

Wstęp do Fizyki Medycznej - wykłady

Maciej Standerski

10 października 2023

1 Wykład (09.10.2023)

1.1 Wstęp

Email: piotr.tulik@pw.edu.pl

Zaliczenie kolokwium (test: forma zamknięta i otwarta)

Maksymalna liczba do zdobycia na kolokwium: 30

Zaliczenie od 51% punktów z kolokwium.

Literatura:

"Planowanie leczenia i dozymetria w radioterapii", J. Malicki, K. Ślisarek

"Biocybernetyka i inżynieria biomedyczna 2000" i "Fizyka medyczna", Maciej Nałęcz

"Fizyczne metody diagnostyki medycznej i terapii", A. Hryniewicz, E. Rokita

"Dozymetria promieniowania jonizującego w radioterapii" i "Podstawy fizyki promieniowania jonizującego..."
W. Łobodziec

1.2 Czym jest fizyka medyczna

Jakie dziedziny obejmuje fizyka medyczna:

- diagnostyka
- radioterapia (teleradioterapia i brachyterapia)
- medycyna nuklearna (terapia izotopowa, SPECT, itd.)
- inżynieria biomedyczna
- fizykoterapia (laseroterapia, elektroterapia, galwanizacja, itd.)
- kontrola jakości
- sterylizacja radiacyjna
- ochrona radiologiczna
- zjawiska elektromagnetyczne w diagnostyce i tomografia MR

Tomografia (PET, SPECT, tomografia rezonansu magnetycznego)

1.3 Radioterapia

Radioterapia - miejscowa metoda leczenia nowotworów, wykorzystująca energię promieniowania jonizującego. Stosowana w onkologii do leczenia chorób nowotworowych oraz łagodzenia bólu i innych dolegliwości związanych z rozsiałym procesem nowotworowym, np. w przerzutach nowotworowych do kości lub guzach powodujących niedrożność oskrzela.

Promieniowanie można podzielić ze względu na:

Oddziaływanie z materią

- Promieniowanie pośrednio jonizujące elektromagnetyczne: X i gamma (rozdzielamy na podstawie źródła pochodzenia: promieniowanie γ jest promieniowaniem rentgenowskim powstającym podczas przemian jądrowych, natomiast promieniowanie X jest promieniowaniem emitowanym przez cząstkę poruszającą się ruchem przyspieszonym)
- Promieniowanie cząstkowe (bezpośrednio jonizujące, pośrednio jonizujące (neutrony))

Energie

- Radioterapia konwencjonalna (60 do 400 keV)
- Radioterapia megawoltowa (1,25 do 25 MeV)
- Elektrony (6 do 22 MeV)
- Wiązki hadronowe (60 do 230 MeV)

Zalety megawoltowego promieniowania X

- większa przenikliwość
- mniejsza zdolność pochłaniania przez tkankę kostną
- lepsza tolerancja leczenia

Brachyterapia - umieszczenie źródła promieniowania w jamach ciała, bezpośrednio w guzie albo w jego otoczeniu, najczęściej wykorzystywanym radiofarmaceutyką jest izotop irydu 192 (źródło zamknięte lub źródło otwarte). Rozróżnia się brachyterapię:

- wewnątrzkomórkową - umieszczenie źródła w guzie
- wewnątrzjamową - umieszczenie źródła w bezpośrednim sąsiedztwie guza przy użyciu naturalnych otworów w ciele
- powierzchniową - umieszczenie źródła na skórze w celu leczenia zmian powierzchniowych
- śródnaczyniową - źródła umieszczone w naczyniach krwionośnych
- śródoperacyjną

Teleradioterapia - technika leczenia za pomocą promieniowania jonizującego (radioterapia), w metodzie tej źródło promieniowania umieszczone jest w pewnej odległości od tkanek. Polega na napromienianiu wiązkami zewnętrznymi określonej objętości tkanek, obejmującej guz nowotworowy z adekwatnym marginesem tkanek oraz, w razie potrzeby, regionalne węzły chłonne. Jednym z rodzajów terapii jest terapia hadronowa, w której wyróżnia się:

- terapię cząstkami naładowanymi takimi jak protony, jony, ujemne mezony π^-
- terapię cząstkami neutralnymi, czyli neutronami, w której wyróżnia się natomiast FNT (terapia szybkimi neutronami) oraz BNCT (terapia borowo-neutronowa)

Terapia izotopowa - podanie izotopu promieniotwórczego (najczęściej jod, w diagnostyce glukoza jako nośnik)
Skutki promieniowania: deterministyczne (gdy zostanie przekroczony próg) i stochastyczne (występują zawsze)

Frakcjonowanie - podział na mniejsze dawki

1.4 Historia promieniotwórczości

Bomba radowa

Kliniczny akcelerator van de Graaff'a

Bomba kobaltowa - urządzenie do teleradioterapii lub napromieniowywania przedmiotów promieniami gamma (γ) o energiach 1,17 i 1,33 MeV, emitowanymi przez izotop kobaltu ^{60}Co o aktywności rzędu 1013-1014 Bq. Ze względu na dużą przenikliwość promieniowania gamma aktywny kobalt jest otoczony grubą osłoną z ołowiu, w której znajdują się kanały wyprowadzające na zewnątrz wiązkę promieniowania. Bomba kobaltowa może też być wyposażona w mechanizm umożliwiający zdalną manipulację próbkami bez narażania operatora na promieniowanie. Bomba kobaltowa jest stosowana w lecznictwie do zwalczania chorób nowotworowych, w defektoskopii, do sterylizacji żywności oraz w chemii radiacyjnej, do badań procesów fizykochemicznych zachodzących podczas napromieniowywania wysokoenergetycznymi kwantami gamma prostych i złożonych układów chemicznych. Nazwą tą określaną jest także broń jądrowa z płaszczem kobaltowym.

Insytuty medycyny nuklearnej w Polsce:

1932 - otwarcie Instytutu Radowego w Warszawie

Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej Curie

Narodowy Insytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej Curie Instytut Badawczy

Cyklotronowe Centrum Bronowice IFJ PAN (cyklotron AIC-144, Cyklotron Proteus C-235)

Obrazowanie planarne: radiografia ogólna, fluoroskopia, mammografia, stomatologia, densytometria

Scyntygrafia

1.5 Lampa rentgenowska

Anoda posiada wolframową powierzchnię (posiada wysoką liczbę atomową $Z = 74$ oraz wysoką temperaturę topnienia i niski wskaźnik parowania) wtopioną w miedzianą tarczę. Powierzchnia znajdująca się na anodzie może być również wykonana z renu, a w przypadku lamp stosowanych w mammografii może być również wykonana z molibdenu ($Z = 42$) ze względu na odpowiednią energię powstającą w wyniku zderzeń elektronów z tarczą anody.

Lampy rentgenowskie ze stałą oraz z wirującą anodą

$$N = cT^2 e^{-dT}$$

Całkowita energia promieniowania rentgenowskiego

$$W = kZE_0^2$$

Lampy mogą być wolnoobrotowe lub szybkoobrotowe.

Na żywotność lampy zasadniczy wpływ mają łożyska (przy używaniu lampy należy oszczędzać łożyska)

Anoda stacjonarna (powierzchnia rzędu 4 mm^2)

Anoda wirująca (1835 mm^2 , wynikiem stosowanie tego rodzaju lampy jest większe liczba fotonów emitowanych z powierzchni i dzięki temu samemu krótszy czasu ekspozycji. Dzięki temu, że lampa nie jest bombardowana przez elektrony tylko w okolicach jednego punktu, tylko na całej powierzchni anody, znacznie wolniej się ona nagrzewa.)

Ognisko elektryczne, rzeczywiste i optyczne (pozorne) (im większe ognisko, tym gorsza rozdzielczość obrazu)

Kąt nachylenia anody

Szklana obudowa - utrzymanie próżni 10^{-6} mmHg , odizolowanie elektrod, zespolenie katody i anody.

Kołpak ochronny - chroni przed wydostaniem się promieniowania w niepożądanym kierunku. (olej transformatorowy)

Moc lampy

Co wpływa na uszkodzenie lampy:

- Zbyt długi czas ekspozycji
- Zbyt krótki czas pomiędzy ekspozycjami
- Odparowanie katody

Typy aparatów rentgenowskich:

- Aparat typu głowicowego (zasilacz wysokiego napięcia + lampa RTG w kołpaku)

- Aparat typu kołpakowego (zasilacz stanowi oddzielne urządzenie)

Zasilacze wykorzystywane przy aparatach rentgenowskich:

- jednopulsowe
- dwupulsowe
- sześciopulsowe
- dwunastopulsowe

np. Zasilacze impulsowe WCZ

Rodzaje ograniczników:

- stałe
- nastawne
- głębinowe
- irysowe
- uciskowe

Stopień nieostrości geometrycznej $n = \frac{s \cdot p}{f - p}$

Efekt półcienia - powstaje, gdy duże ognisko znajduje się w małej odległości od obrazowanego obiektu. Można go zminimalizować oddalając ognisko.

Czynniki wpływające na jakość zdjęcia:

- dobór warunków ekspozycji
- wielkość ogniska lampy rentgenowskiej (im mniejsze ognisko tym lepsza zdolność rozdzielcza)
- wartość i rodzaj zastosowanej filtracji całkowitej (dodatkowa filtracja powoduje zmniejszenie dawki, którą pacjent pochłonie (można ograniczyć ilość miękkiego promieniowania, która nie dodaje nic do diagnozy), jednak powoduje wzrost ilości rozproszonego promieniowania, co przekłada się na niższy kontrast zdjęcia)
- stosowanie kratki przeciwrozproszeniowej - zapobiega przedostawaniu się promieniowania rozproszonego
- odległość ogniska lampy-badany obiekt-rejestrator obrazu - wpływa na ostrość obrazu, małe ognisko oraz niewielka odległość badanego obiektu od rejestratora daje lepszą ostrość

Rodzaje filtrów:

- Filtry rentgenowskie - zmiana widma promieniowania przez zastosowanie ośrodka pochłaniającego
- Filtr własny - bańka szklana, okno kołpaka, olej transformatorowy
- Filtry dodatkowe - mocowany na zewnątrz kołpaka, może być absorpcyjny, charakterystyczny lub kompensacyjny
- Filtracja całkowita - suma filtracji własnej i dodatkowej

Kratki przeciwrozproszeniowe (współczynnik wypełnienia, liczba *linii/cm*, gęstość powierzchniowa ołowiu w kratce g/cm^2 , efektywność kratki, absorpcja, jakość kratki)

3 główne parametry obrazowania:

- napięcie lampy - różnica potencjałów przyłożonych do anody i katody lampy rentgenowskiej. Zwykle napięcie lampy rentgenowskiej jest wyrażone przez wartość szczytową w kilowoltach (kV). Im wyższa wartość napięcia, tym krótsza fala promieniowania, wyższa energia i przenikliwość, a co za tym idzie wyższe „zaczernienie” obrazu;

- prąd lampy - prąd elektryczny wiązki elektronów padających na tarczę lampy rentgenowskiej. Zwykle prąd lampy rentgenowskiej jest wyrażony wartością średnią w miliamperach (mA). Prąd katody determinuje jej temperaturę, im wyższa temperatura, tym większa ilość emitowanych elektronów, a co z tym związane – większa ilość kwantów promieniowania
- czas ekspozycji - czas trwania napromieniania, zdefiniowany zależnie od określonej metody, zwykle czas, w którym moc wielkości promieniowania przekracza określony poziom. Im dłuższy czas ekspozycji, tym większa dawka, a więc i „zaczernienie” obrazu.

Tryby pracy aparatu RTG:

- technika dwupunktowa (parametrami są napięcie lampy [kV] oraz obciążenie prądowo-czasowe [mAs])
- technika trzypunktowa (3 główne parametry obrazowania)

Parametry obrazu rentgenowskiego:

- rozdzielczość obrazu
- kontrast obrazu
- ostrość obrazu

Link do strony Brain Wiki: "Obrazowanie Medyczne/Metody obrazowania medycznego wykorzystujące promieniowanie rentgenowskie"