

PRIMJENA ZRAČENJA U MEDICINSKOJ DIJAGNOSTICI

Pedljo, Matea

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:695062>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-07**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu
Odjel Sigurnosti i zaštite
Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Matea Pedljo

PRIMJENA ZRAČENJA U MEDICINSKOJ DIJAGNOSTICI

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2021.

Karlovac University of Applied Sciences
Safety and Protection Department

Professional graduate study of Safety and Protection

Matea Pedljo

APPLICATION OF RADIATION IN MEDICAL DIAGNOSTIC

Final paper

Karlovac, 2021.

Veleučilište u Karlovcu
Odjel Sigurnosti i zaštite

Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Matea Pedljo

PRIMJENA ZRAČENJA U MEDICINSKOJ DIJAGNOSTICI

ZAVRŠNI RAD

Mentor: dr.sc. Slaven Lulić, prof. v. š.

Karlovac, 2021.

I

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
ODJEL SIGURNOSTI I ZAŠTITE

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: Matea Pedljo

Matični broj: 0422419003

Naslov: Primjena zračenja u medicinskoj dijagnostici

Opis zadatka: U završnom radu objasniti će se ionizirajuće zračenje, kao i utjecaj zračenja na čovjeka. Navesti će se i opisati radiološka oprema koja se koristi u medicini kao i sva potrebna zaštita na radnom mjestu.

Zadatak zadan:
3/2021.

Rok predaje:
6/2021.

Predviđeni datum obrane:
6/2021.

Mentor:
dr.sc. Slaven Lulić, prof. v. š.

Predsjednik ispitnog povjerenstva:
Ivan Štedul, v. pred.

PREDGOVOR

Ovaj rad nastao je u svrhu pisanja završnog rada za specijalistički diplomski stručni studij Sigurnosti i Zaštite na Veleučilištu u Karlovcu.

Ovim putem bih se htjela zahvaliti svom mentoru dr.sc. Slavenu Luliću, v.pred. na ukazanom povjerenju i svoj pruženoj pomoći tijekom pisanja ovog rada koja uključuje nabavu materijala za pisanje rada. Isto tako zahvaljujem se svojoj obitelji, dragim prijateljima i svim suradnicima koji su na bilo koji način doprinjeli pisanju ovog rada.

SAŽETAK

U završnom radu objasnit će se ionizirajuće zračenje, njegovo djelovanje, radioaktivni raspadi kao i prolazak zračenja kroz materiju. Opisat će se utjecaj zračenja na čovjeka kao i potrebna zaštita na radnom mjestu. Pisati će se i o radiološkoj opremi, te njenim svojstvima.

Ključne riječi: ionizirajuće zračenje, radioaktivni raspadi, radiološka oprema, zračenje.

SUMMARY

The final paper will explain ionizing radiation, it's action, radioactive decays as well as the passage of radiation through matter. The impact of radiation on humans as well as the necessary protection in the workplace will be described. It will also be written about radiological equipment and it's properties.

Key words: ionizing radiation, radioactive decays, radiological equipment, radiation.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. IONIZIRAJUĆE ZRAČENJE.....	2
2.1. ATOMSKA JEZGRA	2
2.2. RADIOAKTIVNI RASPADI	3
2.2.1. ALFA ZRAČENJE	4
2.2.2. BETA ZRAČENJE	5
2.2.3. GAMA ZRAČENJE.....	8
2.2.4. REDGENSKO ZRAČENJE.....	9
2.3. PROLAZ ZRAČENJA KROZ MATERIJU	10
3. NUKLEARNA MEDICINA	13
4. BIOKEMIJSKE OSNOVE DJELOVANJA IONIZIRAJUĆIH ZRAČENJA	16
5. UTJECAJ ZRAČENJA NA ČOVJEKA	17
5.1. PROMJENE U STANICAMA NAKON ZRAČENJA.....	17
5.2. NEPOŽELJNO DJELOVANJE ZRAČENJA U MEDICINSKOJ DIJAGNOSTICI.....	18
6. RADIOLOŠKA OPREMA U MEDICINI	21
6.1. DIJAGNOSTIČKI RENDGENSKI UREĐAJI U MEDICINI	22
6.1.1 OSNOVNI DIJELOVI RENDGEN UREĐAJA	22
6.1.2. SPECIJALNI RENDGENSKI UREĐAJI.....	29
7. ZAŠTITA NA RADNOM MJESTU U ZONI IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA.....	33
7.1. OSNOVNI ASPEKTI ZAŠTITE	33
7.2. ZAHTJEVI ZA RADNI OKOLIŠ U ZAŠTITI OD IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA	34
7.3. ZDRAVSTVENI NADZOR IZLOŽENIH RADNIKA	36
7.4. ZAŠTITNA OPREMA I SREDSTVA.....	36
8. ZAKLJUČAK	38
9. LITERATURA.....	39

1. UVOD

Zračenje koje ima dovoljno energije da ionizira neutralne molekule i atome naziva se ionizirajuće zračenje. Ionizacija je proces gdje neutralni atom ili molekula postaju pozitivno ili negativno nabijeni. Ionizirajuće zračenje dijelimo na: alfa zračenje, beta zračenje, gama zračenje, rendgensko zračenje i neutralno zračenje. Posljedice zračenja vidljive su tek nakon nekog vremena iz razloga što ne prepoznamo kada smo izloženi zračenju i količini zračenja. Opasnosti koje slijede ne mogu se potpuno ukloniti, dok s druge strane rizici se mogu ograničavati i smanjivati raznim mjerama. Wilhelm Conrad Röntgen zaslužan je za otkriće rendgenskih zraka, te time se razvio novi smjer u medicini nazvan radiologija. Radiologija je definirana kao znanost o zračenju. Medicinska radiologija obuhvaća primjenu zračenja u dijagnostici i u liječenju bolesti [7].

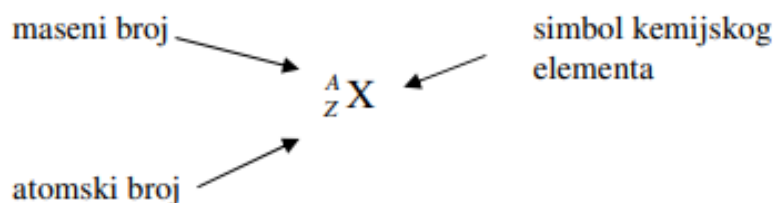
U završnom radu objašnjena je primjena ionizirajućeg zračenja u medicini, te na koji način zračenje utječe na čovjeka. Navedeni i objašnjeni su i rendgenski uređaji u medicini, njihovi osnovni dijelovi kao i vrste. Te na samom kraju rada nalaze se aspekti zaštite od rendgenskog zračenja u medicini, zaštitna sredstva i oprema, te nadzor izloženosti radnika.

2. IONIZIRAJUĆE ZRAČENJE

Pri raspadanju nestabilnih atomskih jezgara uslijedi ionizirajuće zračenje u obliku brzih čestica ili fotona visokih energija, što se naziva radioaktivnost. Ionizirajuće zračenje može biti proizvod radioaktivnog raspada, nuklearne fisije, nuklearne fuzije, ekstremno toplih objekata i ubrzanih naboja. Da bi zračenje bilo ionizirajuće, čestice moraju imati dovoljno energije i mogućnost reagiranja s elektronima. Fotoni snažno reagiraju s nabijenim česticama pa su fotoni s dovoljnom količinom energije ionizirajući. Vrste ionizirajućeg zračenja važne za zdravlje su: alfa čestice, beta čestice, gama zrake te X – zrake. Alfa i beta čestice subatomske su čestice velike brzine koje radioaktivni materijali emitiraju pri raspadu. Gama zrake i X – zrake vrste su elektromagnetskog zračenja. Te čestice i zrake imaju dovoljno energije da pri sudaru izbace elektron iz ljuske atoma. Taj proces naziva se ionizacija, a zračenje koje ga uzrokuje ionizirajuće zračenje [7].

2.1. ATOMSKA JEZGRA

Atomska jezgra kao središte atoma sadrži gotovo cijelu masu atoma u iznosu više od 99,9 % . Jezgra atoma sastoji se od protona i neutrona, koje zajedničkim imenom nazivamo nukleonima. Atom je električki neutralan iz razloga što je broj protona u jezgri jednak atomskom broj Z, odnosno broju elektrona u elektronskom omotaču. Slika 1, prikazuje označavanje atomske jezgre.



Slika 1. Označavanje atomske jezgre

2.2. RADIOAKTIVNI RASPADI

Radioaktivne tvari su tvari koje sadrže atome s nestabilnim jezgrama koje svojim raspadom proizvode ionizirajuće zračenje. Svojim raspadom emitiraju energiju – bilo u obliku fotona ili u obliku emisije čestica koje odnose i energiju. Pojam radioaktivnosti se može opisati na način da je to svojstvo nekih atoma da im se jezgre spontano mijenjaju i pri tome emitiraju elektromagnestko zračenje ili čestice. Proces spontanog mijenjanja jezgre atoma gdje dolazi do emitiranja elektromagnestkog zračenja ili čestica naziva se radioaktivni raspad. Kako se ne može reći za pojedinu jezgru kada će se raspasti, preostaje nam samo odrediti koliko će se jezgri raspasti nakon određenog vremena t koje protekne od trenutka kada počnemo mjeriti [1].

$$N = N_0 e^{-\lambda \cdot t}$$

λ - konstanta raspada

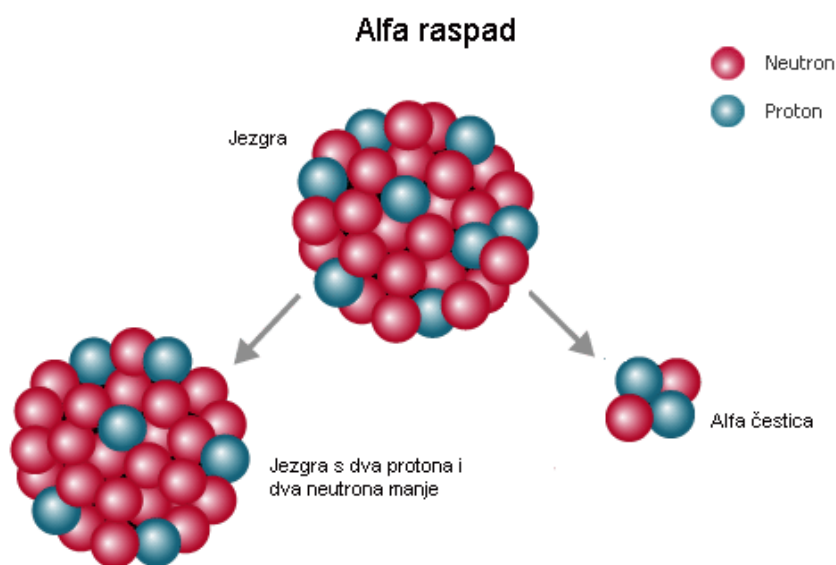
e – broj, baza prirodnog logaritma

Kada govorimo o zaštiti od ionizirajućeg zračenja potrebno je odrediti broj raspada u jedinici vremena te izraziti kao fizikalnu veličinu. Broj raspada koji se događa u jedinici vremena neke jezgre naziva se aktivnost. Aktivnost izražavamo jedinicom 1 becquerel, a označavamo sa 1 Bq.

$$1Bq = \frac{1raspad}{1sekunda}$$

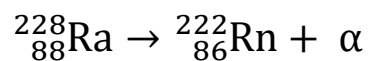
2.2.1. ALFA ZRAČENJE

Alfa raspad je emitiranje alfa čestica, tj. jezgre atoma helija (2 protona i 2 neutrona). Prilikom emitiranja alfa čestice, teška jezgra gubi dva protona i dva neutrona što dovodi do transmutacije atomske jezgre. N i Z se smanje za 2, dok A za 4. Nakon emisije dolazi do nastanka novog elementa koji se u periodnom sustavu nalazi pomaknut za dva mjesta u lijevo u odnosu na početni element. Slika 2, prikazuje alfa raspad [1].



Slika 2. Alfa raspad

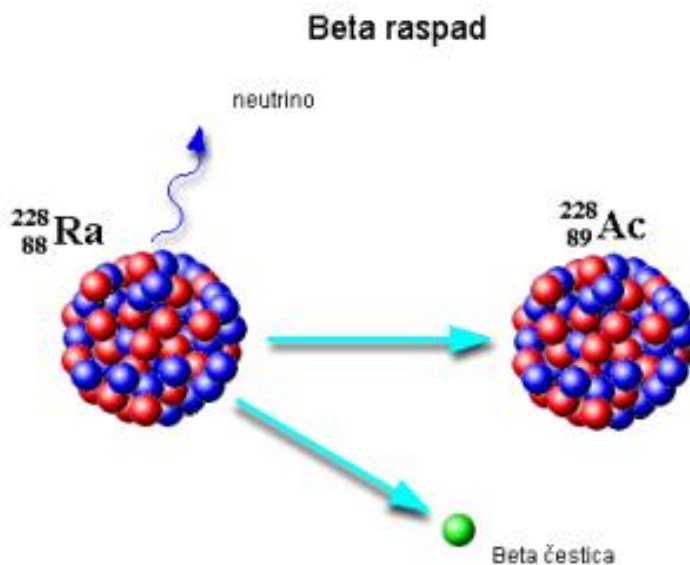
Za primjer alfa raspada možemo uzeti raspad jezgre radija – 226 u jezgru radona – 222:



Zbog svoje relativno velike mase, nije prodorno te u zraku ima domet svega nekoliko centimetara (2 – 8 cm). Alfa čestice može zaustaviti već list papira. Alfa radioaktivni izvori stoga ne predstavljaju ozbiljne opasnosti kao vanjski radioaktivni izvori. Opasne su alfa čestice koje dođu u čovjekovo tijelo. Alfa emitere, kako nazivamo radioizotope koji se raspadaju alfa raspadom u medicini rijetko primjenjujemo, eventualno u onkologiji, dok u medicinskoj dijagnostici nikako.

2.2.2. BETA ZRAČENJE

Beta čestica je elektron ili pozitron koja nastaje pretvaranjem neutrona u proton ili protona u neutron tijekom raspada atomskih jezgri radioaktivnih elemenata. Tijekom beta raspada atomska jezgra zrači elektron ili pozitron, što rezultira povećanje atomskog broja za jedan ili smanjenje za jedan, dok atomska masa ostaje ista. Slika 3, prikazuje beta raspad [1].

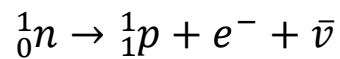


Slika 3. Beta raspad

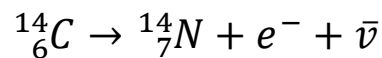
Beta raspad dijelimo na dvije vrste:

- Beta minus raspad
- Beta plus raspad

Beta minus raspad promjena je jezgre pri kojoj dolazi do emisije, odnosno apsorpcije elektrona ili pozitrona i antineutrina ili neutrina. Pritom se maseni broj ne mijenja, a redni broj atoma promijeni se za jedan. U prirodnim radioaktivnim nizovima pri tzv. Beta minus raspadu jedan neutron u jezgri raspada se na elektron, anti neutrino i proton te se atomski broj atoma poveća za jedan. Slika 4, prikazuje beta minus raspad [1].



Primjerice beta raspadom ${}^{14}\text{C}$ nastaju ${}^{14}\text{N}$, beta minus čestica i antineutrino:

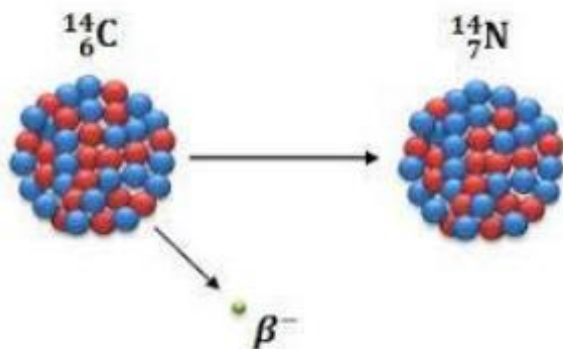


C – jezgra roditelj

N – jezgra kćer

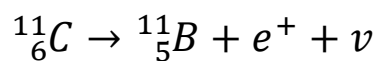
e – elektron

$\bar{\nu}$ – antineutrino



Slika 4. Beta minus raspad

Pozitivna beta čestica se navodi kao vrlo brzi pozitron. To je čestica koja ima istu masu kao i elektron, te isto tako nosi isti naboj, ali suprotnog, pozitivnog predznaka. Kada jezgra doživi beta plus raspad, broj nukleona se ne mijenja, dok se proton iz jezgre transformira u neutron. N se poveća za jedan, a Z se smanji i A ostaje isti. Iz toga razloga, nastali element u periodnom sustavu pomiče se za jedno mjesto u lijevo. Slika 5, prikazuje beta plus raspad.

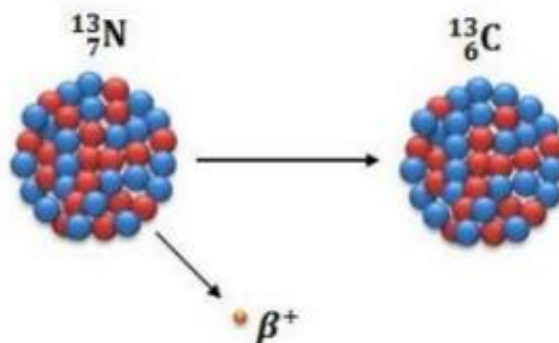


C – jezgra roditelj

B – jezgra kćer

e – pozitron

ν – neutrino

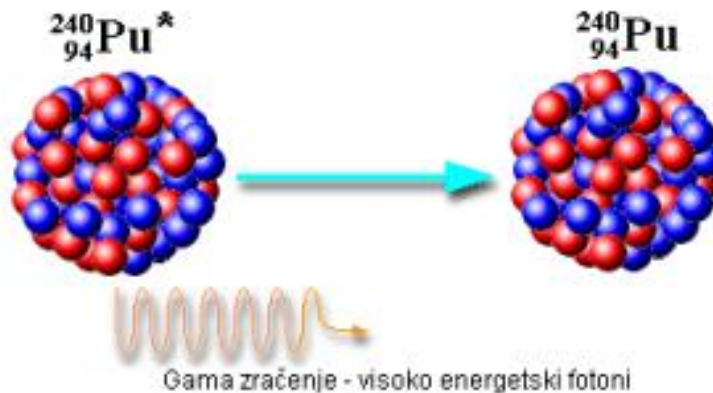


Slika 5. Beta plus raspad

Kada govorimo o beta raspadu, zračenje je prodornije nego alfa zračenje i u zraku ima domet od nekoliko metara. Zaustaviti ga može tanki sloj aluminijske folije, te kao vanjski radioaktivni izvor može prouzročiti oštećenja na koži i očima. Beta – plus raspad uvijek prati tzv. anihilacijsko zračenje. U prijevodu, nastali pozitron prolaskom kroz materiju usporava. Kada dođe blizu elektrona, nakon kratkotrajnog komešanja oboje nestaju.

2.2.3. GAMA ZRAČENJE

Gama zračenje nazivamo elektromagnetsko zračenje visoke frekvencije koje se emitira pri prijelazu između stanja više pobuđenosti atomske jezgre u stanje niže pobuđenosti ili u osnovno stanje. Za gama zračenje se može reći da je izuzetno prodorno te iz toga razloga je potreban štiti od nekoliko centimetara olova kako bi se intenzitet zračenja iz radioaktivnog izvora umanjio za oko sto puta. Gama fotoni imaju visoku energiju, ali zato s druge strane nemaju masu ni električni naboj. Zbog svoje visoke energije, gama čestice putuju brzinom svjetlosti te na taj način prelaze i do stotine tisuća metara prije nego što potroše energiju. Olovo, kao materijal koristi se za zaštitu od prodiranja gama zračenja. Važno je napomenuti da gama zrake ne čine materijale radioaktivnim iako imaju mogućnost prodiranja kroz mnoge.



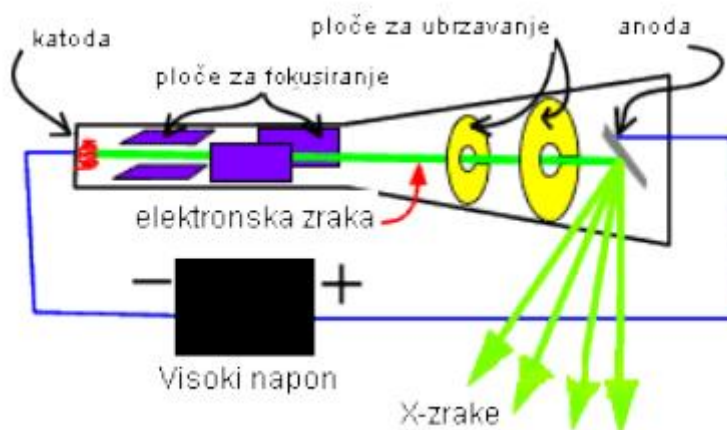
Slika 6. Gama raspad

Najkorišteniji emiteri gama zraka su kobalt koji se koristi kod sterilizacije medicinske opreme, liječenje karcinoma, zatim cezij koji se također koristi kod liječenja karcinoma, mjerenja i kontrola tekućine u industrijskim procesima, istraživanja podzemnih izvora nafte, te tehnicij koji se koristi kod dijagnostičkih studija u medicini. Gama zrake postoje samo dok imaju energije, one kada potroše energiju, bilo u čvrstom materijalu ili u zraku, one prestaju postojati. Slika 6, prikazuje gama raspad [1].

2.2.4. REDGENSKO ZRAČENJE

Rendgenske zrake, poznate kao X – zrake, predstavljaju elektromagnetsko zračenje slično svjetlosti, ali s višom energijom. Strojevi koji služe za generiranje x – zraka sastoje se od vakuumirane staklene cijevi na čijim su krajevima postavljene elektrode, negativna katoda i pozitivna anoda. Na elektrodama se nalazi visoki napon koji se slaže u rasponu od nekoliko tisuća volti. Razlika potencijala tada elektrone nakupljene u katodi ubrzava prema anodi, te oni udaraju u metalnu ploču s velikom energijom. Kada dođe do sudara s metalnom pločom, elektrone privlači

pozitivno nabijena jezgra atoma metala, te dolazi do smanjenja energije elektrona. Rendgensko zračenje čine valne duljine između 0,001 i 10 nm, što približno odgovara području između ultraljubičastog i gama zračenja. Slika 7, prikazuje x – zrake.

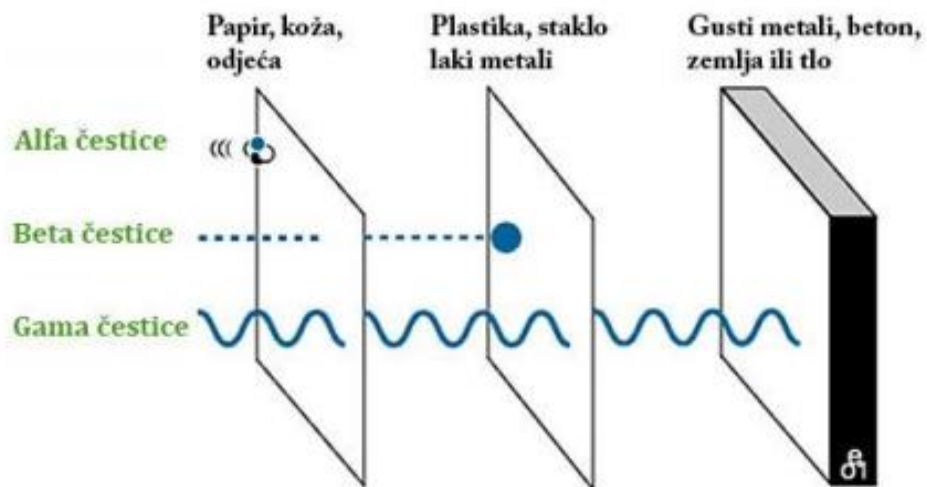


Slika 7. X – zrake

2.3. PROLAZ ZRAČENJA KROZ MATERIJU

Ionizirajuće zračenje prolazeći kroz materiju djeluje na materiju i uzrokuje ionizaciju. Kada govorimo o energiji ionizirajućeg zračenja, za nju možemo reći da se ona prenosi na elektrone u atomima što uzrokuje slabljenje zračenja sve dok ne nestane ili dok mu prodorna moć oslabi do te granice da nema više negativan učinak. Kod čestičnog zračenja, α -čestice i β -čestice imaju masu te prolazeći između atoma materije sudaraju se s atomima i pritom im predaju jedan dio svoje kinetičke energije. Energija kao takva se smanjuje, a povećava se broj ioniziranih atoma. Nakon predane sve svoje energije, dolazi do zaustavljanja i čestica i njihovog utapanja u materiji. Stoga, što je čestica veća, veća se energija predaje u materiji, te je put prolaska kroz materiju manji. Kako je već navedeno i opisano u prethodnom poglavlju o radioaktivnim raspadima, alfa česticu zbog njezine veličine zaustavlja list papira, stanica kože ili sloj zraka. S druge strane, beta čestica, odnosno elektron ima

manju masu te se sudara s elektronima atoma materije, te ima duži put prodiranja kao i duži put zaustavljanja u materiji. Opasnost stvara X zračenje koje nastaje njegovim prolaskom kroz tvar, te gama zračenje koje se emitira ukoliko jezgra nakon emisije beta čestice ostane u pobuđenom stanju. Kako gama zračenje ne može u potpunosti zaustaviti ni olovna ploča debljine par milimetara, najbolje je koristiti materijale velikog atomskog broja i velike gustoće. Slika 8, prikazuje prodornost zračenja [1].



Slika 8. Prodornost zračenja

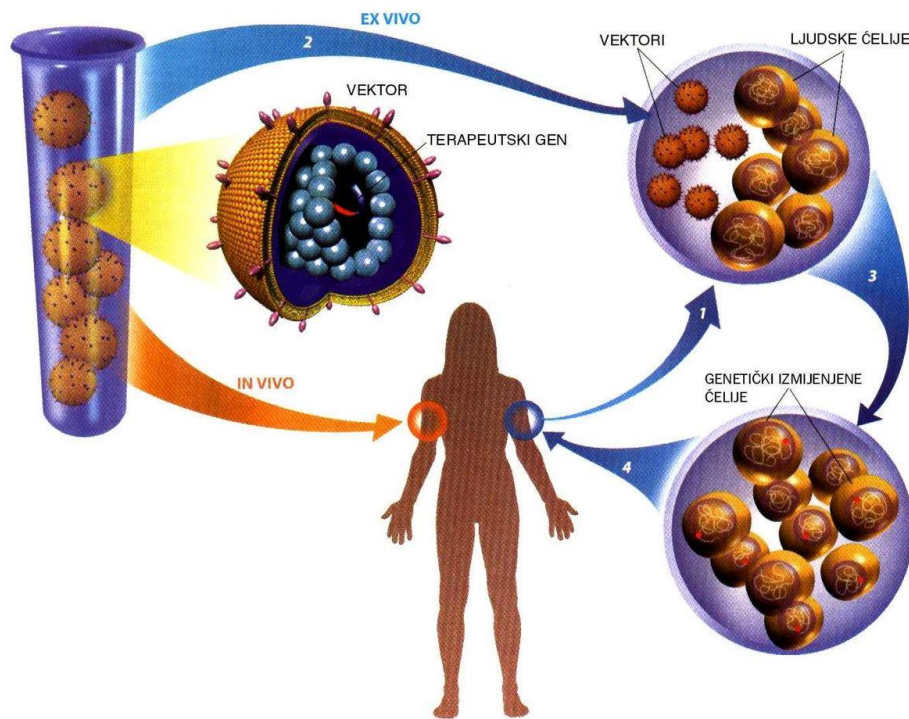
Interakcija s materijom se dijeli na tri mehanizma:

- Fotoelektrični efekt
- Comptonov efekt
- Tvorba para elektron – pozitron

Ove procese povezuje energija upadnog ionizirajućeg zračenja koja se smanjuje. Razlog smanjenja energije je taj što se prenosi na materiju, pri čemu dolazi do ionizacije i ostalih posljedica. U fotoelektričnom efektu dolazi do sudara s elektronom u elektronskom omotaču atoma materije, predaje se sva energija te ukoliko je ta energija veća od energije vezanja elektrona za atom, dolazi do oslobađanja elektrona iz atoma i ostaje atom s +1 nabojem. Drugim riječima, dolazi do ionizacije, a foton nestaje. Do tog procesa dolazi samo ako je energija atoma ispod određene granice. Ukoliko je energija viša od granice tada dolazi do Comptonovog efekta. Foton se sudara s elektronom u elektronskom omotaču atoma materije, daje mu dio energije te ga izbacuje iz omotača i na taj način ionizira atom. Foton se rasprši pod određenim kutom i smanjenom energijom. Na taj način funkcionira Comptonov efekt. Zračenje kao takvo predstavlja veliki problem u zaštiti od ionizirajućeg zračenja. Tvorba para elektron – pozitron funkcionira na način tako da kada je energija fotona veća od određenog praga, a prolazom fotona u blizini jezgre atoma materije, foton jednostavno nestane i pojavi se par elektron – pozitron koji putujući u suprotnom smjeru odnosi preostalu energiju u obliku kinetičke energije [1].

3. NUKLEARNA MEDICINA

Nuklearna medicina se definira kao niz dijagnostičkih i terapijskih postupaka u kojima se koriste radioizotopi. Dijagnostičke metode se dijele na tri dijela, a to su: laboratorijske, in – vitro pretrage i in – vivo snimanja raspodjele radioizotopa u tijelu. Kada govorimo o in – vivo dijagnostici, nužna je uporaba gama emitera iz razloga što su gama zrake prodorne, te ih se može detektirati izvan tijela. Beta emiteri pogodniji su za terapijske namjene iz razloga što beta zrake imaju kratak doseg, te isto tako mogu predati visoke radijacijske doze lokalno, bez oštećenja okolnog tkiva. Slika 9, prikazuje in – vitro shemu [1].



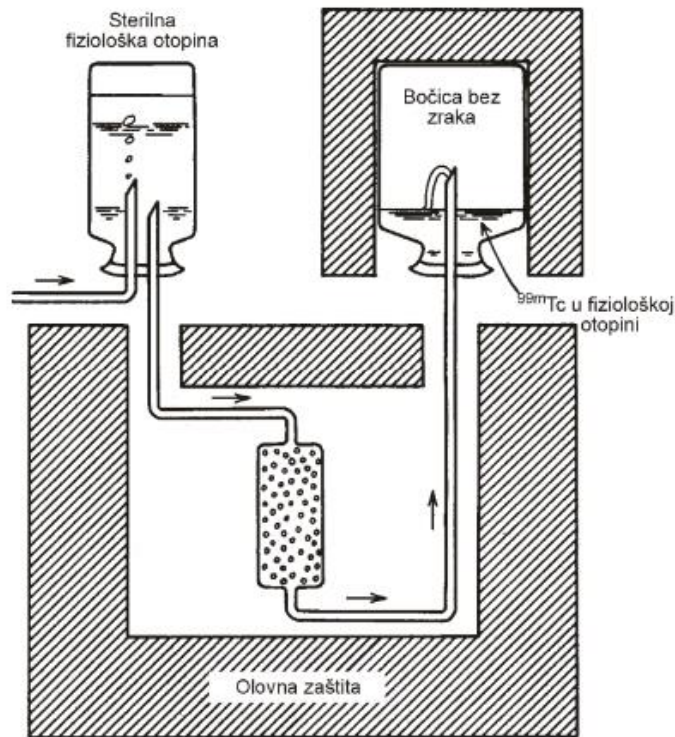
Slika 9. Shema in – vitro

Veliki interes se upravo usmjerava na radioizotopnu dijagnostiku. U dijagnostičkim postupcima se koriste vrlo male aktivnosti raznih radionuklida, te su im iz tog razloga mase u pravilu manje od 1 μg . Takve male količine ne djeluju fiziološki, dok im je s druge strane radijacija dovoljna za dijagnostičku informaciju. U radionuklidnoj slikovnoj dijagnostici najviše je zastupljen metastabilni gama emiter tehnećij – 99m ($\text{Tc} - 99\text{m}$). Indeks m označava metastabilni izotop tehnećija – 99.

Prednosti $\text{Tc} - 99\text{m}$:

- Nema suvišnog beta zračenja, a razlog toga je što je čisti gama emiter.
- Energija gama fotona se ne zadržava u tijelu, te isto tako nije prevelika za detekciju i zaštitu.
- Vrijeme poluživota koje iznosi 6 sati je dovoljno dugo za pretrage, a opet nije predugo što se tiče kasnijeg nepotrebnog ozračivanja ispitanika
- Pogodan za vezanje s drugim molekulama, te je relativno jeftin

$\text{Tc} - 99\text{m}$ je potomak reaktorskog proizvoda, molibdena – 99 koji beta – minus raspadom postaje $\text{Tc} - 99\text{m}$. Molibdensko – tehnećijski generator je proizvod koji se sastoji od masivne olovne zaštite i $\text{Mo} - 99$ koji se nalazi u obliku amonijevog molibdenata i koji je adsorbiran na aluminijskoj koloni. Prilikom korištenja, vodena otopina natrijevog klorida propusti se kroz kolonu gdje se kloridni ioni zamjenjuju s pertehnetatnim. Tehnećij se vakuumski usiše u bočicu koja se uklanja i raspodjeljuje u dnevne i pojedinačne doze. Slika 8, prikazuje shemu tehnećijskog generatora [1].



Slika 10. Shema tehnecijskog generatora

Kemijska i fizička svojstva molekule određuju nakupljanje radionuklida u dijelu tijela. Iz tog razloga se radioaktivni izotopi joda ($J - 131$, $J - 123$, $J - 125$, itd.) nakupljaju u štitnjači koja ih ne razlikuje od stabilnog joda. Radioindikator je anion radioaktivnog joda, radioizotop čije značenje omogućava detekciju kao i radioobilježivač – kemijski entitet koji se nakuplja u tijelu. U nuklearnoj medicini, dijagnostički potencijali baziraju se na raznovrsnosti nosača čiji se izbor proširuje istraživanjima radio – farmaceutskih kompanija i znanstvenih ustanova. Dijagnostičke količine nosača su nefiziološke , stoga ne postoje ograničenja neželjenih učinaka kao kod lijekova.

4. BIOKEMIJSKE OSNOVE DJELOVANJA IONIZIRAJUĆIH ZRAČENJA

Istraživanja su dovela do zaključka da zrake osim fizikalnog, imaju i biološko djelovanje koje se očituje različitim promjenama na ozračenim tkivima. Oštećenje koje uzrokuje zračenje zahvaća različite slojeve kože i različite površine. Stupanj oštećenja ovisi o duljini izlaganja kože [3].

Podjela bioloških učinaka zračenja:

- Deterministički
- Stohastički

Deterministički učinci produkt su primjene velikih doza zračenja, čija visina ovisi o efektivnoj dozi. Učinci kao što su deterministički javljaju se kao posljedica gubitka velikog broja stanica. Učinci su vidljivi brzo nakon ozračenja. Kada dođe do smrti stanice, onemogućuje se prijenos izmijenjene genetičke informacije na stanicu kćerku. Ukoliko je postotak uništenih stanica u nekom organu ili tkivu velik, dolazi do oslabljenja funkcija organa ili tkiva, te čak zna doći i do smrti organizma.

Stohastičke učinke izaziva mala doza zračenja, te su vidljivi tek nakon određenog vremena latencije. Pod stohastičke učinke svrstavamo mutacije, nasljedne promjene i tumore. Nažalost, ne može ih se predvidjeti iz razloga što su vidljivi tek nakon nekog određenog vremena. Mogu nastati u somatskim, ali i u spolnim stanicama, pa se promjene mogu prenijeti na potomstvo.

5. UTJECAJ ZRAČENJA NA ČOVJEKA

Ionizirajuće zračenje za posljedicu na tvar ima povećanje energije atoma i molekule u tvari. Energija u tom slučaju, zbog svog djelovanja može uzrokovati oštećenje ili smrt stanica. Direktno zračenje djeluje na ozračenu osobu kao i na njezine potomke. Koliko je osoba oštećena zračenjem ovisi o vrsti ionizirajućeg zračenja, brzini i apsorbiranoj dozi. Bitna je i količina energije kao i vrijeme u kojem jedinična masa neke tvari prima energiju zračenja. Kako će zračenje utjecati na stanicu, također ovisi i o vrsti i mjestu oštećenja, vrsti i funkciji ozračene stanice, te broju oštećenih stanica. Nakon apsorpcije zračenja, stanica može biti toliko oštećena da prestane normalno funkcionirati i odumre, no iako može izgubiti sposobnost reprodukcije može i dalje živjeti. Ukoliko DNA molekula bude oštećena, dolazi do automatske promjene budućih kopija stanica. Promjenom stanica i tkiva organa, te daljnjim razmnožavanjem, takva stanica može izazvati tumor, te se isto tako može očitovati kao nasljedni učinak zračenja kod potomstva izložene osobe.

5.1. PROMJENE U STANICAMA NAKON ZRAČENJA

Zračenje svojim djelovanjem mijenja ciljna tkiva kao i tkiva kroz koja prolazi. Promjene se mogu javiti odmah, ali ne nužno. Pojava promjena može se odužiti na određeno vrijeme od više mjeseci, pa i do nekoliko godina. Pažljivim planiranjem, korištenjem novih tehnika i visoko sofisticiranih uređaja za terapiju, te uz stečeno znanje osjetljivosti različitih tkiva, posljedice te vrste su sve rjeđe, no ipak nema mogućnosti suzbijanja u potpunosti. [3]

Podjela nuspojava RT – a:

- Akutne
- Subakutne
- Kasne

Akutne nuspojave su česte, no nisu tako ozbiljne naravi i obično su samoograničavajuće. Zastupljene su najčešće na površini kože ili sluznici iz razloga što su na učinke RT – a najosjetljivije stanice koje se učestalo dijele. Tijekom radioterapijskog liječenja, javljaju se na sluznicama orofarinksa, jednjaka, tankog crijeva, debelog crijeva i mokraćnog mjehura. Upala sluznica koja se javlja kod zračenja tumora glave i vrata najizraženiji je tijekom prva do tri tjedna liječenja. Akutne nuspojave traju od jedan do dva tjedna nakon završetka RT – a, te rijetko uzrokuju kasne nuspojave. Subakutne pojave obično se odnose na oštećenje jetre čije se posljedice javljaju nakon drugog tjedna te sve do trećeg mjeseca nakon završetka radioterapijskog liječenja. Kasne nuspojave RT – a javljaju se nakon perioda od šest mjeseci ili duže. Suvremene tehnike zračenja svele su takve nuspojave na minimum [3].

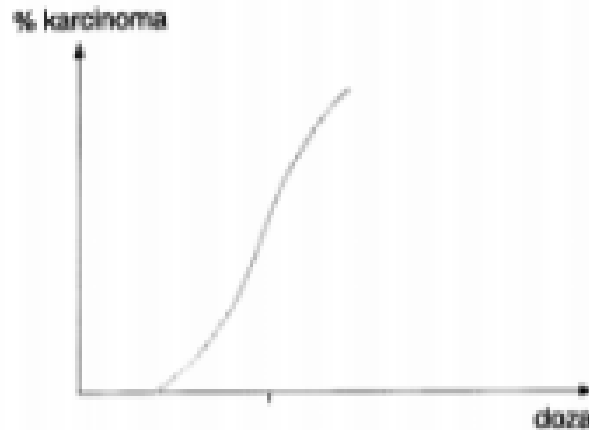
5.2. NEPOŽELJNO DJELOVANJE ZRAČENJA U MEDICINSKOJ DIJAGNOSTICI

Za razliku od radioterapije, u dijagnostici je znatno manje zastupljena doza zračenja. Stoga, posljedice su potpuno drugačije. Poznavanje nepoželjnih posljedica zračenja je bitno kako bi se pravilno moglo upotrebljavati ionizirajuće zračenje u medicini. Podjela nepoželjnih posljedica zračenja:

- Karcinogeno
- Leukemogeno
- Gensko
- Teratogeno

Karcinogeno djelovanje zračenja predstavlja mogućnost nastajanja karcinoma različitih organa nakon što je došlo do izlaganja ionizirajućem zračenju. Racijacijski se tumori pojavljuju ovisno o lokalizaciji, apsorbiranoj dozi i brojnim drugim uvjetima. Kako se karcinom ne javlja do određenog praga doze zračenja, smatra se da je za radijacijski karcinom većine organa potrebna kumulacija većih doza. Ukoliko je doza

veća od praga, mogućnost karcinoma raste porastom ukupno primljene doze zračenja. Tu ovisnost prikazuje slika 11.



Slika 11. Prag odnosa doze zračenja i učestalosti rendgenskog karcinoma

Postotak novonastalih radijacijskih karcinoma pri malim dijagnostičkim dozama je malen, no svejedno ga treba tretirati kao problem zbog velikog broja radioloških pretraga. Treba istaknuti i rizike nastanka karcinoma pojedinih organa za koje je dokazano da su posebno osjetljivi na zračenje, te time stvaraju tumore pri manjim dozama.

Kod leukemogenog djelovanja zabranjena je radioterapija bilo koje bolesti, osim zloćudnih tumora. Povećana stopa leukemije uočena je kod djece čije su majke nekad tijekom trudnoće bile izložene radiološkoj dijagnostici, pogotovo u dijelu zdjeličnih i trbušnih organa. Ukoliko dođe do zračenja prouzrokovanog nuklearnim nesrećama, eksplozijama atomskih bombi, smatra se da se najveći broj leukemija očekuje nakon 7 godina, dok se rizik smanjuje na uobičajenu razinu nakon 25 godina.

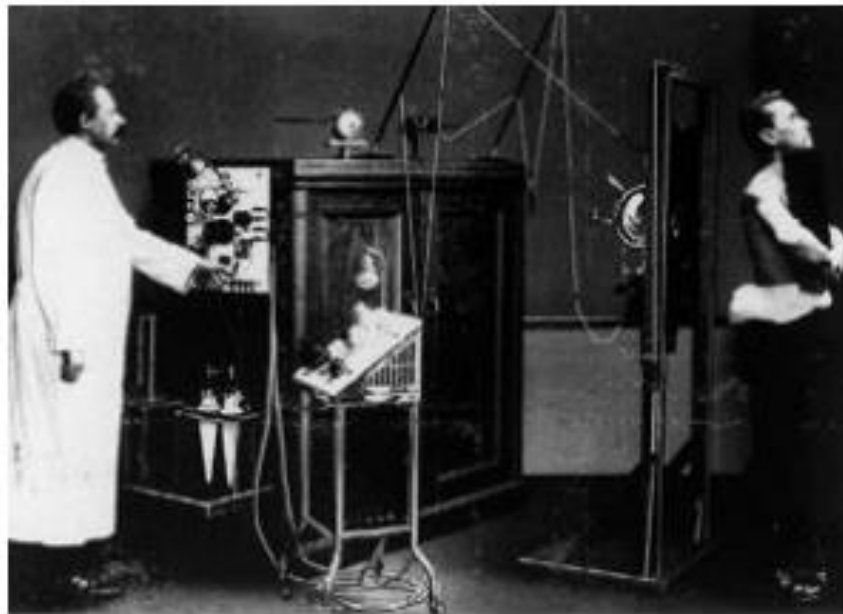
Kod genskog oštećenja dolazi zbog promjena na kromosomima spolnih stanica. Djelovanje zračenja na kromosome jajnih stanica i spermija ima za posljedicu negativan utjecaj na potomstvo. Do opasnosti dolazi kada je osoba izložena zračenju

u generativnoj dobi. Koliko je učestalo gensko oštećenje ovisi o primljenoj dozi. Kod radioloških dijagnostičkih pretraga najveća je opasnost kod snimanja lumbalne i sakralne kralježnice, kukova, zdjelice, urografije, dijaskopije, želudca i crijeva. Kada se radi o takvim pretragama, osobito se moraju posebnim postupcima i zaštitnim sredstvima štiti gonade. Zaštita kao takva se obavezno provodi kod svih bolesnika generativne dobi. Nepoželjno novostvoreno nasljedno svojstvo očituje se tek kada se susretnu roditelji s istim tipom oštećenja kromosoma. Genetičari i radiobiolozi neumorno godinama upozoravaju na veliki broj nepotrebnih i medicinski neopravdanih pretraga, koje zapravo ne utječu na dijagnozu.

Teratogeno oštećenje radijacijom vezano je za plod koji je u razvoju, na kojem se odmah nakon rođenja ili nekoliko godina nakon mogu uočiti različite anomalije. Takve anomalije se ne razlikuju od anomalija prouzročenih drugim uzrocima kao što su gensko nasljeđe, fizikalni i kemijski štetni utjecaji. Kakva će anomalija biti ili vrsta oštećenja ovisi o fazi razvoja ploda u trenutku djelovanja zračenja kao i cjelokupnoj dozi. Ukoliko je oplođena jajna stanica ozračena te ako je doza teratogena, to rezultira smrću i pobačajem. Ukoliko je plod u kasnijoj razvojnoj fazi, ozračenje može prouzročiti anomalije pojedinih organa ili organskih sustava. Najopasnije je ozračiti plod u prva tri mjeseca razvoja u kojima se odvija organogeneza. Zračenje će zahvatiti onaj organ koji je u tom trenutku u intenzivnom razvoju. Na taj način, zračenje može prouzrokovati nakaznost središnjeg živčanog sustava, oka, skeleta, srca, udova, itd. Ovakvo oštećenje moguće je samo ako ozračimo plod nakon začeća [3].

6. RADIOLOŠKA OPREMA U MEDICINI

U počecima primjene rendgenskog zračenja izuzetno malo pažnje se usmjeravalo prema mogućim štetnim učincima djelovanja rendgenskog zračenja. No, nakon nekoliko godina, počele su se uočavati štetne posljedice rendgenskih zraka i od tada je osnovni problem kako naći pravu granicu između koristi i štete. Na slici 12, prikazana je radiološka dijagnostika tijekom 20. stoljeća [5].



Slika 12. Radiološka dijagnostika

Radiološku opremu dijelimo na:

- Dijagnostičke uređaje
- Terapijske uređaje

Dijagnostičke redgenske uređaje dijelimo na:

- Klasične redgenske uređaje
- Suvremene redgenske uređaje

Pod terapijske uređaje spadaju:

- Ubrizivači čestica

- Uređaji s koncentriranim radioaktivnim tvarima
- Radiofarmaceutski pripravci

6.1. DIJAGNOSTIČKI RENDGENSKI UREĐAJI U MEDICINI

Uređaje kao što su dijagnostički dijelimo s obzirom na namjenu i s obzirom na snagu generatora i broj ispravljačica rendgenske struje. Kada govorimo o namjeni, dijelimo ih na:

- Rendgenske uređaje za snimanje ili radiografiju
- Uređaje za prosvjetljivanje ili dijaskopiju i snimanje
- Višenamjenske uređaje
- Specijalne rendgenske uređaje

S obzirom na snagu generatora i broj ispravljačica rendgenske struje, rendgenske uređaje dijelimo na:

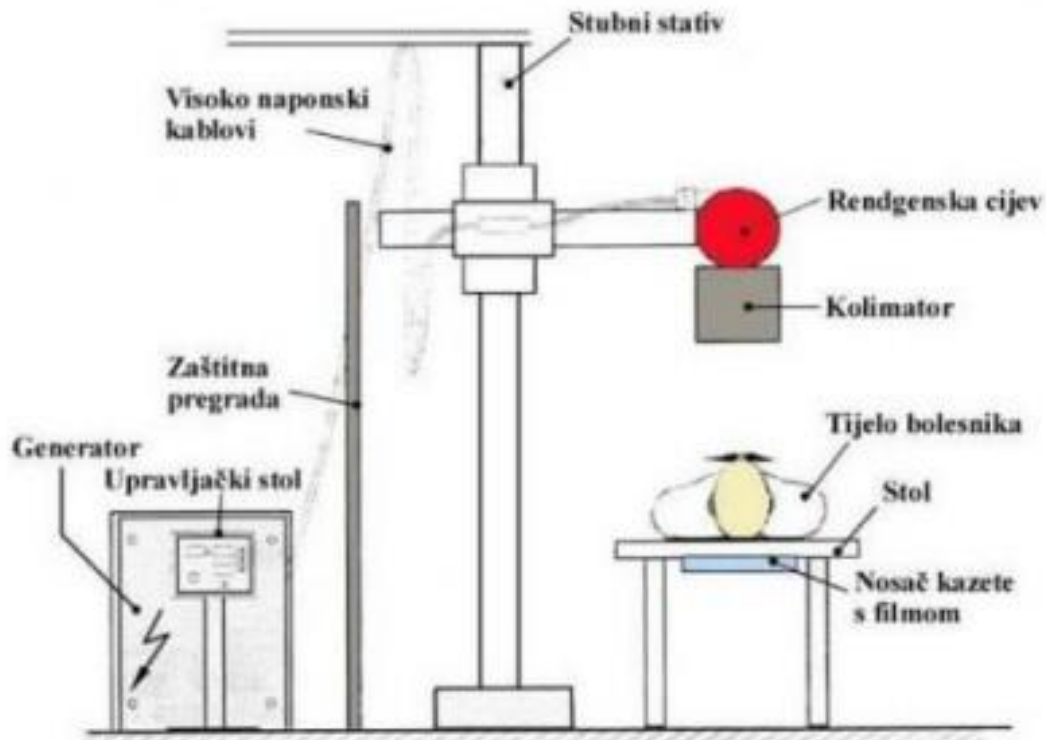
- Poluvalni
- Cjelovalni
- Trofazni
- Visokofrekventni uređaji

6.1.1 OSNOVNI DIJELOVI RENDGEN UREĐAJA

Glavni dijelovi rendgenskog uređaja su:

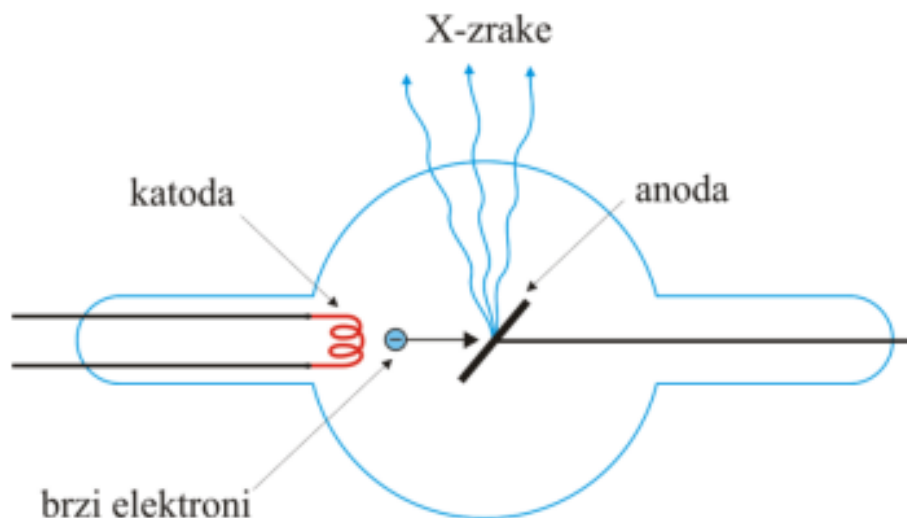
- Rendgenska cijev
- Generator s visokonaponskim kablovima
- Stativ i stol za pregled bolesnika
- Upravljačka konzola

Slika 13, prikazuje shematski prikaz rendgenskog uređaja za snimanje



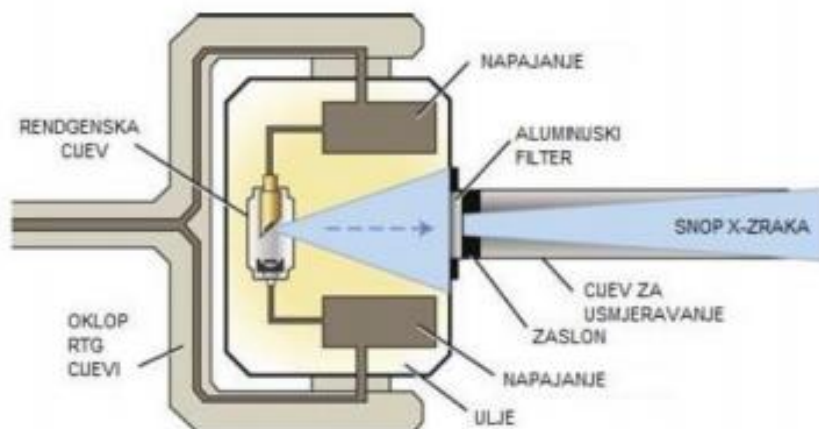
Slika 13. Shematski prikaz rendgenskog uređaja za snimanje

Rendgensko zračenje proizlazi iz rendgenske cijevi. To je staklena, vakuumska cijev koja je zaštićena metalnim omotačem, te se sastoji od dvije elektrode: pozitivne (anode) i negativne (katode). Žarna nit katode emisijom stvara elektrone. Broj tih stvorenih elektrona ovisi o temperaturi katode i vrsti materijala od kojeg je sačinjena katoda. U današnje vrijeme katode su najčešće sačinjene od volframa. Elektroni ulaze u jako električno polje između katode i anode i pod utjecajem električnog polja ubrzavaju. Iz tog razloga rendgenska cijev mora biti s visokim vakuumom tako da ne dođe do sudara elektrona s molekulama zraka i kako se ne bi raspršivali prije udara u anodu. U tom procesu elektroni dobivaju kinetičku energiju, te se *sudaraju* s atomima anode i na taj način stvaraju rendgensko zračenje. Slika 14, prikazuje unutarnji izgled rendgenske cijevi [5].



Slika 14. Unutarnji izgled rendgenske cijevi

U metalnom zaštitnom oklopu nalazi se rendgenska cijev. Cilindričnog je oblika te sadrži tri otvora kako bi se osiguralo potrebno hlađenje. Dva otvora su zadužena za provođenje visokonaponskih kablova, dok je treći otvor prozor kroz koji prolazi snop rendgenskih zraka. Prozor štiti sloj aluminijske debljine oko 2 mm, dok se ispod njega nalazi sustav za ograničavanje snopa rendgenskih zraka. Ograničavanje se regulira sužavanjem i širenjem posebnih olovni zastora koji su smješteni na poseban dio prozora izvan oklopa. Oklop s unutarnje strane sadrži sloj olova debljine 3 mm koji sprječava izlazak X – zraka u neželjenim pravcima. Također, oklop sadrži visoko izolacijsko ulje, te da bi se spriječilo pregrijavanje ulja u oklopu, u sklopu oklopa se nalazi sustav hlađenja. Na slici 14, prikazana je rendgenska cijev.



Slika 14. Rendgenska cijev

Generator rendgenskog uređaja prikazan je na slici 15, dio je pogonskog rendgenskog uređaja. Njegova zadaća je stvaranje električne struje potrebne za rad uređaja. Glavni dijelovi generatora su: niskonaponski transformator, visokonaponski transformator, ispravljači struje, te uređaji za automatsku regulaciju eksplozije. Kako bi rendgenska cijev nesmetano radila potrebna je istosmjerna struja visokog napona, te se u rendgenske uređaje iza transformatora ugrađuju cijevi s ventilima ili ispravljačice izmjenične struje u istosmjernu. Kako dolazi do velike razlike električnog potencijala između visokonaponskog i niskonaponskog transformatora, kao izolator i sredstvo za hlađenje služi ulje u koje su uronjeni transformatori i ispravljačice [5].



Slika 15. Generator rendgenskog uređaja

Visokonaponski kablovi prikazani na slici 16, zaduženi su za provođenje električne struje od generatora do rendgenske cijevi. Čine ih bakrene žice, te su isto tako sačinjeni od nekoliko izolacijskih slojeva. Oko provodnih žica debeli je sloj poluprovodne i neprovodne gume, preko koje je navučena dodatno uzemljena bakrena zaštitna mrežica, te tanki sloj plastike ili platna.



Slika 16. Visokonaponski kablovi

Stativ kao dio rendgenskog uređaja, nosač je rendgenske cijevi, odnosno povezuje sve dijelove uređaja. Stative dijelimo na: stubne (podni) i stropne, fiksne i pomične, na specijalnim rendgenskim uređajima izvedene u obliku C – luka s podržanim elementima. Na slici 17, prikazane su različite vrste stativa.



Slika 17. različite vrste stativa

Stol za pregled bolesnika prikazan na slici 18, dio je stativa rendgenskog uređaja na kojem leži ili se na njega naslanja pacijent za vrijeme pregleda. Stol može biti pomičan ili fiksiran. Ploha samog stola građena je od radiotransparentnih materijala kao što su tanke lamele drva, karbonska vlakna, itd. Stol se sastoji od kazete s filmom i rešetkom. Rešetke predstavljaju tanke plosnate kutije u kojima su olovne lamele razdvojene radiotransparentnim materijalima [5].



Slika 18. Stol za pregled bolesnika

Upravljačka konzola vidljiva na slici 19, dio je rendgenskog uređaja. Njena svrha je upravljanje radom uređaja. Upravljačka jedinica osmišljena je u obliku metalne kutije različitih dimenzija. Kod višenamjenskih rendgenskih uređaja, operatorska konzola manjih dimenzija nalazi se uz držač ekrana, kako bi bio na dohvat ruci radiologu za vrijeme dijaskopskog pregleda i ciljanog snimanja.



Slika 19. Upravljačka konzola

6.1.2. SPECIJALNI RENDGENSKI UREĐAJI

Specijalne rendgenske uređaje dijelimo na:

- Tomografski rendgenski uređaji
- Rendgenski uređaji za mamografiju
- Dentalni rendgenski uređaji
- Pokretni uređaji

Tomografski rendgenski uređaj je uređaj koji ima specijalnu konstrukciju stativa, koja mu omogućava istovremeno gibanje rendgenske cijevi i filma u suprotnom smjeru. Nazivi različitih vrsta tomografije došli su zbog procesa gibanja rendgenske cijevi po različitim putanjama. Ukoliko je veći tomografski kut, te kut gibanja rendgenske cijevi i filma, tada je moguće dobivanje tanjih slojeva i analiza jasnije prikazanih detalja u sloju dok se strukture izvan odabranog sloja brišu [5].

Rendgenski uređaj za mamografiju prikazan na slici 20, specijalni je uređaj za snimanje dojki. Razlikujemo četiri vrste uređaja za mamografiju, a to su:

- Klasični mamografski uređaj sa sustavom film – folije
- Uređaj za mamografiju sa digitalnom ciljanom mamografijom
- Uređaj za računalnu mamografiju – sustav digitalizacije s fosfornih ploča
- Uređaj za mamografiju sa ravnim detektorima – digitalna mamografija



Slika 20. Rendgenski uređaj za mamografiju

Dentalni rendgenski uređaji dijele se na dvije osnovne skupine:

- Rendgenski uređaji za pojedinačne dentalne snimke
- Rendgenski uređaji za panoramske dentalne snimke

Klasični dentalni rendgenski uređaji služe za prikaz ograničenog dijela orofacijalnog područja 2 – 3 zuba. Dobivene slike su visoke rezolucije, dok su doze zračenja za bolesnika male.

Kod snimanja gornje i donje čeljusti, te temporomandibularnih zglobova koriste se rendgenski uređaji za panoramske dentalne snimke. Kod uređaja kao što su ovi, sinkronizirano se gibaju cijev i film oko pacijenta koji miruje. Na slici 21, prikazan je klasični radiografski dentalni uređaj.



Slika 21. Klasični radiografski dentalni uređaj

Također, u uporabi su i intraoralni senzori koji su prikazani na slici 22. Uz njih je doza zračenja bolesnika smanjena za 60% u odnosu na filmove kao receptore slike. Dijelimo ih na dvije vrste senzora: CCD senzor i CMOS – APS.



Slika 22. Intraoralni senzori

Slika 23, prikazuje CT uređaj koji se koristi u radiologiji čeljusti i zubi. Ima posebni softver za dobivanje snimaka iz područja stomatologije. Kod evaluacije čeljusti može u potpunosti zamijeniti panoramsku dentalnu snimku, te isto tako pomoću 3D rekonstrukcije zadovoljava potrebe maksilofacijalne i estetske kirurgije.



Slika 23. CT uređaj

Pokretni rendgenski uređaji prikazani na slici 24, služe za prosvjetljavanje i dobivanje rendgenskih snimaka pacijenata u prostorijama intenzivne njege, hitnog prijema i traumatologije. Prednost im je ta što su pokretljivi te koriste napon iz standardnih utičnica. Dok, nedostaci manja snaga rendgenskih cijevi i snimanje bez tzv. Bucky rešetke. Dije se na: konvencionalne, digitalne i uređaje za prosvjetljavanje i snimanje.



Slika 24. Pokretni rendgenski uređaji

7. ZAŠTITA NA RADNOM MJESTU U ZONI IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

Zakonodavna zaštita je vrlo važna jer strogim zakonskim propisima i podzakonskim aktima uređuje cjelokupnu problematiku zaštite od ionizirajućeg zračenja. Zaštita od zračenja propisana je:

- Zakonom o zaštiti od ionizirajućeg zračenja
- Pravilnicima za provođenje zaštite od zračenja

Zračenje i njegova zaštita odnose se na sve ljude koji mogu biti izloženi zračenju ili posljedicama izlaganja zračenju. Cilj je spriječiti nastajanje determinističkih učinaka, kao i ograničiti pojavu stohastičkih učinaka na najmanju moguću mjeru.[6]

7.1. OSNOVNI ASPEKTI ZAŠTITE

Podjela zaštite od rendgenskog zračenja:

- Dovoljna udaljenost od izvora zračenja
- Što kraće vrijeme izlaganja zračenju
- Korištenje štita

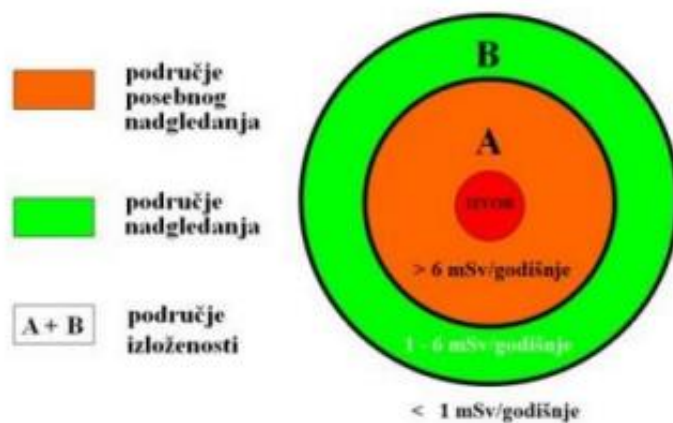
Kako bi se osiguralo što manje zračenje, udaljenost mora biti što veća, dok vrijeme što kraće. Intenzitet zračenja opada s kvadratom udaljenosti. Ozračenje je proporcionalno vremenu izlaganja. Kada zračenje prolazi kroz materiju ono slabi, pa se stavljanjem štita između izvora zračenja i osobe koja je izložena osigurava smanjenje doze. Također, od velike važnosti je i materijal od kojeg je štiti napravljen, kao i njegova debljina, te vrsta zračenja. Najčešće korišten materijal je olovo. Slika 25, prikazuje osnovne načine zaštite od rendgenskog zračenja [6].



Slika 25. Osnovni načini zaštite od rendgenskog zračenja

7.2. ZAHTJEVI ZA RADNI OKOLIŠ U ZAŠTITI OD IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

Prostorije zdravstvenih ustanova trebale bi zadovoljavati sve zahtjeve iz Pravilnika koji određuje minimalne uvjete u pregledu prostora, radnika i medicinsko – tehničke opreme. Također, potrebno je da se zadovolje svi sanitarno – tehnički i higijenski uvjeti, te uvjeti u pogledu prostora, radnika i medicinsko – tehničke opreme za pojedine djelatnosti. Odjel radiologije važno je izolirati od okoline, te se u tom slučaju koriste olovne ploče ili neki drugi elementi [6]. Sami smještaj, tj. lokacija rendgen odjela također je bitna. Bilo bi poželjno kada bi se oni nalazili na samom ulazu u bolnicu radi prijema hitnih slučajeva. Prostorije koje sadrže rendgenske uređaje moraju biti planirane na način koji je propisan osnovnim načelom zaštite od ionizirajućeg zračenja. Slika 26, prikazuje zone područja izloženosti.



Slika 26. Zone područja izloženosti

Područje posebnog nadgledanja mora biti:

- Opremljeno uređajem koji obavještava svjetlosnim ili zvučnim signalom osobu koja ulazi ili ovlaštenog radnika o ulasku u to područje
- Zaključano osim u razdoblju kojem je ulaz u područje potreban s primjerenim nadzorom tijekom ulaska

Na slici 27, prikazana je radiološka prostorija.



Slika 27. Radiološka prostorija

7.3. ZDRAVSTVENI NADZOR IZLOŽENIH RADNIKA

Nadzor kao što je zdravstveni provode zdravstvene ustanove, koji obavlja djelatnost medicine rada, te koja je ovlaštena za obavljanje provjere zdravstvene sposobnosti. Zdravstvena sposobnost radnika koji su izloženi zračenjima regulira se redovitim zdravstvenim pregledima, nadzornim zdravstvenim pregledima, te izvanrednim zdravstvenim pregledima. Pod izložene radnike spadaju radnici koji imaju doticaj s izvorima ionizirajućeg zračenja. Poslovi kao takvi traže posebne uvjete rada, te ih smiju obavljati osobe koje zadovoljavaju uvjete za to. Izloženim osobama je dano za pravo da mogu na vlastiti zahtjev obaviti redoviti zdravstveni pregled, no ne više od svake tri godine. Ocjenu o zdravstvenoj sposobnosti određuje specijalist medicine rada, te potpisuje svjedodžbu o zdravstvenoj sposobnosti. Takvu dokumentaciju je obavezno čuvati do onog trena kada pregledana osoba ne bude u starosnoj dobi višoj od 75 godina. Pod dozimetrijskim nadzorom moraju biti svi radnici koji se nalaze u području izloženosti.

7.4. ZAŠTITNA OPREMA I SREDSTVA

Kada je u pitanju kontrolna soba, radnici su zaštićeni dobrom izvedbom prostora gdje se nalaze rendgenski uređaji. S druge strane, kada je riječ o radu u prostoru u kojem se nalazi rendgenski uređaj, koriste se i dodatna zaštitna sredstva i oprema.

Sredstva za zaštitu osoblja i bolesnika:

- Zaštitne pregače (zaštita unutrašnjih organa)
- Štitnik za vrat (zaštita štitne žlijezde)
- Zaštitne rukavice
- Zaštitne naočale (zaštita očne leće)
- Zaštitne pregače za bolesnike
- Štitnici za ovarije i sjemenike bolesnika

Slika 28, prikazuje osobna zaštitna sredstva u radiologiji.



Slika 28. Osobna zaštitna sredstva u radiologiji

Zaštitna sredstva su obavezna za sve radnike koji se nalaze u prostoriji u kojoj se nalazi rendgenski uređaj i provodi dijagnostički postupak.

8. ZAKLJUČAK

Iz godine u godinu, upotreba umjetnog ionizirajućeg zračenja je sve veća, a razlog toga je kontinuirani razvoj novih tehnologija. Razvojem tehnologije omogućena je konstrukcija dijagnostičkih medicinskih uređaja, tj. rendgenskih uređaja. Njihova svrha je pravovremeno dijagnosticiranje bolesti. Većina načina snimanja primjenjuje ionizirajuće zračenje što za posljedicu ima izloženost pacijenata zračenju. Iako upotrebom ovakve vrste zračenja imamo veliku korist, ono je i dalje opasno za okoliš i zdravlje, kao i za život ljudi i životinja. Ukoliko se ne rukuje na pravilan način, dijagnostički uređaji i nepravilan rad mogu izazvati kobne posljedice za ljudsko zdravlje. Zbog razloga kao što je taj, važno je poznavati i primjenjivati načela i principe sigurnog korištenja izvora ionizirajućeg zračenja. Također, ne smije se zanemariti važnost edukacije medicinskog osoblja koji rade u zoni ionizirajućeg zračenja ili dolaze u kontakt s tim odjelima. Korištenjem odgovarajućih zaštitnih mjera tijekom izlaganja ionizirajućem zračenju, te isto tako pravilno rukovanje radiološkom opremom, štiti nas kao i sve ostale u našoj okolini.

9. LITERATURA

- [1] Eterović D.: „Fizika slikovne dijagnostike”,
<https://www.dropbox.com/s/027wz8im399sg7j/Fizika%20slikovne%20dijagnostike%202011.pdf?dl=0>, pristupljeno: 5/2021.
- [2] Rendgenski uređaj u medicini,
https://www.dropbox.com/s/bpamhloba710xha/MED_RDG.pdf?dl=0 , pristupljeno: 5/2021.
- [3] Hebrang A.: „Ionizirajuće zračenje i biološki učinci”,
https://www.dropbox.com/s/cbgqkg90k02rvdu/RADIOLOGIJA1_Ionizirajuce_zracenje_i_biol.pdf?dl=0 , pristupljeno: 5/2021.
- [4] Brnić Z.: „Prevenција i zaštita od zračenja”,
https://www.dropbox.com/s/o08t868h781d0t2/RADIOLOGIJA3_Prevencija_i_zastita_od_zrac.pdf?dl=0pozdrav , pristupljeno: 6/2021.
- [5] Frković M., Višković K.: „Radiološka oprema”,
<https://www.dropbox.com/s/dcilutaeahvb08l/Radiolo%C5%A1ka-oprema.pdf?dl=0>
pristupljeno: 6/2021.
- [6] Galić I., „Radiesteziја”, Zaštita od štetnih zračenja, Narodna in univerzitetna knjižnica u Ljubljani, (1990.), ISBN 159.961.323
- [7] Puntarić D., Miškulin M., Bošnjir J., „Zdravstvena ekologija”, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, ISBN 978 – 953 – 176 – 538 – 1