

Wstęp do Fizyki Medycznej - wykłady

Maciej Standerski

16 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"

2 Wykład (16.10.2023)

Układ AEC

Układ IBS - fluoroskopia

HU - jednostka obciążenia cieplnego anody (ma wymiar energii)

Dla generatora jednopulsowego $HU = 1kV \cdot mA \cdot s$

Sześciopulsowego $HU = 1,35kV \cdot mA \cdot s$

Dwunastopulsowego $HU = 1,41kV \cdot mA \cdot s$

2.1 Mammografia

W niektórych przypadkach istnieje szczególna konieczność zmniejszenia rozprożeń.

Badanie radiograficzne tkanki miękkiej

Wartości gęstości i efektywnego Z dla wybranych tkanek ludzkich

Tkanka gruczołowa, tłuszczowa i włóknista

Linear attenuation coefficient (problem odróżnienia tkanki włóknistej i gruczołowej - przy niskich energiach promieniowania różnica jest możliwa do zaobserwowania (ok. 20 keV), efekt fotoelektryczny)

X oddziałuje z tkanką w skutek rozproszenia komptonowskiego i efektu fotoelektrycznego

Konwencjonalne lampy RTG emitują promieniowanie o energiach 70-100 keV.

Energia w zakresie 18-23 keV w zależności od grubości i składu piersi.

Wykres optymalnych energii dla mammografii.

Wykorzystanie promieniowania charakterystycznego (widmo z anody wolframowej filtrowane molbdenem lub Rh)

Zestawienia anoda/filtracja

- Mo-Mo
- Mo-Rh
- Rh-Rh
- Wolfram-Rh

Molibden $Z = 42$, Wolfram $Z = 74$, przez co w anodzie molibdenowej dominuje promieniowanie charakterystyczne

Rh ($Z = 45$)

Zakres napięć anody: 24-28 keV. Jeśli napięcie lampy jest zbyt niskie, wartość mAs może rosnać do nieakceptowalnych wartości, zwiększając niebezpiecznie dawkę promieniowania.

Mammograf - budowa

Płytką kompresującą (zmniejsza się grubość sutka, a więc zmniejsza się rozporoszenie promieniowania i dzięki temu rośnie rozdzielczość obrazu)

Wiązka promieniowania musi być odpowiednio ułożona (kolimacja wiązki) - system jest tak zabudowany, że pionowa wiązka przechodzi równolegle do ciała pacjentki.

Rozmiar ogniska jest bardzo istotnym parametrem lampy mammograficznej.

System Dicom

Rozdzielczość paru linii/cm.

Mammografy mają dwie wielkości ogniska: 0.3 i 0.1 mm

ACR accreditation phantom

Tomosynteza

Aparaty stomatologiczne

- wewnątrzustne
- zewnątrzustne (pantomografia (przygotowania do założenia aparatu na zęby), cefalografia)
- aparaty 3D

Aparaty z ramieniem C (radiologia zabiegowa, angiografia)

Aparaty densytometryczne

Aparaty przyłóżkowe

Tomografia klasyczna

2.2 Podstawowe cechy nowotworów

KRN - krajowy rejestr nowotworów

Nowotwór - grupa chorób, w których komórki organizmu dzielą się w niekontrolowany sposób, a nowo powstałe komórki nowotworowe nie różnicują się w typowe tkanki.

Nowotwór - czyli niekontrolowana proliferacja komórek. Wszystkie komórki nowotworowe są klonami pojedynczej komórki.

Żeby powstał nowotwór złośliwy wymaga to zgromadzenia kilku mutacji w komórce (6-8).

1. Mutacje w genach kontrolujących mitozę 2. W genach regulujących proces apoptozy (zaprogramowanej śmierci komórki)

4. Stymulujące angiogenezę - tworzenie się nowych naczyń krwionośnych niezbędnych do rozwoju guza nowotworowego 5. Stymulujące powstanie przerzutów - roznosić drogą układu ochronnego i krwionośnego

Cechy charakterystyczne nowotworów:

- Szybki wzrost
- Naciekanie i niszczenie okolicznych tkanek
- Zdolność do przerzutów do węzłów chłonnych i odległych narządów
- Zaburzenia apoptozy
- Anaplazja
- Wznowy miejscowe
- brak torebki guza
- odrastanie w miejscu występowania po niedokładnym usunięciu pierwszej zmiany

- duża zdolność tworzenia nowych kompensacyjny
- duże zróżnicowanie wyglądu komórek nowotworowych

Cykl komórkowy - fazy

- Mitoza (6-8)
- wzrost G1 (1-8)
- synteza DNA S - replikacja (6-8 h)
- wzrost G2 (2-4)

Cykl komórkowy w komórkach nowotworowych jest krótszy niż w zdrowych.

Prolifercja - zdolność rozmnażania się komórek; jedna z cech organizmów żywych

Kontrola cyklu komórkowego

Częstość wchodzenia w fazy S i M cyklu jest różna w zależności od rodzaju komórki.

Nadmierna apoptoza jest hamowana przez "geny przeżycia".

Onkogeneza (przez 5 lat pacjent uznawany jest jako pacjent onkologiczny)

Radiowrażliwość tkanki nowotworowej i prawidłowej - komórki wykazują różną wrażliwość na promieniowanie jonizujące. Wykresy prawd-stwa kontroli nowotworu

Stosując radioterapie dąży się do jak największego TCP i jak najmniejszego NTCP (zazwyczaj 0,05).

Radiochirurgia

Terapia radioizotopowa

Terapia radykalna - prowadzona z zamiarem wyleczenia choroby nowotworowej, i paliatywna - poprawa jakości życia w okresie kiedy choroby nie można zatrzymać

Nowotwór to nieprawidłowa tkanka powstająca z jednej "chorej" komórki organizmu. Nowotwory mogą być łagodne i złośliwe.

Rozwój nowotworu:

- Zmiana przednowotworowa - wiąże się z ryzykiem rozwoju nowotworu złośliwego
- Stan przednowotworowy - choroba związana ze zwiększonym ryzykiem wystąpienia nowotworu złośliwego

Nowotwory złośliwe:

- pochodzenia nabłonkowego (raki)
- z komórek mezenchymalnych (mięsaki)
- tkanka limfatyczna i ukł. krwionośnego (chłoniaki, białaczki)

Występują również nowotwory pochodzące z pierwotnej komórki płciowej.

Nowotwory łagodne - cechy ostre odgraniczenie guza rozprężający typ wzrostu brak zdolności tworzenia przerzutów

Wyjątek stanowią naczyniaki - nowotwór łagodne nie będące otoczone torebką i wciskają się nieregularnymi wypustkami pomiędzy komórki narządu.