

WYŻSZA SZKOŁA GOSPODARKI
W BYDGOSZCZY



Paulina Lenart, Sylwia Wąsowska

ZASTOSOWANIE IZOTOPÓW W MEDYCYNIE

P R A C A P O D Y P L O M O W A

Praca wykonana pod kierunkiem
mgr inż. Arkadiusza Boronia

STUDIA PODYPLOMOWE

FIZYKA DLA NAUCZYCIELI

B y d g o s z c z 2 0 1 9

Podziękowanie

*W tym miejscu chcielibyśmy złożyć najserdeczniejsze podziękowanie
Panu mgr inż. Arkadiuszowi Boroniowi, za pomoc, poświęcony czas, za zaangażowanie,
za stworzenie wspaniałej atmosfery, twórcze dyskusje oraz motywację do pracy.*

SPIS TREŚCI

Wstęp	4
Rozdział I Izotopy	5
I.1 Izotopy promieniotwórcze	5
I.1.1 Czas połowicznego rozpadu izotopu	6
I.1.1.1 Radionuklidy, a człowiek	7
I.1.1.2 Promieniowanie jonizujące	8
I.2 Izotopy w medycynie	9
I.2.1 Czas połowicznego rozpadu izotopu	9
I.2.1.1 Metody diagnozowania	11
I.2.1.2 Radioterapia	15
I.2.1.3 Medycyna nuklearna	19
I.3 Zastosowanie izotopów promieniotwórczych w medycynie	22
Zakończenie	23
Bibliografia	24 - 25
Spis rysunków	26

WSTĘP

Pojęcia „medycyna nuklearna” czy „izotop promieniotwórczy” często kojarzone są z przyczynami katastrofy w Czarnobylu albo z chorobami wywołanych promieniowaniem. Skojarzenia z izotopami są bardzo zróżnicowane. Właśnie dlatego leczenie terapią izotopową czy scyntyografią wywołuje wiele obaw. Nasza praca przedstawia jak ważne są izotopy w naszym życiu. Skierowana jest do uczniów zainteresowanych fizyką. Stanowi bardzo dobrą bazę materiałową do przygotowania się na konkurs. Dzięki informacją, które zostały w niej zawarte można przeprowadzić z uczniami dyskusję na temat likwidacji lub rozwijania energetyki fizyki jądrowej.

Praca zawiera opis izotopów, ich powstawanie i połowiczny rozpad. Pragnęliśmy zwrócić szczególną uwagę na radionuklidy, które przenikają do wnętrza naszego ciała nawet jeśli o tym nie wiemy. Podkreśliśmy czym jest promieniowanie jonizujące. Kolejny dział został poświęcony izotopom w medycynie. Medycyna to wyjątkowa dziedzina, która korzysta z promieniowania jonizującego ratującego życie. Szczególne znaczenie odgrywa podczas zwalczania chorób nowotworowych, których niestety z dnia na dzień jest coraz więcej. Najważniejszym elementem w leczeniu chorób nowotworowych jest ich diagnostyka, która również jest możliwa dzięki izotopom promieniotwórczym.

Mamy wiele metod diagnozowania chorób do których należą: planarna scyntygrafia statyczna, komputerowa tomografia Emisyjna (SPECT, PET). Każda z nich ma ściśle określony charakter i nadaje się do leczenia konkretnych miejsc zmienionych chorobotwórczo. Medycyna nuklearna wykorzystuje źródła izotopowe, aby odpowiednio wcześniej zdiagnozować schorzenie. Następnie poddaje leczeniu. Zwróciliśmy uwagę na najbardziej powszechną metodę leczenia jaką jest radioterapia.

Na zakończenie przedstawiliśmy najbardziej znane pierwiastki, które mają swoje zastosowanie w medycynie nuklearnej razem z ich zastosowaniem.

Rozdział I. Izotopy

I.1 Izotopy promieniotwórcze

Izotopy to różne odmiany tego samego pierwiastka chemicznego. Charakteryzują się takimi samymi własnościami chemicznymi. Leżą w układzie okresowym w tym samym okresie i grupie ale wyróżnia je inna masa atomowa – a dokładnie liczba neutronów. Mają taką samą liczbę protonów, która mówi o jednakowych własnościach chemicznych. Różna liczba neutronów, zmienia ich własności fizyczne. [1]

Początki izotopów sięgają modelu atomu:

- 1874r. - George Stoney - teoria elektronu, wyznaczanie masy,
- 1895r. - Wilhelm Roentgen - promienie X,
- 1896r. - Henri Becquerel - odkrył promieniowanie atomowe,
- 1898r. - Maria Skłodowska-Curie i Piotr Curie - pierwiastki promieniotwórcze: polon i rad – emitowały one promieniowanie podobne do promieniowania odkrytego przez Becquerela. Zjawisko to nazwano radioaktywnością,
- 1898r. - Joseph Thompson – własności elektronu.[4]

Promieniowaniem nazywamy strumień cząstek lub fal elektromagnetycznych emitowanych przez ciała. [13]. Natomiast promieniowanie jonizujące to zdolność do wytwarzania w ośrodku elektrycznie obojętnym par jonów opatrzonych ładunkami elektrycznymi: dodatnimi i ujemnymi [2].

Jeżeli chcemy podać izotop konkretnego pierwiastka należy zapisać go za pomocą symbolu chemicznego, w której uwzględniona jest: liczba protonów (Z) oraz liczba nukleonów – suma protonów i neutronów (A). W każdym atomie pierwiastka znajduje się określona liczba atomowa Z oraz liczba masowa A .

Zapis jaki używamy to: ${}^A X$ lub ${}^A_Z X$, gdzie X – symbol pierwiastka chemicznego.

Jądra wzbudzone to takie, które posiadają nadmiar energii. Wysyłają one energię w postaci promieniowania jonizującego przybierającego postać cząstek alfa (α), cząstek beta (β) lub fotonów gamma (γ).

Promieniotwórczość polega na samorzutnym wysyłaniu energii, która ma postać promieniowania jonizującego. Inną nazwą promieniotwórczości jest radioaktywność. Izotopy promieniotwórcze charakteryzuje cecha czasu połowicznego rozpadu – jest to średni czas, po jakim jądra danego pierwiastka do połowy ulegną przemianie. Na czas połowicznego rozpadu nie ma wpływu otoczenie chemiczne atomu pierwiastka.

I.1.1 Czas połowicznego rozpadu izotopu

Radioizotopy, czyli izotopy promieniotwórcze, które inaczej nazywamy radionuklidami mają niestabilne jądra atomowe. Przez to ulegają przemianie promieniotwórczej. Dzięki zaistniałym przemianom pojawiają się inne jądra atomowe, które są wynikiem emitowania cząstek elementarnych, w których uwalniana jest energia. Wynikiem tej przemiany jest energia kinetyczna, a także charakterystyczne promieniowanie gamma.

Izotopy są nadal odkrywane. Ich ilość na rok 2010 według Instytutu Problemów Jądrowych im. Andrzeja Sołtana wynosi ok. 3000 izotopów, a także 117 pierwiastków. Badaniu promieniotwórczości podjęło się także wiele innych instytutów. Odkryto, że w przyrodzie jest ok. 15 radionuklidów, których pochodzenie wywodzi się z kosmosu. Pochodzą one z Wszechświata. Inną przyczyną powstawania radionuklidów są reakcje jądrowe wywodzące się z promieniowania kosmicznego. Pochodzą one z atmosfery. [1,2]

Jeżeli chcemy zmierzyć tempo rozpadu danego pierwiastka mówimy o okresie połowicznego rozpadu. To czas, po którym niestabilne jądra ulegają rozpadowi.

W naszym środowisku występuje wiele izotopów promieniotwórczych, które znajdują się w nas samych. W sytuacji kiedy każdy z izotopów pierwiastka jest promieniotwórczy wówczas nazywamy go pierwiastkiem promieniotwórczym. Do pierwiastków należą: promet, uran, technet, rad, tor.

I.1.1.1 Radionuklidy, a człowiek

Promieniowanie radionuklidów naturalnych lub sztucznych oddziałuje na ciała ludzkie. Jeżeli promieniowanie wytwarzane jest przez radionuklid to może ono oddziaływać bezpośrednio na nasz organizm człowieka. [10]

Promieniowanie jonizujące jest dla człowieka naturalne i stanowi część jego otoczenia. Każdego dnia naturalne promieniowanie dociera do naszego organizmu poprzez miliony cząstek.

Sposobami jakimi docierają radionuklidy do ciała ludzkiego są:

- powietrze,
- woda (także wody gruntowe),
- pokarm,
- wdychanie,
- skóra.

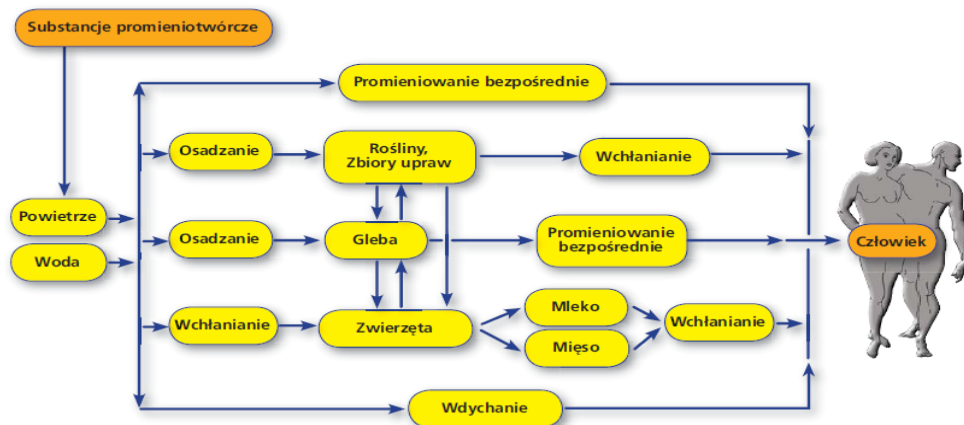
Radionuklidy działają tak samo jak inne pierwiastki.

Woda i powietrze – radionuklidy, które umiejscowione są w tych miejscach mogły trafić tam różną drogą. Przykład to: erozja gruntu, przyczyny działalności człowieka, a także poprzez wodę, która została przesączona.

Pokarm - jeżeli radionuklidy znajdują się zarówno w wodzie jak i w powietrzu to w łatwy sposób mogą dostać się z pokarmem. Roślinność pobiera radionuklidy wraz z wodą. Zwierzęta, które spożyją tą roślinę pozwolą na przedostanie się radionuklidów do okładu pokarmowego.

Wdychanie i skóra – radionuklidy mogą dotrzeć do naszego organizmu z powietrzem. Podczas oddychania trafiają do naszych płuc. Na skórze pojawiające się zaczerwienienia oraz pęknięcia też mogą być przyczyną dotarcia radionuklidów. Są one czasami wszczepiane do skóry za pomocą zastrzyku na drodze procedury terapii lub diagnostyki.

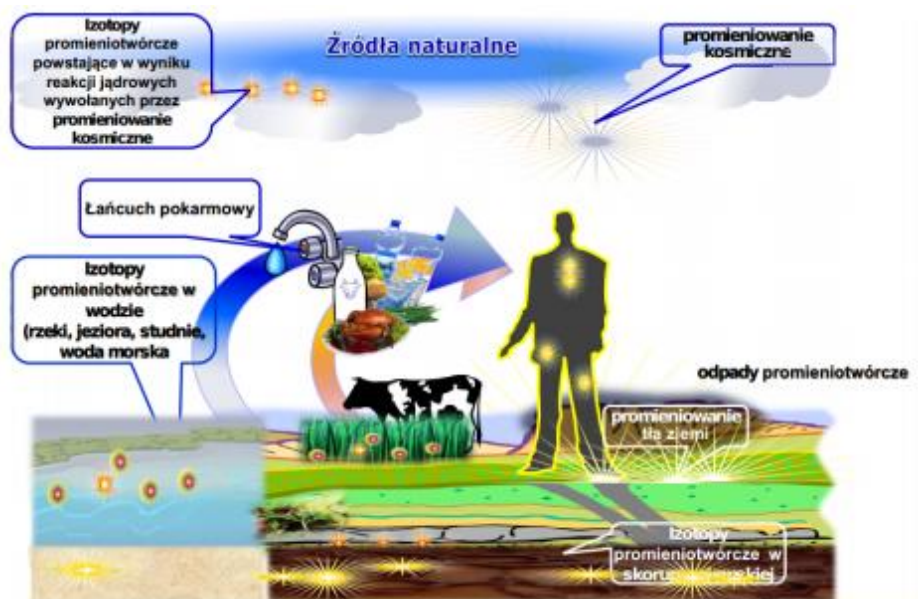
Zawartość odpadów promieniotwórczych wpływa w różny sposób na nasz organizm. Zminimalizowanie uwalniania się ich do naturalnego środowiska jest czynnikiem poprawy jakości życia. Odpady są pakowane do kontenerów umieszczonych w odpowiednich miejscach tak, aby materiał promieniotwórczy nie wydostawał się do nieodpowiednich miejsc.



Rysunek 1: Obieg materiałów promieniotwórczych w przyrodzie [10]

I.1.1.2 Promieniowanie jonizujące

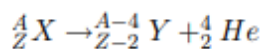
Promieniowaniu towarzyszy powstawanie energii. W życiu codziennym często wykorzystujemy je podczas używania mikrofalówki, telefonów komórkowych, fal radiowych, opalania się w solariach, czy w badaniach rentgenowskich. Jeżeli mamy do czynienia z promieniowaniem znacznie większym niż rentgenowskie wówczas jest to promieniowanie gamma (γ) – jeden z rodzajów promieniowania jonizującego. [10]



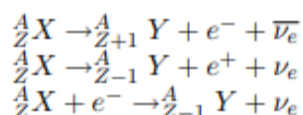
Rysunek 2: Źródła promieniowania jonizującego [10]

Rodzaje promieniowania jonizującego:

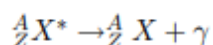
- α (*alfa*) - promieniowanie korpuskularne. Składa się z cząstek, które są jądrami helu,



- β (*beta*) - promieniowanie korpuskularne, składa się z elektronów swobodnych,



- γ (*gamma*) - promieniowanie elektromagnetyczne,



- *promieniowanie neutronowe* – uwolnienie energii znajdującej się w atomie w formie neutronów. Znajduje się tam duża masa cząstek. [10]

I.2 Izotopy w medycynie

I.2.1 Metody promieniowania stosowane w medycynie

Medycyna od dawna korzysta z promieniowania jonizującego. Szczególnie ważne jest ono przy zwalczaniu chorób nowotworowych, których pojawia się coraz więcej. Początki promieniotwórczości sięgają czasów Mari Skłodowskiej – Curie, która jako pierwsza wykorzystwała promieniotwórczy rad do skóry pacjenta.

Izotopy promieniotwórcze są wykorzystywane w medycynie przez umieszczenie substancji promieniotwórczej w narządach organizmu. Dzięki temu zostaje zarejestrowane promieniowanie. Pomocą w diagnostyce są zamieszczone detektory znajdujące się za obiektem, który jest badany. Substancje promieniotwórcze zostają zgromadzone co powoduje dokładne podsumowanie badania diagnozującego chorobę.

W medycynie zastosowane promieniowanie jonizujące łączy się głównie z badaniami rentgenowskimi. Rocznie przypada 0,848 mSV, czyli około 26,6% dawkowania. Zastosowanie wynika głównie z ciągłymi badaniami rentgenowskimi tj. zdjęcia stomatologiczne, złamane kości, prześwietlenie klatki piersiowej. Pozostała część należy do medycyny nuklearnej, która polega na diagnostyce oraz terapii.

Diagnostyka promieniowania jonizującego polega na wprowadzeniu niewielkich ilości radionuklidu, który jest znacznikiem promieniotwórczym do krwiobiegu. Polega to na przemieszczaniu się radionuklidu, który jest monitorowany przez system detekcyjny. Dzięki temu można łatwo zauważyć miejsca, w którym przepływ krwi jest blokowany i zlokalizowany jest nowotwór. Nowotwór napromieniowany jest promieniowaniem gamma, przez kobalt. Inną metodą jest strumień cząstek, które są wytwarzane przez akceleratory. Pozwala to na walkę z komórkami nowotworowymi bez zniszczenia zdrowych tkanek.

Do tarczycy podawany jest izotop jodu, który diagnozuje chore miejsca, a także można nim leczyć tzw. choroba Gravesa – Basedova.

Inną metodą zastosowania promieniowania jonizującego jest wytwarzanie produktów codziennego użytku, a także sterylizacja i higienizacja kosmetyków oraz narzędzi medycznych.

Izotopy promieniotwórcze otrzymywane są przez:

- napromieniowania nuklidów o stabilnych cząstkach w reaktorze jądrowym,
- napromienienie nuklidów o stabilnych cząstkach w akceleratorze i cyklotronie,
- poprzez rozszczepienia nuklidów.

Naturalne izotopy promieniotwórcze charakteryzują się długim okresem połowicznego rozpadu i nie mają swojego zastosowania w medycynie nuklearnej. Wspomaga to sztuczna promieniotwórczość, która powodowana jest przez reakcje jądrowe.

Do czynników wpływających na aktywność izotopów należą:

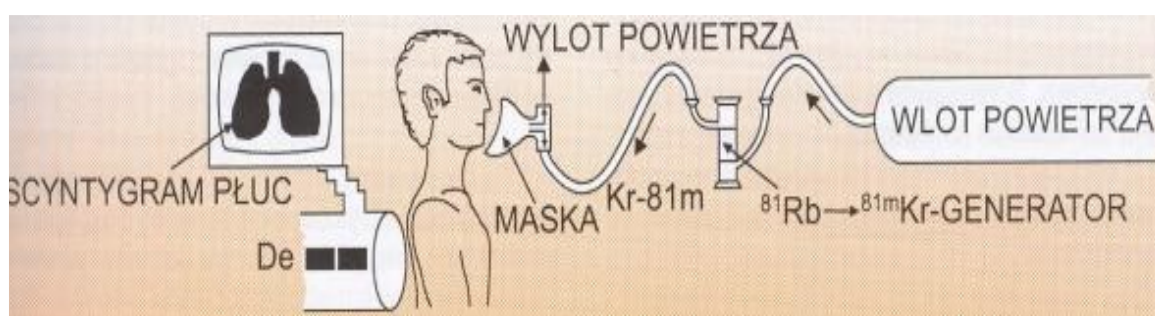
- strumienie cząsteczkowe,
- liczba jąder umieszczonych w tarczy,
- przekrój czynny wpływający na reakcję,
- czas napromieniowania,
- stała rozkładu izotopu.

Jeżeli energia neutronu jest mniejsza od ok. 0,1 eV mamy do czynienia z neutronem termicznym, który jest w prosty sposób wchłaniany przez nuklidy.

I.2.1.1 Metody diagnozowania

Radionuklid – atom, który samorzutnie ulega różnym przemianom jądrowym, wysyłając promienie jądrowe. W jego jądrach promieniotwórczych znajdują się nietrwałe nuklidy, które naturalnie ulegają samorzutnej przemianie promieniotwórczej z emisji cząstki lub kwantu promieniowania gamma. [14]

Planarna scyntygrafia statyczna – polega na obrazowej metodzie diagnoz, w której wprowadzane są do organizmu środki chemiczne. Dzięki temu można zaobserwować ocenę morfologiczną danego narządu. Można ocenić również funkcjonowanie danego narządu (np. tarczyca – zawartość jodu). Dzięki scyntylografii można poznać położenie, wielkość, strukturę, kształt, zdolność do prawidłowego funkcjonowania. Komputer na zakończenie badania wygeneruje obraz izotopu znajdującego się w organizmie.



Rysunek 3: Generator izotopowy $^{81}\text{Rb} \rightarrow ^{81\text{m}}\text{Kr}$ w badaniach płuc (scyntygrafii) [4]

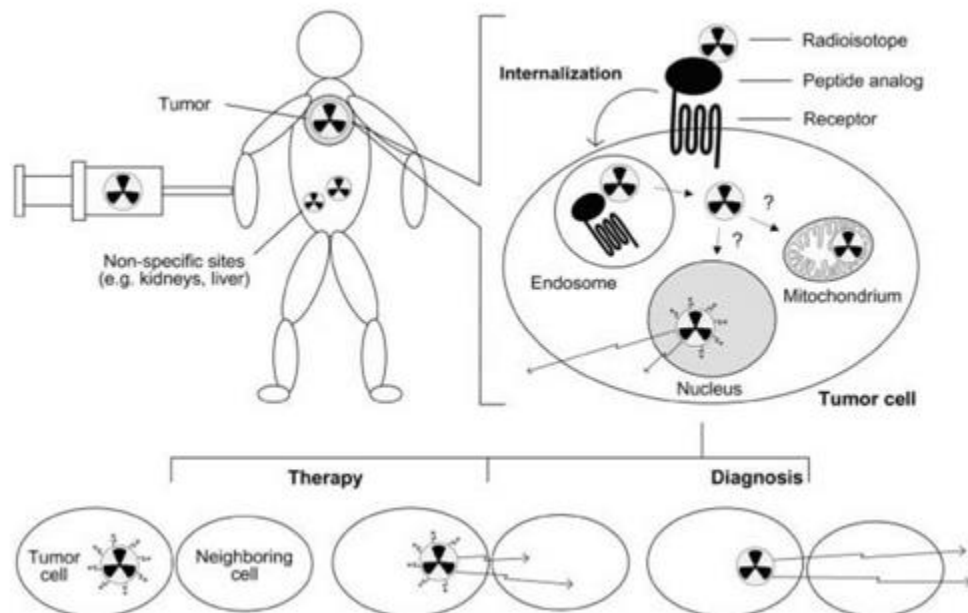
Komputerowa tomografia Emisyjna ECT – nazwa wywodzi się od słowa „tomos”, które oznacza przekrój. Jej zastosowanie głównie odgrywa technika rentgenowska, która ma swoje zastosowanie w diagnostyce radiologicznej. Szczególnie wyróżniona jest komputerowa tomografia emisyjna.

– Tomografia poprzeczna – **SPECT (ang. Single Photon Emission Computed Tomography)** - jej zadaniem jest rejestracja fotonów przy użyciu emitera pozytonów. To technika z dziedziny medycyny nuklearnej, której zadaniem jest przy zastosowaniu promieniowania gamma utworzenie przestrzennego obrazu wybranego obszaru ciała. Dzięki tej metodzie możliwa jest wizualizacja przepływu krwi oraz sprawdzenie obszaru metabolizmu w konkretnym miejscu. Zastosowane są wówczas radiofarmaceutyki zawierające radioaktywny izotop i nośnik pomagający na osadzenie się w narządach i tkankach. Komórki te mają często połączenia z przeciwciałami działającymi na komórki nowotworowe. Ich ilości są proporcjonalne do ilości metabolicznych. Wprowadzony do

obiegu radiofarmaceutyk ma bardzo niskie stężenia. Jest on skierowany w konkretne miejsce, w którym ma działać. Jego zadaniem jest ulegnięcie związaniu, które zacznie emitować promienie gamma. Promieniowanie jest zmierzone dzięki użyciu detektora zwanego kamerą gamma. Aby uzyskać bezpośredni wynik promieniowania z ciała nakłada się kolimator, który jest detektorem, który blokuje fotony skierowane pod innymi kątami niż ściśle określony kąt prosty. Kamera jest zamieszczana na wysięgniku, dzięki czemu obraz w wersji przestrzennej jest odczytywany. Położenie głowicy określamy od 3 do 6 stopni przez obrót pacjenta, a czas potrzebny na jego wykonanie to od kilku do kilkunastu minut. Najczęściej używane są kamery w postaci dwugłowicowej. Ich rozmieszczenie jest naprzeciwko, ponieważ sięgają wówczas dookoła głowy, co umożliwia utworzenie trójwymiarowego obrazu miejsca badanego. [15]

Wymagania jakie muszą spełniać izotopy, aby zostały użyte do SPECT:

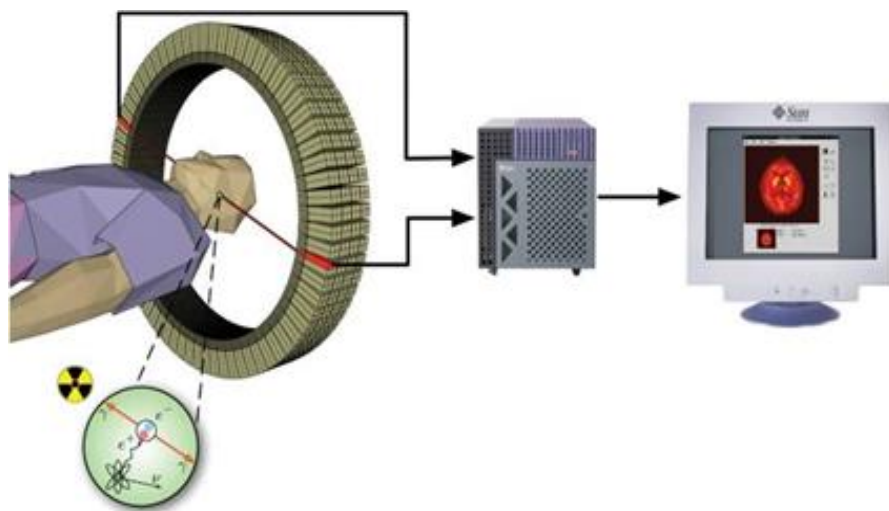
- muszą emitować wyłącznie promieniowanie gamma,
- ich połowiczny czas rozpadu musi być wystarczająco długi, aby całe badanie zostało przeprowadzone,
- energia jaka zostaje emitowana przez kwant gamma musi być mniejsza niż 511keV,



ale większa niż 20 keV. [18]

Rysunek 4: Dystrybucja w organizmie i istota działania radiofarmaceutyków terapeutycznych oraz diagnostycznych. Na rysunku: wiązanie niespecyficzne (ang. non-specific sites), nerki (ang. kidneys), wątroba (liver), nowotwór (ang. tumor), wciągnięcie do środka (ang. internalization), radioizotop (ang. radioisotope), peptydowy nośnik radioizotopu (ang. peptide analog), receptor (ang. receptor), komórka nowotworowa (ang. tumor cell), terapia (ang. therapy), diagnostyka (ang. diagnosis), komórka sąsiadująca (ang. neighboring cell) [19]

- **PET (ang. Positron Emission Tomography)** – to technika obrazowania. W lampie rentgenowskiej wiązka elektronowa wyrzuca w postaci impulsów z włókna lampy i trafia na antykatodę zrobioną z wolframu. Bardzo duże strumienie elektronów powodują przyspieszenia pola elektrycznego włókien dzięki czemu światło jest nagrzewane, a ciepło zostaje przekazane na podkładkę zrobioną z miedzi. [3]



Rysunek 4. Zasada działania układu do PET. Radionuklid w ciele pacjenta emituje pozyton, który anihilując z elektronem generując parę fotonów. Promieniowanie rejestrowane jest przez detektor. Po przejściu przez kontroler zbieżności trafia do komputerowej jednostki przetwarzania obrazu na obraz PET [22]



Rysunek 4: Kamera PET [1]

I.2.1.2 Radioterapia

To metoda napromieniowania polegająca na poddaniu pacjenta promieniowaniu jonizującemu (X), które przenikliwie wnika do organizmu. Wpływ na promieniowanie mają elektrony oraz ciężkie cząstki posiadające wysokie energie. W połowie XX wieku do radioterapii został wprowadzony kobalt C 60, który stał się źródłem promieniowania jonizującego. Kolejne lata



to wprowadzenie akceleratorów liniowych.

Rysunek 5: Bomba kobaltowa [1]

Akceleratory liniowe są najlepszym narzędziem dla radioterapeutów w ich pracy. Dzięki nim możliwe jest uzyskanie wiązek fotonów lub elektronów o energii wynoszącej od 4MV do 25MV - fotony, 4MeV do 25MeV – elektrony. Radioterapia poprzez promieniowanie uszkodza komórkę, która jest narażona na nowotwór. Im większa dawka promieniowania tym większa szansa na uszkodzenie właściwej komórki. Skutkami ubocznymi tej metody jest również uszkodzanie komórek prawidłowych.

Leczenie polega na odpowiednim nakierowaniu, jak dobraniu największej dawki promieniowania na obszar zmieniony chorobowo.

Technika ta zwiększa szanse na uratowanie życia chorego.

W 1946r. R.R. Wilson został pomysłodawcą zastosowania protonów do radioterapii. Istotne znaczenie w tej metodzie miała korzystniejsza dawka protonowa na obszar napromieniowany. Pierwszy pacjent został poddany metodzie protonoterapii w 1954r. Zapoczątkował technikę, którą rocznie stosuje około 40 tysięcy pacjentów. Cały czas prowadzone są badania na temat radioterapii w innych ciężkich naładowanych cząstkach.

1994r. zapoczątkował pierwsze centrum terapii jonami węgla C 12. W terapii, której wykorzystywane jest promieniowanie jonizujące, którego składem są przyspieszone ciężko naładowane cząsteczki to **terapia hydronowa**. Obecnie w leczeniu klinicznym wykorzystywane są protony i jony węgla. Jednak rozwój tej techniki jest tak szybki, że prace trwają cały czas.

Radioterapia jest podstawową metodą leczenia. Aby skutek był zadowalający powinna być połączona z innymi technikami. Większość pacjentów jest leczonych promieniowaniem jonizującym. Medycyna radioterapii zwiększyła swój zasięg w ostatnim dwudziestolecu. Dzięki temu sprzęt radioterapeutyczny, a także diagnostyczny, który wykorzystuje się w leczeniu chorób nowotworowych uległ dynamicznemu ulepszeniu.

Główny cel leczenia radioterapeutycznego to uzyskanie jak najlepszego przypasowania do wyznaczonego obszaru, w którym znajduje się tkanka guza – obszar tarczowy. Dzięki odpowiedniemu dostarczeniu dawki obszary te są chronione poprzez otaczające guza tkanki zdrowe i obszary krytyczne. Zadaniem leczenia jest śmierć komórek nowotworowych, ale także ochrona zdrowych, funkcjonujących tkanek i narządów. W radioterapii stosowane są takie techniki, które pozwolą zniszczyć guza poprzez promieniowanie jonizujące jednocześnie zachowując jak najwięcej komórek zdrowych.

Radioterapia polega na napromieniowaniu pacjenta dawką ok. 60 Gy, która podawane jest w określonym czasie. Frakcje to do 30 po 2 Gy. Pacjent jest wówczas odpowiednio ułożony, aby napromieniowanie ułatwiło powtarzalne umiejscowienie (dokładność 0,5 – 3 mm).

Początki radioterapii i pierwsze próby zastosowania promieni X użyto w XIX w. Odkrycie promieni X stało się nowym początkiem do podstawowych działań medycyny i diagnostyki. Jako pierwsze promieniowanie wykorzystano w leczeniu skóry, a dawka która była dobierana została frakcjonowana ze względu na natężenie oraz niską energię. Dopiero odseparowanie

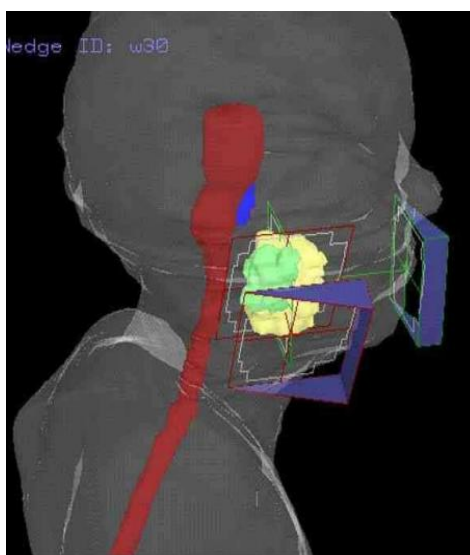
radu pozwoliło na silniejsze źródła promieniowania. Technika ta została nazwana curieterapią. Ówczesna nazwa tego leczenia to brachyterapia.

Radioterapia ma swój silny rozwój poprzez stałe ulepszanie i normalizowanie ilości oraz dawki promieniowania. Izotopy zostały produkowane w akceleratorach i reaktorach (promieniowanie gamma ^{60}Co o bardzo wysokiej aktywności). Promieniowanie, w którym używane są wiązki zewnętrzne nosi nazwę teleradioterapii.

W radioterapii wykorzystujemy urządzenie noszące nazwę liniowy akcelerator fotonów i elektronów. Pierwiastek ^{226}Ra jest najczęściej stosowany w brachyterapii, gdzie zastąpiono go sztucznymi izotopami ^{137}Cs i ^{192}Ir . Mechanizm działania radioterapii polega na pośrednim lub bezpośrednim uszkodzeniu struktur. W działaniu **pośrednim** wrażliwe struktury zostają uszkodzone przez wolne elektrony. Natomiast w działaniu **bezpośrednim** uszkodzenia powstają przez radiolizę wodnych rodników, a także samej wody. Wszystkie działania mające na celu zniszczenie komórki polegają na różnorodnych zmianach chemicznych i biochemicznych.

Do rodzajów radioterapii należą:

- **teleradioterapia** – to metoda polegająca na napromieniowaniu, w którym używamy wiązek zewnętrznych.



Rysunek 6: Obraz otrzymany w wyniku teleradioterapii [8]

- **brachyterapia** – metoda, w której guz nowotworu jest źródłem z którego wynika napromieniowanie. Pierwiastki jakie są stosowane w tej metodzie to: naturalne (rad), sztuczne (pozostałe).
- **terapia radioizotopowa** – metoda, w której radioizotop zostaje podany dożylnie lub doustnie,
- **radioterapia hadronowa.**

W radioterapii wykorzystujemy różne rodzaje promieniowania jonizującego. Mogą być one elektromagnetyczne, czyli fotonowe. Należy do nich promieniowanie gamma oraz rtg. Innym rodzajem jest promieniowanie cząsteczkowe, czyli korpuskularne. Wyróżniamy: protony, neutrony, elektrony, mezony.

Teleradioterapia (RTH) – polega na leczeniu, w którym zastosowana jest pewna odległość źródła od tkanki. Urządzenia, które są zastosowane w tej metodzie pozwalają na dokładne zaplanowanie leczenia. Wiązka promieni zostaje skierowana na zmieniony obszar chorobowy. W metodzie tej zostaje ograniczone do minimum źródło promieniowania na zdrowe tkanki. Podczas leczenia istotna jest stała kontrola lekarza, a także fizyka i technika. Wyróżniamy trzy rodzaje teleradioterapii:

- **teleradioterapia radykalna** – polega na napromieniowaniu guza lub jego okolicy tak aby usunąć go całkowicie ze zdrowego organizmu,
- **teleradioterapia paliatywna** – polega na zastosowaniu metody w celu łagodzenia bólu, którego przyczyną jest rozprzestrzenianie nowotworu,
- **teleradioterapia objawowa** – polega na całkowitym lub częściowym usunięciu bólu, który powodują przerzuty nowotworowe. W teleradioterapii objawowej następuje zahamowanie wzrostu komórek nowotworowych. [5]

Brachyterapia – należy do metod leczenia radiologicznego polegającego na napromieniowaniu tkanki nowotworowej guza w bliskim sąsiedztwie. To metoda energii promieniowania izotopowego wysokimi dawkami, które są prowadzone w kilku frakcjach. Aby w guzie został zamieszczony izotop wykonywane są często procedury zabiegowe tj. gastroskopia, bronchoskopia. Aby ulepszyć leczenie częstym połączeniem jest brachyterapia z napromieniowaniem zewnętrznym. [6, 7]

Terapia radioizotopowa – należy do metody leczenia polegającej na wprowadzeniu w odpowiednie miejsce radiofarmaceutyku. Dzięki temu emitowane jest promieniowanie jonizujące gromadzone w jednym miejscu. Metody podawania radioizotopu są różne. Można podawać radioizotop dożylnie, w postaci tabletek, płynów, wlewem, domięśniowo, a także za pomocą koloidu. Po podaniu radioizotopów gromadzone są one w obrębie chorobotwórczym w znacznie większym stopniu niż w tkankach zdrowych. Efektem promieniowania jest martwica popromienna miejsc sieci naczyń włosowatych, gdzie umiejscowiony jest nowotwór. W metodzie tej możliwe jest napromieniowanie kilku miejsc równocześnie. [9, 10, 11]

Radioterapia hadronowa – polega na radioterapii, w której występuje naświetlenie strumieniem rozprędzonych cząstek. W ten sposób komórki nowotworowe pod wpływem protonów lub ciężkich jonów (np. węgla) oddziałują w stopniu zasięgowym. Kiedy protony nabierają prędkości tracą małą ilość energii, która w określonej wielkości staje się maksymalna. W momencie zatrzymania protonów energia zanika. Parametry są dopasowywane w taki sposób, aby wiązka protonów niszczyła tylko komórki chorobowe bez miejsc zdrowych. Jest to bardzo duża przewaga protonoterapii. [12]

I.2.1.3 Medycyna nuklearna

Odrębną gałąź medycyny stanowi medycyna nuklearna. To nauka obejmująca zarówno metody diagnostyczne, a także lecznicze. Najczęściej w diagnostyce wykorzystywane jest promieniowanie gamma, a w celach terapeutycznych promieniowanie beta.

Izotopy promieniotwórcze w przypadku medycyny nuklearnej są jako otwarte źródła promieniowania. W metodzie tej wykorzystujemy USG, badania radioizotopowe, rezonans magnetyczny, tomografię komputerową, radioimmunologia.

Medycyna nuklearna to badanie, które polega na zastosowaniu substancji, która jest podana z odpowiednim izotopem. W badaniu tym wykorzystywane są:

- przepływy krwi w organizmie,
- błony mechanizmów transportujących,
- systemy receptorowe,
- procesy metaboliczne.

Metoda radioimmulogiczna pomaga w dokładnym oznaczeniu poziomu dużej ilości substancji znajdujących się w płynach ustrojowych. Wyróżnione są:

- insulina,
- testosteron estrogenu,
- hormon sterydowy,
- hormon tarczycy.

Związki te są antygenami, które wytwarzają przeciwciała reagując na nie.

Terapia radioizotopowa polega na zróżnicowaniu całkowitej dawki, która zostaje przekazana, a także zmian chorobowych, które reagują na promieniowanie jonizujące. W medycynie nuklearnej metody radioizotopowe są nadzieją na leczenie wielu schorzeń. Nowe związki chemiczne, które są nadal odkrywane i poszukiwanie radioizotopów oddziaływających na tkankę zmienną chorobowo jest nadzieją na odnalezienie tkanki wiążącej się z tkanką patologiczną.

Zakłady medycyny nuklearnej, a także oddziały radiologiczne mają swoje miejsce w wielu szpitalach. Podczas promieniowania rentgenowskiego, które zawiera bardzo dużą ilość energii dzięki której następuje likwidacja komórek rakowych wiązka elektronów pod wpływem siły uderza w metalową tarczę uzyskując promieniowanie rentgenowskie. [2]

Radiofarmaceutyki to związki składające się z pierwiastka, który ma powinowactwo do badanej tkanki oraz radioizotopu, który wpływa na daną substancję. W odróżnieniu do form tj. tomografia komputerowa, ultrasonografia, rezonans magnetyczny w metodzie tej możemy zobrazować fizjologię i aktywność metaboliczną. Dzięki medycynie nuklearnej uzyskujemy szczegółowe informacje na temat konkretnych narządów, w których mogą wystąpić dysfunkcję. Bardzo duża ilość różnych radiofarmaceutyków pozwala na rozwój tej dziedziny.

W radiofarmaceutykach znajdują się radioizotopy. Najczęściej są one wolne od efektów farmakologicznych zatem bezpieczeństwo ich użytkowania jest duże. Radiofarmaceutyki stosowane są w ilościach śladowych. Cyklotrony powodujące przyspieszenie cząstek dzięki którym powstają radioizotopy mają szerokie zastosowanie w medycynie. Aktualna liczba radiofarmaceutyków to 100.

W ostatnich latach bardzo dużym zainteresowaniem cieszyła się diagnostyka PET, w której szczególną rolę odgrywają radiofarmaceutyki – szczególnie fluor -18 w postaci fluorodeoksyglukozy.

Radiofarmaceutyki składają się z radioizotopu i ligandu. Ligand to substancja, która pozwala na gromadzenie radiofarmaceutyku w odpowiednim miejscu, które jest leczone. Miejsce leczone napromieniowane jest cząsteczkowe promieniowaniem beta. Dzięki temu wykorzystywana jest terapia miejscowa. [8]

Medycyna nuklearna wykorzystuje źródła izotopowe, aby odpowiednio wcześniej zdiagnozować schorzenie. Jej zadaniem jest także zapobiegać zabiegom chirurgicznym, które na obecną chwilę nie są konieczne. Wszelkie badania występują przed podaniem pacjentowi substancji promieniotwórczej, która następnie jest rozprowadzona po organizmie w taki sposób, że umożliwia monitorowanie wszelkich zjawisk. Umożliwia to system detektorów.

Procesy biologiczne zachodzące w organizmie przez izotopy są możliwe w organizmach żywych (in vivo), a także po usunięciu tkanek lub płynów ustrojowych (in vitro).

Najczęściej wykorzystywane izotopy:

- jod, technet – terapia radioizotopowa,
- jod, tryt – analizy chemiczne badające poziom hormonów, krwi, moczu.

Technika PET oraz SPECT to jedna z najbardziej powszechnych zastosowań izotopu technet. Jest to izotop metastabilny, który ma długi okres połowicznego rozpadu.

W zastosowaniu metod izotopowych wyróżniamy:

- **technologie radiacyjne** – dzięki którym uzyskujemy zmiany fizyczne oraz chemiczne,
- **technologie radioznacznikowe** – dzięki, którym wprowadzany izotop promieniotwórczy poprzez znacznik badanej substancji i pomiary zmian zachodzących w organizmie pozwalają na usytuowanie znacznika w badanym obiekcie,

- **technologie radioizotopowe** – dzięki którym metody pomiarowe pomagają w badaniu obiektów i ich dogłębnej analizie.

Promieniowanie X (rentgenowskie) wykorzystywane jest w tomografii komputerowej (CAT). W metodzie Computer Assisted Tomography następuje różne pochłanianie promieniowania X poprzez tkanki o różnych strukturach.

I.3 Zastosowanie izotopów promieniotwórczych w medycynie

Izotopy promieniotwórcze mają szerokie zastosowanie w medycynie. Do najbardziej znanych izotopów należą:

- Ameryk 241 (^{241}Am) – źródło analizatorów fluorescencji rentgenowskiej (XRF),
- Azot 13 (^{13}N) – stosowany w PET,
- Brom 76 (^{76}Br) – stosowany w PET,
- Cez 137 (^{137}Cs) – stosowany podczas terapii nowotworowej, dzięki niemu można uzyskać pomiar dawki promieniotwórczej radiofarmaceutyków,
- Chrom (^{51}Cr) – stosowany podczas badań przepływności krwinek czerwonych,
- Fluor 18 (^{18}F) – stosowany w PET,
- Gal 68 (^{68}Ga) – stosowany w PET,
- Jod 123 i 124 (^{123}I , ^{125}I) – stosowany w diagnostyce tarczycy,
- Jod 124 (^{124}I) – stosowany w PET,
- Iryd 192 (^{192}Ir) – stosowany w brachyterapii,
- Kobalt 60 (^{60}Co) – sterylizacja narzędzi stosowanych w chirurgii,
- Ksenon 133 (^{133}Xe) – stosowany podczas badań wentylacji płuc oraz przepływu krwi,
- Miedź 64 (^{64}Cu) – stosowana w PET,
- Pluton 238 i 239 (^{238}Pu , ^{239}Pu) – stosowany w RTG,
- Stront 90 (^{90}Sr) – stosowany w RTG,
- Tlen 15 (^{15}O) – stosowany w PET,
- Tryt 3 (^3H) – stosowany podczas badań nowych leków poprzez sprawdzanie ich metabolizmu,
- Wapń 47 (^{47}Ca) – stosowany podczas badań biomedycznych komórek i kości
- Węgiel 11 (^{11}C) – stosowany w PET,
- Węgiel 14 (^{14}C) – stosowany podczas badań nowych leków [1]

ZAKOŃCZENIE

Założeniem pracy dyplomowej było ukazanie istoty izotopów w medycynie.

Treści zawarte w pracy przedstawiają wartość izotopów. Uwzględniają także działanie ich na organizm człowieka.

Obecnie kwestie związane promieniowaniem są częstym tematem. Warto więc mieć wiedzę w tym zakresie. Mamy nadzieję, że praca będzie cennym źródłem informacji dla uczniów, którzy chcą przygotować się na konkurs. Materiały zawarte w pracy mogą posłużyć również jako 2 godzinna prelekcja zakończona debatą na temat pozytywów i negatywów płynących z fizyki jądrowej.

Wybrane elementy pracy mogą również stanowić, wartościową pomoc dydaktyczną dla uczniów szkół średnich (IV etap edukacji) na koło zainteresowań.

BIBLIOGRAFIA

Książki

1. Dr n. med. Dariusz Kieszko lek. med. Justyna Podlodowska, Brachyterapia, wyd. Centrum Onkologii Ziemi Lubelskiej im. św. Jana z Dukli, Lublin 2011 [7]
2. L. Dobrzyński, E. Droste, R. Wołkiewicz, Ł. Adamowski, W. Trojanowski, Spotkanie z promieniotwórczością, instytut Problemów Jądrowych im. Andrzeja Sołtana, listopad 2010 [1]
3. Słownik języka polskiego. tom II, PWN, Warszawa 1998 [13]
4. Czerwiński A.: Energia jądrowa i promieniotwórczość. Oficyna Wydawnicza □ Krzysztof Pazdro, Warszawa 1998 [2]
5. Osiecka E.: Materiały budowlane- właściwości techniczne i zdrowotne. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002 [14]
6. Eberle, A.N., Mild, G., Froidevaux, S., 2004. Receptor-Mediated Tumor Targeting with Radiopeptides. Part 1. General Concepts and Methods: Applications to Somatostatin Receptor-Expressing Tumors. J. Recept. Signal Transduct. Res. 24(4), 319-455. [19]
7. Alexiou ,G.A., Tsiouris, S., Kyritsis, A.P., Fotakopoulos, G., Goussia, A., Voulgaris, S., Fotopoulos, A.D., 2010. The value of ^{99m}Tc -tetrofosmin brain SPECT in predicting survival in patients with glioblastoma multiforme. J. Nucl. Med. 51(12), 1923-6. [21]
8. Bhattacharyya, S., Dixit, M., 2011. Metallic radionuclides in the development of diagnostic and therapeutic radiopharmaceuticals. Dalton Trans. 40(23), 6112-28. [22]

Artykuły i studia

1. dr n. med. Maria Teresa Płazińska, Sara Zawadzka, Radionuclide therapy of chronic inflammatory joint diseases, GF październik 2014 [8]
2. Chrabański, O. (2015). Radionuclide therapy of bone metastases in view of α -emitters appearance. Medycyna Paliatywna/Palliative Medicine, 7(2), 101-105. [9]
3. Scheffler J. Leczenie przerzutów nowotworowych do kośćca radioizotopami – korelacje kliniczne i radiologiczne. Rozprawa na stopień doktora nauk medycznych. Katedra

Medycyny Nuklearnej i Informatyki Radiologicznej Akademia Medyczna w Gdańsku, Gdańsk 2008. [10]

4. Małgorzata Nowina-Konopka Instytut Fizyki Jądrowej PAN, Kraków, Terapia hadronowa w Krakowie, FOTON 123, Zima 2013 [12]
5. Wołkowicz S.: Naturalne i sztuczne promieniowanie w środowisku człowieka. Państwowy Instytut Geologiczny [15]
6. Jagielak J., Biernacka M., Henschke J., Sosińska A.: Radiologiczny Atlas Polski 1997. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 1998. [16]

Strony internetowe

1. <http://publicznecentraonkologii.pl/pacjent/teleradioterapia/> [5]
2. https://wco.pl/co_i_jak_leczymy/brachyterapia/ [6]
3. http://www.if.pw.edu.pl/~pluta/pl/dyd/mjt/zal1/pz03/malinowska/pliki_html/metody_izotop.html [11]
4. http://ncbj.edu.pl/zasoby/wyklady/ld_podst_fiz_med_nukl/09.pdf [3]
5. http://ncbj.edu.pl/zasoby/wyklady/ld_podst_fiz_med_nukl-01/med_nukl_06_v4.pdf [4]
6. <https://docplayer.pl/53029565-Pozytonowa-emisyjna-tomografia-komputerowa.html> [17]
7. <http://laboratoria.net/artukul/18370.html> [18]
8. <http://withfriendship.com/user/sathvi/single-photon-emission-computed-tomography.php> [20]
9. <http://ptfarm.pl/pub/File/Farmacja%20Polska/2010/02-2010/16%20%20PET.pdf> [23]

SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1: Obieg materiałów promieniotwórczych w przyrodzie [10]

Rysunek 2: Źródła promieniowania jonizującego [10]

Rysunek 3: Generator izotopowy $^{81}\text{Rb} \rightarrow ^{81\text{m}}\text{Kr}$ w badaniach płuc (scyntygrafii) [4]

Rysunek 4: Dystrybucja w organizmie i istota działania radiofarmaceutyków terapeutycznych oraz diagnostycznych.

Rysunek 5: Bomba kobaltowa [1]

Rysunek 6: Obraz otrzymany w wyniku teleradioterapii [8]