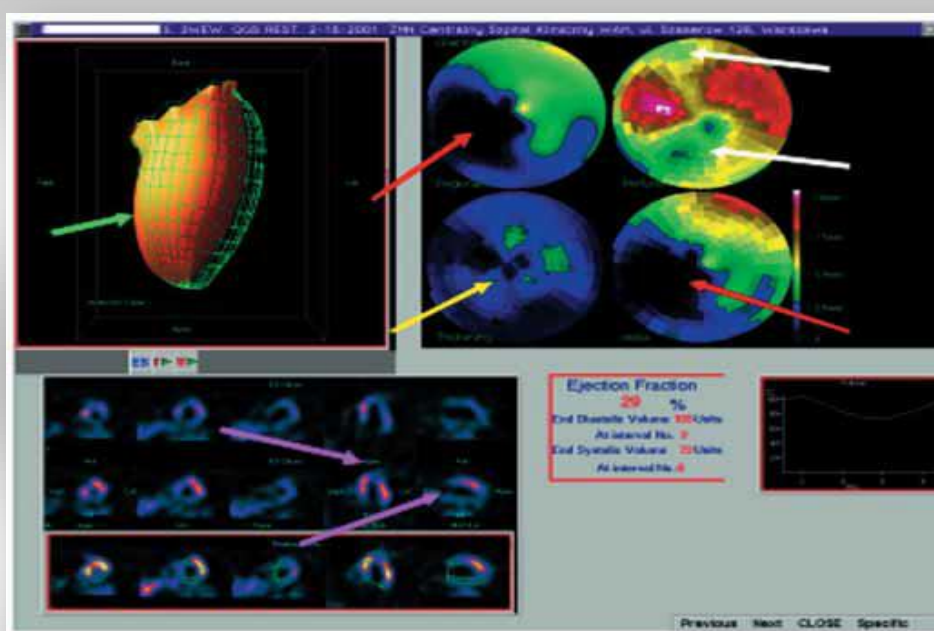
Wychwył wprowadzonego znacznika związany jest z masą komór serca. Masa lewej komory serca jest znacznie większa od masy prawej komory, dlatego właśnie w lewej komorze odkłada się więcej wstrzykniętego izotopu talu 201.

Badanie SPECT zazwyczaj wykonuje się w spoczynku, ale bywają również sytuacje kiedy wymagane jest wykonanie tego badania podczas wysiłku, ponieważ otrzymywane wówczas obrazy są łatwiejsze do interpretacji. Wynika to z faktu, iż w czasie wysiłku (jak i w czasie stresu) wzrasta gromadzenie  $^{201}\text{Tl}$  w sercu, a zmniejsza się w narządach sąsiadujących.

Badanie GSPECT- to bramkowana emisyjna tomografia komputerowa pojedynczego fotonu. Jest to technika SPECT bramkowana sygnałem elektrokardiograficznym. Pozwala ona na ocenę czynności i perfuzji lewej komory (obliczenie frakcji wyrzutowej, przyrostu grubości ścian mięśnia lewej komory, ruchomość lewej komory, zarejestrowanie chwilowego poszerzenia jamy lewej komory po zdarzeniu niedokrwienia). Do analizy badania GSPET stosuje się najczęściej metody map ruchomych przekrojów i map biegunowych.(rys.5 i rys. 6).



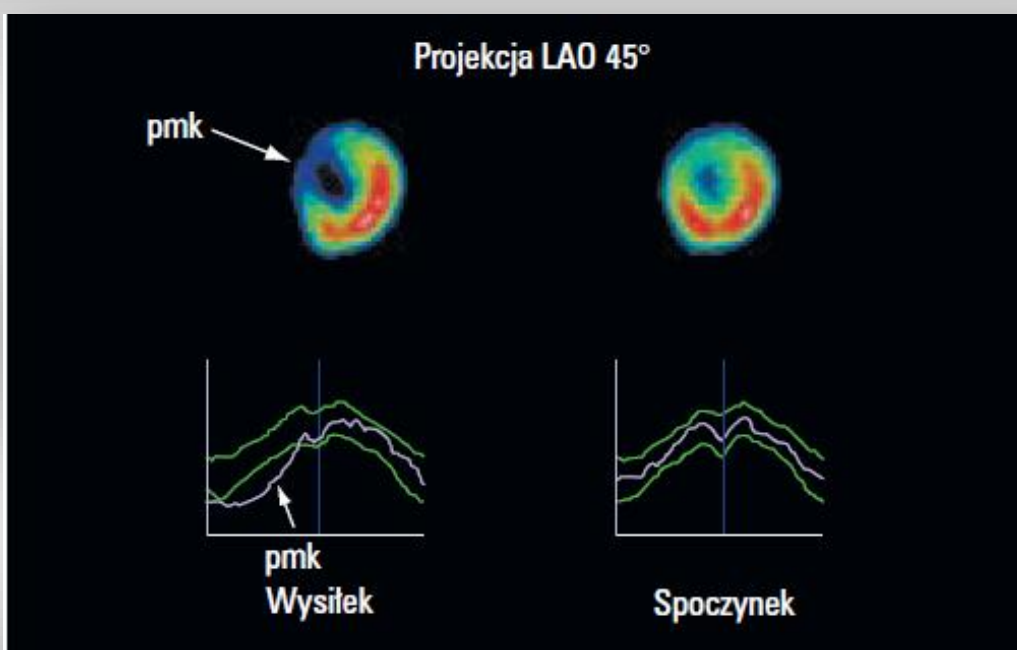
Rys. 8. Rysunek przedstawiający GSPECT w czasie badania wysiłkowego [8]



Rys. 9. Rysunek przedstawiający GSPECT – badanie w czasie spoczynku.[8]

Białe strzałki na dwóch rysunkach powyżej przedstawiają ubytki perfuzji w mapie biegunowej, który spowodowany był niedokrwieniem mięśnia sercowego. Na rys.5. czerwoną strzałką ukazany jest brak zaburzeń w ruchomości i kurczliwości, zaś na rys. 6. czerwona strzałka wskazuje miejsce dużych zaburzeń. Na rys. 5 – żółta strzałka wskazuje na częściowo zaburzone grubienie, natomiast na rys. 6 – nieprawidłowe grubienie, które występuje we wszystkich ścianach. Zielona strzałka – rys.5 – prawidłowa, rys.6-nieprawidłowa ruchomość widoczna na obrazie 3D. Fioletowa strzałka wskazuje ubytki perfuzji widziane w przekrojach.

Takie zarejestrowanie ubytku perfuzji z widocznymi dużymi zaburzeniami ruchomości i kurczliwości pozwala wnioskować o obecności niedokrwionego miokardium.

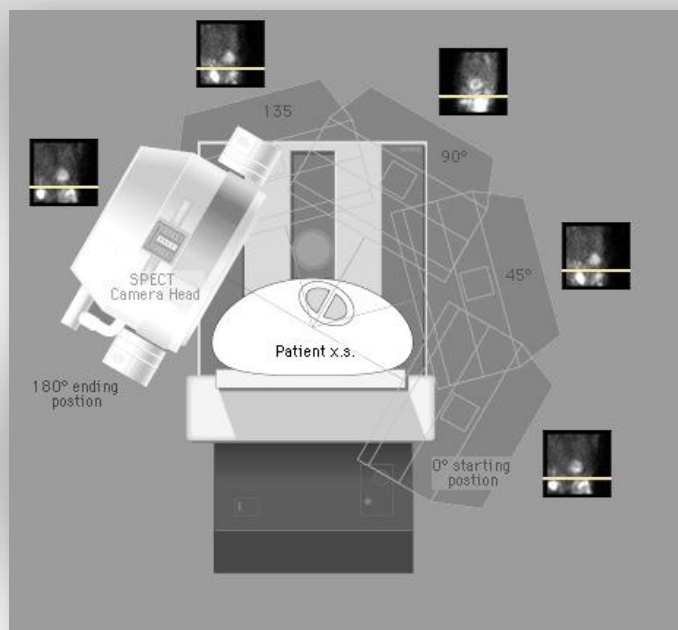


Rys. 10. Scyntygrafia perfuzyjna serca w czasie wysiłku i w czasie spoczynku (pozycja głowicy gamma kamery: lewa przednia skośna z nachyleniem 45°) [10]

### 5.1.2. Scyntygrafia „gorąca”

Scyntyografię „gorącą” określa się metodę SPECT służącą do detekcji ognisk zawałowych miokardium. W 1974r. odkryto, że związek  $^{99m}\text{Tc-Sn-pirofosforan}$  odkłada się właśnie w miejscach niedokrwienia mięśnia sercowego, które mogą być ogniskami zawałowymi.

Badanie rozpoczyna się po około 1,5 h od dożylnego wprowadzenia związku  $^{99m}\text{Tc-Sn-PYRO}$ . Wykonywane jest ono także przy użyciu gamma kamery wyposażonej w kolimatory wysokiej jakości. Głowicę kamery ustawia się zazwyczaj w pozycji lewej lub prawej przedniej skośnej lub w ustawieniu lewo-bocznym.



Rys. 11. Rysunek przedstawiający ułożenie pacjenta i różne pozycje gamma kamery w czasie badania SPECT [19]

### 5.1.3. SPECT-CT

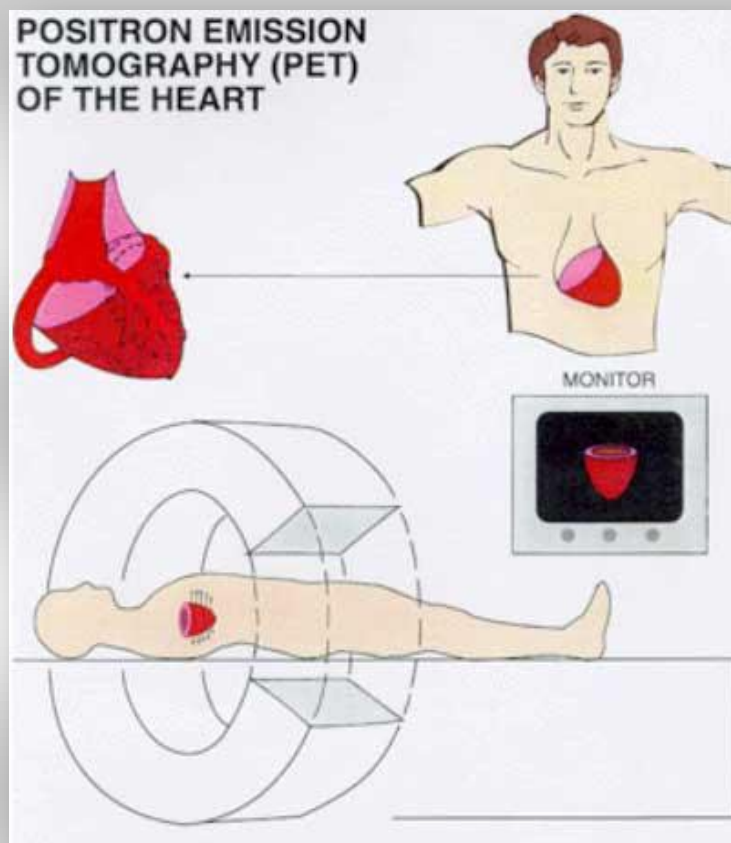
CT - Tomografia komputerowa jest jedną z metod diagnostycznych, którą wykorzystuje się między innymi do oceny budowy serca czy zwapnień możliwe występujących w tętnicach wieńcowych. Rozszerzeniem tej metody jest połączenie metody CT oraz SPECT, która umożliwia diagnostykę choroby wieńcowej. Wynika to z faktu, iż tomografia komputerowa pozwala wykrywać miażdżycę tętnic w jej najwcześniejszym stadium, natomiast SPECT pozwala, na podstawie oceny ukrwienia mięśnia sercowego, zanalizować anatomiczny obraz stwierdzony w tomografii.

Podczas badania SPECT-CT uzyskujemy przekroje CT przy wykorzystaniu promieniowania rentgenowskiego i obrazy po wprowadzeniu  $^{99m}\text{Tc}$ . Pozwala to na ocenę uwapnienia tętnic i ich anatomie(CT) oraz maksymalny możliwy przepływ przez tętnice wieńcowe, który nie powoduje zaburzeń w ukrwieniu miokardium(SPECT).

CT pomaga również w wyjaśnianiu wyników SPECT, które nie są jednoznaczne i wynikają np. z występowania artefaktów oraz gromadzenia się radiofarmaceutyku poniżej przepony.

## 5.2. PET (Positron Emission Tomography)

PET to pozytonowa emisyjna tomografia komputerowa.



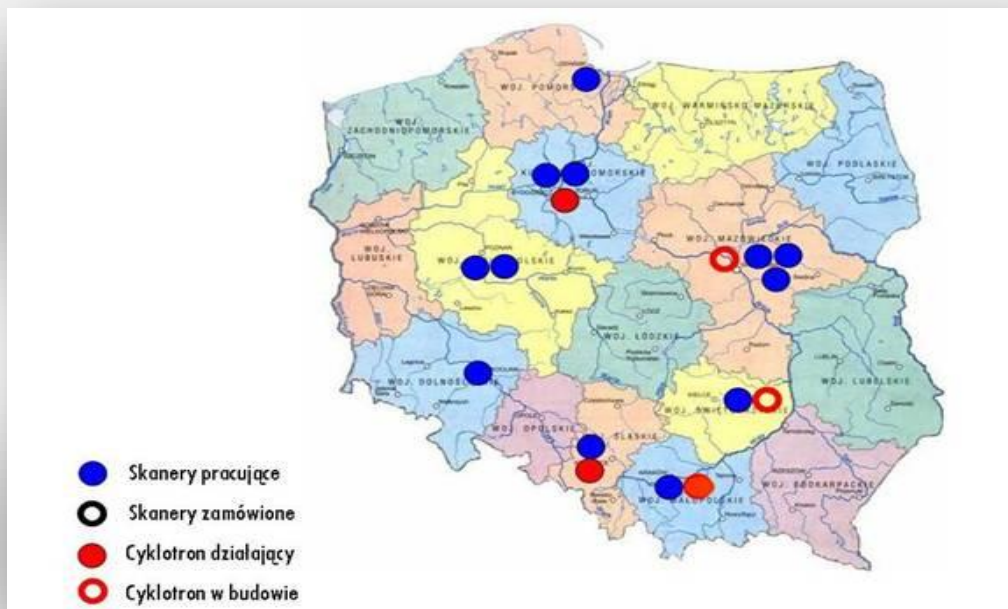
Rys. 12. Rysunek przedstawiający schemat działania PET serca [16]

Pionierem badań klinicznych z zastosowaniem techniki PET był Brownell – fizyk medyczny i neurochirurg. Obecnie jest to najczęściej stosowana metoda zajmująca się diagnostyką medyczną. PET jest metodą, która pozwala na otrzymanie przekroju poprzecznego ciała pacjenta na podstawie rozkładu radiofarmaceutyka w tkankach, który emituje pozytony.

Zaletami PET są przede wszystkim użycie śladowych ilości radiofarmaceutyków przy dokładnej ocenie ich kinetyki i biodystrybucji, możliwość śledzenia zmiany struktury elektronowej nawet pod wpływem niesprzyjających warunków zewnętrznych oraz oczywiście bardzo dobra rozdzielczość.

Technika PET umożliwia, podobnie jak SPECT, badanie perfuzji serca oraz metabolizmu kwasów tłuszczowych w mięśniu sercowym (miokardium).

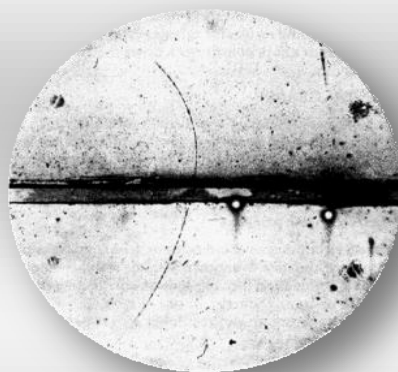
Rejestracja obrazów może odbywać się w sposób dynamiczny na podstawie badań radioizotopowych serca takich jak: badanie metodą pierwszego przejścia lub badanie bramkowane.



Rys. 13. Ośrodki PET w Polsce [20]

### 5.2.1. Podstawy fizyczne metody Positron Emission Tomography

- Metoda PET oparta jest na zjawisku anihilacji, czyli przekształcenia się pary elektronu i pozytonu, w których dochodzi do zamiany masy elektronu i pozytonu na energię, która emitowana jest w postaci kwantów gamma.
- Anihilacja ta nie powstaje w miejscu, w którym doszło do rozpadu izotopu, ale w pewnej odległości równej drodze jaką przebył pozyton (im większa energia pozytonu tym większa droga jaką przebędzie).
- Podczas rozpadu  $\beta^+$  z jądra izotopu znacznika emitowany jest pozyton i neutrino elektronowe, które przechodzi przez ciało badanego bez oddziaływania, pozyton natomiast w tkance pacjenta przebywa pewną drogę do miejsca anihilacji z elektronem ośrodka.
- W wyniku tego zjawiska masa elektronu i pozytonu przekształcona zostaje przynajmniej na dwa kwanty gamma.
- Badanie metodą PET uważane jest za technikę najbardziej czułą, co pozwala na określenie czy występująca patologiczna zmiana jest w stanie pierwotnym czy wtórnym (przerzuty w zmianach nowotworowych).



Rys. 14. Rysunek przedstawiający ślad pozytonu. [1]



Rys. 15. Skaner PET[15]

### 5.2.2. Radioizotopowa angiokardiografia

Radioizotopowa angiokardiografia nazywana jest również techniką pierwszego przejścia.

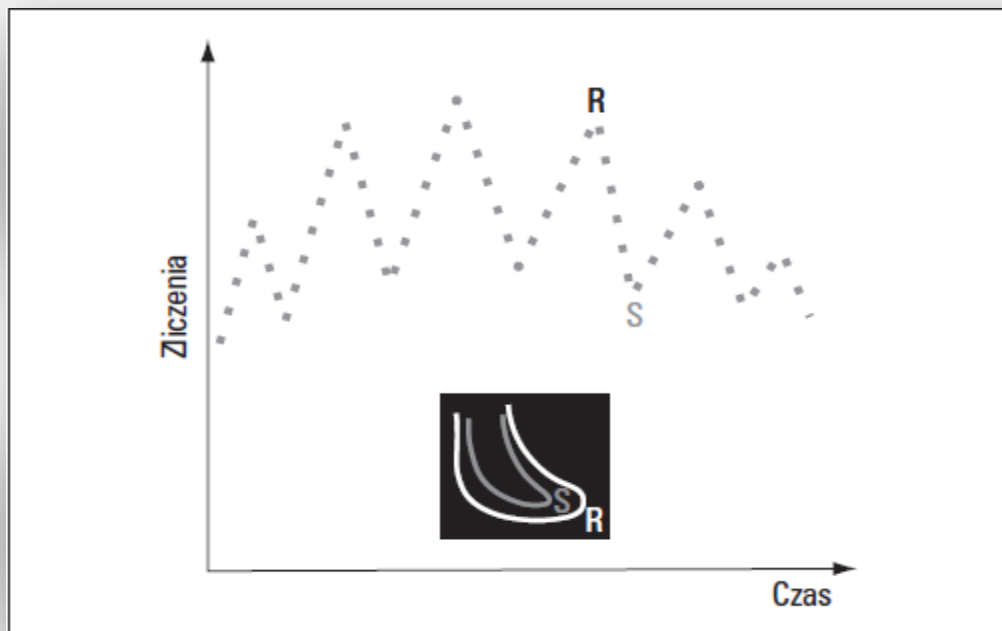
- Polega na rejestracji ( za pomocą kamery scyntylicyjnej ) znacznika, który został wstrzyknięty metodą bolusa (czyli jak najszybciej w najmniejszej objętości) i rejestracji pierwszego przejścia radiofarmaceutyku przez serce, płuca i duże naczynia krwionośne. Rejestracja następuje w sposób ciągły do 60 sekund. Kamera scyntylicyjna pozwala zazwyczaj na rejestrację z dowolną częstotliwością obrazów przechodzącej substancji promieniotwórczej przez krążenie centralne.
- W technice pierwszego przejścia używa się zazwyczaj nadtechnecjanu.
- Głowicę kamery ustawia się nad klatką piersiową w różnych pozycjach, np. pozycja prawa przednia skośna z nachyleniem  $30^{\circ}$ , której używa się, aby ocenić ruchomość ściany lewej komory serca. Do oceny frakcji wyrzutowej i grubości przegrody pomiędzy komorami serca stosuje się pozycję lewą przednią skośną z nachyleniem  $45^{\circ}$ .
- Badanie to umożliwia ocenę kilku cykli pracy serca, frakcji wyrzutowej lewej komory serca , możliwe zaburzenia występujące w skurczu komór oraz przecieki wewnątrz serca.
- Frakcję wyrzutową można obliczyć ze wzoru:

$$EF = \frac{ED - ES}{ED} * 100\%$$

gdzie:

ED – ilość impulsów w czasie rozkurczu

ES – ilość impulsów w czasie skurczu



Rys. 16. Rysunek przedstawiający krzywą określającą zmiany aktywności przepływu radiofarmaceutyka przez lewą komorę w funkcji czasu. Widoczne oscylacje to rozkurcze(R) i skurcze(S) komory. [10]

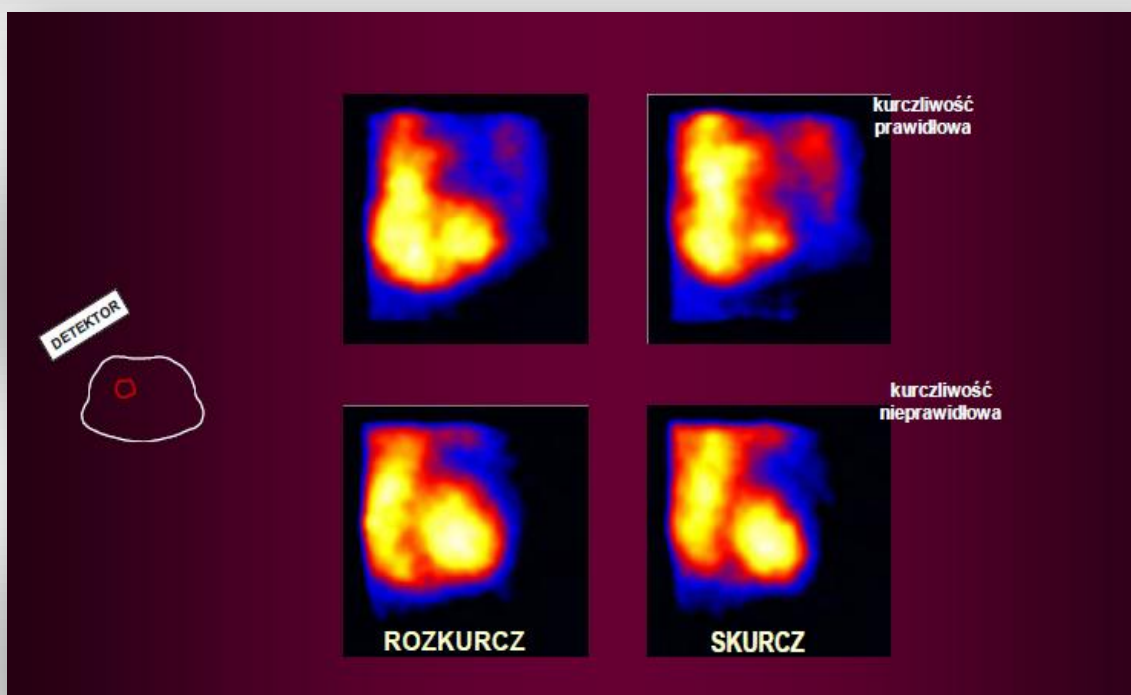
### 5.2.3. Uzyskiwanie obrazów metodą bramkową (wentrykulografia izotopowa)

- Badanie to polega na jednorazowym wprowadzeniu znacznika i pozwala ocenić ruchomość ścian lewej komory serca w różnych pozycjach.
- **Stosowane w tej technice związki promieniotwórcze:**
  - albumina znakowana  $^{99m}\text{Tc}$
  - krwinki czerwone znakowane in vitro i in vivo  $^{99m}\text{Tc}$
  - konieczne są związki promieniotwórcze, które dłuższy czas utrzymują się w łożysku naczyniowym
- **Stosowane urządzenie – bramka sercowa**
  - Pozwala ono zapisać rozmieszczenie radiofarmaceutyka za pomocą bodźca, który opisuje zmiany elektryczne, np. załamek zapisu elektrokardiograficznego.
  - Najczęściej w tym badaniu jako wyżej opisaną zmianę wybiera się maksymalny rozkurcz lub skurcz.
  - Zapisu dokonuje się w odstępach do 50 ms.
  - Aby dokładnie ocenić potencjalne zaburzenia należałoby zarejestrować ok. 500 000 zliczeń.
  - Czas zapisu zależy między innymi od aktywności radioizotopu oraz częstości skurczów, ale również od liczby zliczeń, które przypadają na wybrany okres.
  - W czasie takiego badania wszystkie jamy serca są zazwyczaj widoczne, ale często też nakładają się one na siebie, dlatego tak ważne jest dobre ustawienie kamery scyntylicyjnej.
  - Wynikiem jest krzywa zmian radioaktywności, w której również możemy zauważyć wychylenia odpowiadające rozkurczowi i skurczowi i na jej

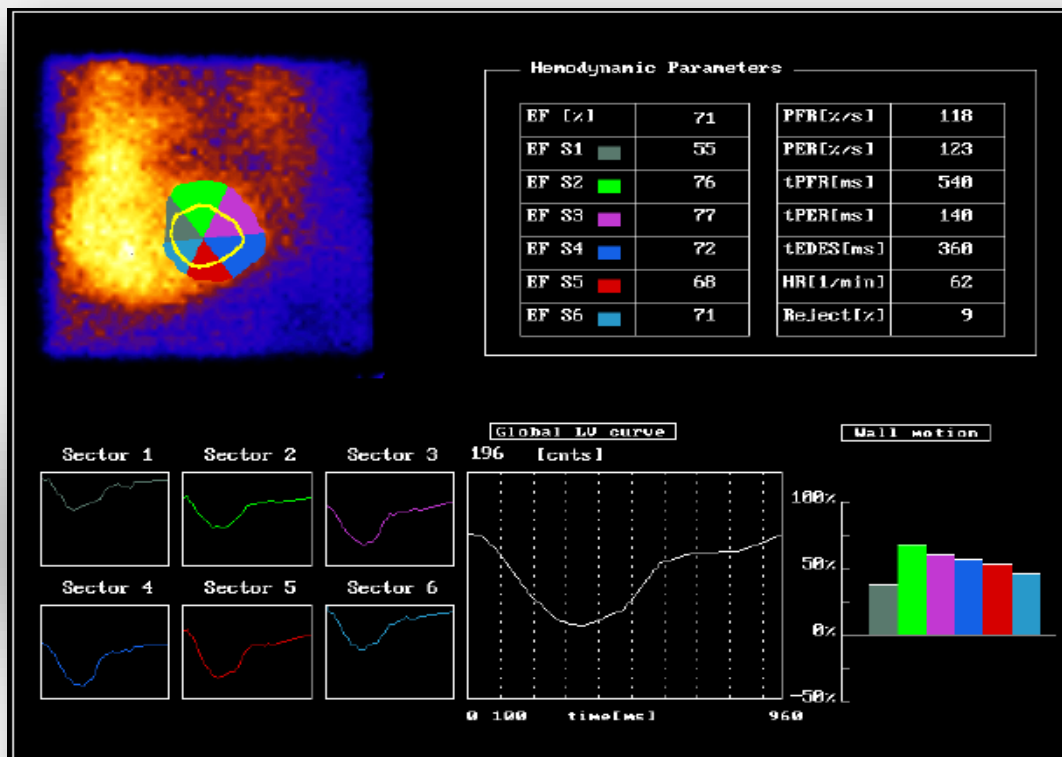


podstawie możemy określać zmiany objętości lewej komory w danym okresie czasu.

- Badanie techniką bramkową umożliwia również ocenę frakcji wyrzutowej, którą można określić na podstawie różnicy zliczeń w czasie skurczu i rozkurczu (jak w przypadku opisanym w podrozdziale 5.2.2) lub na podstawie planimetrycznej oceny wielkości jam w chwili skurczu i rozkurczu.
  - Aby otrzymać dokładne wyniki ważny jest również wybór pola zainteresowania (nie może być ono zbyt duże, ponieważ otrzymana wartość EF będzie zaniżona ani nie może być ono zbyt małe, ponieważ wartość EF będzie zawyżona).
  - Źródłem błędów w tej technice może być także nieodpowiednie wprowadzenie znacznika radioaktywnego
- **Ogólnie wskazaniami do tego badania są:**
    - choroba niedokrwienna miokardium;
    - ryzyko kolejnego zawału;
    - ocena parametrów określających funkcję skurczową i rozkurczową przed lub po operacjach;
    - ocena frakcji wyrzutowej w czasie podawania określonych leków;
    - obserwacje przecieków wewnątrz serca z lewej do prawej komory lub odwrotnie;
    - ocena wielkości komór serca, szczególnie w takich schorzeniach jak kardiomiopatia przerostowa.



Rys. 17. Rysunek przedstawiający badanie wentrykulografii, w której określa się m.in. funkcje skurczową i rozkurczową serca [12]



Rys. 18. Rysunek przedstawiający przebieg oceny frakcji wyrzutowej(EF) [12]

#### 5.2.4. PET-CT

Technika PET-CT jest metodą, którą najczęściej wykorzystuje się w diagnostyce i jako metodę przewidywania w ocenie pacjentów z przewlekłą chorobą, związaną z niewydolnością serca, której przyczyną jest niedokrwienie. Ta nieinwazyjna technika pozwala między innymi ocenić czy pacjenta należy poddać leczeniu mającym na celu udrożnienie naczyń.

Dzięki zastosowaniu tomografu komputerowego razem z gamma-kamerą uzyskujemy dane anatomiczne oraz o funkcji czynnościowej i o żywotności miokardium. Obraz uzyskujemy dzięki nałożeniu obrazu uzyskanego ze skanera PET na obraz uzyskany z tomografu. Dzięki temu możliwe jest dokładne określenie lokalizacji badanego procesu czynnościowego i fizjologicznego.



Rys. 19. Urządzenie wykorzystywane przy badaniu PET-CT [8]

## 6. Podsumowanie

---

Za początek diagnostyki związanej z radioizotopami uznaje się badanie diagnostyczne u człowieka z użyciem  $^{24}\text{Na}$ , które zostało przeprowadzone w 1936r. przez Josha Hamiltona. Kardiologia nuklearna - słowo kluczowe występujące w temacie pracy, jest specjalnością medycyny nuklearnej w dziedzinie kardiologii, która zajmuje się obrazowaniem medycznym właśnie z użyciem technik radioizotopowych.

Spełnia ona kluczową rolę w diagnozowaniu chorób serca, ocenie stadium schorzenia i przedstawianiu prognoz skuteczności leczenia. W kardiologii nuklearnej wykorzystywane są nieinwazyjne techniki obrazowania takie jak PET, czyli pozytronowa emisyjna tomografia komputerowa, PET-CT, czyli pozytronowa tomografia emisyjna w połączeniu z tomografią komputerową, SPECT, czyli tomografia emisyjna pojedynczych fotonów oraz SPECT-CT, czyli tomografia emisyjna pojedynczych fotonów z dodatkowym zastosowaniem tomografii komputerowej. Metody te stosuje się w celu oceny przepływu krwi w miokardium, funkcji czynnościowej mięśnia sercowego jak również pozwalają one na detekcję ognisk zawałowych. Umożliwia ona w ten sposób wykrycie zmian w mięśniu sercowym oraz zaburzeń w jego ukrwieniu, które mogą być przyczyną choroby niedokrwiennej serca, a następnie skutkować wstrzymaniem akcji serca, a nawet nagłym zgonem.

Według doniesień naukowych, metody stosowane w diagnostyce schorzeń z zastosowaniem medycyny nuklearnej mają naprawdę wysoką wiarygodność diagnostyczną. Dodatkowo są to techniki bezpieczne, szybkie, które nie powodują bólu u osób diagnozowanych. Poprzez diagnostykę stosowaną w kardiologii nuklearnej pacjent otrzymuje niższe, niż podczas badań radiologicznych, dawki pochodzące od promieniowania jonizującego, które emitowane jest z wprowadzanych różnymi metodami radiofarmacetyków, których proces wytwarzania jest bardzo skomplikowany i wymaga spełnienia wielu procedur. Dawki te zależą jednak najczęściej od rozmieszczenia takiego izotopu w narządach lub tkankach i zmienności tego rozmieszczenia w czasie. Obecnie gromadzenie się w narządzie znacznika wprowadzonego do organizmu pacjenta obrazuje się najczęściej aparatem zwanym gamma kamerą lub kamerą scyntylicyjną, której zasada działania opiera się na konwersji energii promieniowania gamma na błyski światła widzialnego.

Kardiologia nuklearna ma wiele zalet w stosunku do innych metod obrazowania między innymi fakt, że pozwala na szybsze i dokładniejsze zdiagnozowanie schorzenia poprzez wykrycie zaburzeń w funkcji czynnościowej obrazowanego narządu. Z tego właśnie względu jest ona co raz popularniejsza w wielu krajach na świecie, także w Polsce, co wpływa na jej rozwój i szersze zastosowanie.

## 7. Bibliografia

---

- [1] Anderson C.D., *Physical Review* 43, 491 (1933),
- [2] Bałtrukiewicz Z., Burakowski T., "Medycyna nuklearna"
- [3] Mietelski J.W. , „ Izotopy promieniotwórcze otrzymywane w IFJ ”
- [4] Królicki L., Bajera A. *Obrazowanie struktury i czynności narządów wewnętrznych metodą PET-podstawy fizyczne*, „Inżynier i Fyzyk Medyczny” 2/2012, str. 39-43
- [5] Lipiec P., Płońska-Gościniak E. *Bezpieczeństwo nieinwazyjnych technik obrazowania serca i naczyń. Stanowisko grupy ekspertów polskiego Klinicznego Forum Obrazowania Serca i Naczyń*, „Kardiologia polska” 2013, t.71, nr 3, s.301-307
- [6] Michalak M., Zawadzki M. *Rezonans magnetyczny w kardiologii* „Choroby Serca i Naczyń” 2005, tom 2, nr 3, str.142–148
- [7] Michalak M., Zawadzki M. *Wielorzędowa tomografia komputerowa w kardiologii* „Choroby Serca i Naczyń” 2005, tom 2, nr 2, str. 107–112
- [8] Miernik S., Dziuk M. *Metody hybrydowe (SPECT-CT, PET-CT)w diagnostyce choroby wieńcowej i ocenie żywotności mięśnia sercowego* „Choroby Serca i Naczyń” 2008, tom 5, nr 2, str. 93–101
- [9] Pałko T. *Metody i urządzenia do diagnostyki serca*, „Inżynier i Fyzyk Medyczny” 4/2013, str. 169-174
- [10] Płachcińska A., Kuśmierk J. *Techniki obrazowania serca w medycynie nuklearnej* „Cardiovascular Forum” 2001 tom 6 nr 2, str.71-76
- [11] Płońska-Gościniak E., Gackowski A. *Rekomendacje 2011 Sekcji Echokardiografii Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego dotyczące zastosowania echokardiografii obciążeniowej w praktyce klinicznej* „Kardiologia Polska” 2011; 69, str. 642–648
- [12] Medycyna nuklearna w kardiologii – wykład, nie jest sprecyzowane czyjego autorstwa, dostępny w Internecie:  
<http://chomikuj.pl/bombelspec/Medycyna+nuklearna/Medycyna+nuklearna+w+kardiologii,454296116.pdf>
- [13] [https://brain.fuw.edu.pl/edu/Obrazowanie:Obrazowanie\\_Medyczne/Scyntygrafia\\_Tomografia\\_Emisyjna\\_Pojedynczego\\_Fotonu\\_Pozytonowa\\_Tomografia\\_Emisyjna#Radiofarmaceutyki](https://brain.fuw.edu.pl/edu/Obrazowanie:Obrazowanie_Medyczne/Scyntygrafia_Tomografia_Emisyjna_Pojedynczego_Fotonu_Pozytonowa_Tomografia_Emisyjna#Radiofarmaceutyki)
- [14] [http://wiki.biol.uw.edu.pl/w/Grafika:Licznik\\_scyntylicyjny.svg](http://wiki.biol.uw.edu.pl/w/Grafika:Licznik_scyntylicyjny.svg)
- [15] <http://www.harpellassociates.com/positron/positron.htm>
- [16] [http://www.cadreversal.com/pet\\_diag.php](http://www.cadreversal.com/pet_diag.php)
- [17] [http://www.lukasz\\_ktosiek.republika.pl/nukl.html](http://www.lukasz_ktosiek.republika.pl/nukl.html)
- [18] <http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:PET-schema.png>
- [19] [http://www.yale.edu/imaging/techniques/spect\\_camera/index.html](http://www.yale.edu/imaging/techniques/spect_camera/index.html)
- [20] <http://www.slcyj.uw.edu.pl/pl/pet/petuw-pl.htm>
- [21] <http://www.eonkologia.am.wroc.pl/docs/RADIOTERAPIA%20I%20RADIOFARMACEUTYKI.pdf>
- [22] [http://www.hpk.co.jp/Eng/topics/pet/pet\\_3.htm](http://www.hpk.co.jp/Eng/topics/pet/pet_3.htm)

[23] [http://www.asnc.org/content\\_11495.cfm](http://www.asnc.org/content_11495.cfm)

[24] <http://radiologiasilesia.pl/statut/>

[25] <http://www.paa.gov.pl/BIP/ustawa2.htm>

[26]

[http://pie.med.utoronto.ca/TEE/TEE\\_content/assets/applications/standardViews/index\\_polish.htm](http://pie.med.utoronto.ca/TEE/TEE_content/assets/applications/standardViews/index_polish.htm)

[27] [http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Heart\\_normal\\_tte\\_views.jpg](http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Heart_normal_tte_views.jpg)