



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



Radijaciono opterećenje i zaštita medicinskog osoblja koje radi sa Sentinel node biopsija/operativnom tehnikom

Master rad

mentor: dr Nataša Todorović

dr. Silvija Lučić

Student: Jelena Klać

Novi Sad, 2020

Ovim putem želim da se zahvalim:

- *Mentorima, dr Nataši Todorović i dr Silviji Lučić, na neizmernoj pomoći, razumevanju i sugestijama tokom izrade master rada.*
- *Takođe, dugujem veliku zahvalnost Institutu za onkologiju Vojvodine, Sremska Kamenica, za ustupanje materijala za izradu master rada.*
- *Porodici i prijateljima za nesebičnu podršku, motivaciju i podstrek pri izradi master rada.*

za tetkinog Jakšu

Sadržaj

1 Uvod.....	5
2 Anatomija dojke i pojam limfnih čvorova	6
2.1 Anatomija dojke	6
2.2 Limfni čvorovi.....	9
3 Nuklearna medicina.....	10
3.1 Zaštita od zračenja u nuklearnoj medicini.....	10
3.2 Radioaktivnost.....	11
3.3 Proizvodnja radioizotopa.....	12
3.4 Tehnecijum.....	15
3.5 Osobine radiofarmaceutika	16
3.6 Primena jedinjenja tehnecijuma u dijagnostici kao radiofarmaceutik	18
4 Dozimetrijske veličine.....	19
4.1 Ekspoziciona doza.....	19
4.2 Apsorbovana doza	20
4.3 Ekvivalentna doza	20
4.4 Efektivni ekvivalent doze.....	21
4.5 Kerma (Kinetic Energy Released per unit Mass).....	22
5 Lična dozimetrija	23
5.1 Minimalizacija ozračavanja osoblja	23
5.2 Lični dozimetar	24
5.2.1 Termoluminiscentni dozimetri – TLD	24
5.2.2 Prsten dozimetar.....	25
6 Zakonska regulativa	26
7 Limfoscintigrafija i sentinel node biopsija.....	29
7.1 Limfoscintigrafija.....	29
7.2 Biopsija sentinelnih limfnih čvorova (SLNB)	29
7.3 Primena metode scintigrafije sentinel čvora- limfoscintigrafija.	31

• Metode.....	33
8 Izloženost hirurga zračenju prilikom biopsije sentinelnih limfnih čvorova- primer 2	35
8.1 Hirurški postupak	35
8.2 Dozimetrijski postupak	35
• Rezultati	36
9 Osiguravanje bezbednog zračenja za osoblja u biopsiji limfnog trakta i biopsiji sentinel limfnih čvorova - primer 3.....	38
9.1 Limfno mapiranje i biopsija sentinel čvora.....	38
10 Izloženost hirurga zračenju prilikom biopsije sentinelnih limfnih čvorova u Institutu za onkologiju Vojvodine	40
10.1 Cilj istraživanja	40
10.2 Metodologija	40
• Priprema radiofarmaceutika.....	41
• Sentinel node procedura dojke.....	42
10.3 Rezultati	44
11 Zaključak.....	48
12 Literatura.....	49
13 Kratka biografija	51

1 Uvod

Koncept Sentinel limfnog čvora (Sentinel node – SN) ili limfnog čvora stražara prvi je put uveo Ramon Kabanas u vezi sa karcinomom muškog polnog organa 1977 godine. Sentinel limfni čvor je prvi čvor koji prima limfnu drenažu sa primarnog mesta tumora. Biopsija čvorova na Sentinelu najpre je izvršena kod pacijenata sa melanomom kože pomoću metilen plave boje za limfno mapiranje. Uvođenjem preoperativne limfoscintigrafije i intraoperativnim otkrivanjem pomoću gama zračenja, tehnika je dodatno poboljšana. Nekoliko studija dokazalo je tačnost postupka predviđanja nodalnih metastaza u celom regionalnom nodalnom bazenu kod pacijenata sa karcinomom dojke i melanomom.

Danas se biopsija Sentinel čvorova smatra standardom lečenja za lečenje karcinoma dojke u mnogim centrima i izvodi se upotrebom samog radiofarmaceutika ili uz istodobnu upotrebu plave boje. Takođe se sve više koristi kod drugih vrsta karcinoma, kao što su karcinom gastrointestinalnog sistema, glave i vrata, vulvere, penisa i prostate.

Uprkos niskoj aktivnosti, upotreba radioizotopom obeleženog farmaceutika dovodi do izloženosti zračenju medicinskog osoblja koji obavlja postupak detekcije Sentinel limfnog čvora u svakodnevnoj kliničkoj praksi i obavezuje zdravstvene ustanove na rešavanje zakonodavnih i regulatornih problema, obaveznog licenciranja, obuka profesionalno izloženih lica i odlaganja radioaktivnog otpada. Brojnim studijama potvrđen je niski stepen izlaganja jonizujućem zračenju (ispod zakonom dozvoljenih granica) kako osoblja tako i pacijenata, ipak rukovanje i aplikacija radiofarmaceutika u svakodnevnoj kliničkoj praksi zahteva i obaveznu formalnu procenu rizika i kontinuirano praćenje izlaganja jonizujućem zračenju zdravstvenog osoblja.

Ova studija je urađena u cilju procene efektivne doze zračenja koju prime onkološki hirurzi tokom biopsije sentinelnih čvorova kod pacijentkinja sa karcinomom dojke. Preostalo osoblje biće izloženo znanto nižim dozama zračenja, pošto tokom operativne procedure boravi na većim udaljenostima od pacijentkinja, pa posledično tome nije obuhvaćeno ovom studijom.

2 Anatomija dojke i pojam limfnih čvorova

2.1 Anatomija dojke

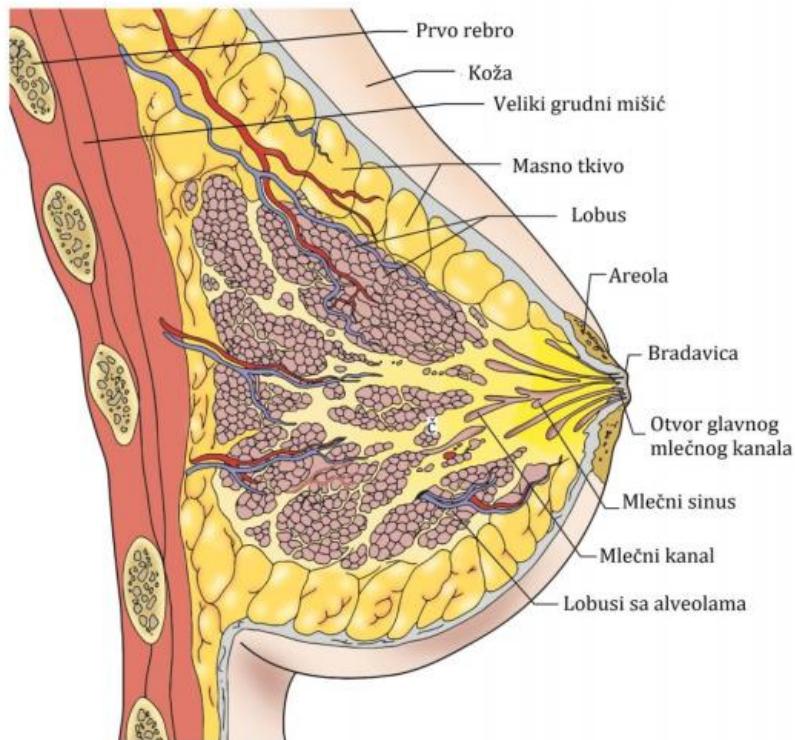
Ženska dojka je parni organ čija je glavna funkcija stvaranje i lučenje mleka. Sastoji se od mlečnih žlezda okruženih masnim i vezivnim tkivom. Zadnja strana dojke leži na prednjoj strani velikog grudnog mišića. Mlečna žlezda zauzima središnji i najveći deo tela dojke i uronjena je u masno tkivo. Sastoji se od 15-20 režnjeva, koji imaju manje odsečke koje zovemo lobuli. Tanki kanalići nazvani duktusi povezuju režnjeve i lobule, u kojima se za vreme dojenja stvara mleko. Mleko koje žlezde izlučuju izlazi kroz kanaliće na bradavicu dojke. Bradavica je okružena tamnije pigmentisanim područjem kože, koje zovemo areola. Masnog tkiva nema u bradavici, a neposredno ispod kože bradavice nalaze se kružna glatka mišićna vlakna povezana sa istovetnim mišićnim snopovima areola dojke. Njihova kontrakcija dovodi do erekcije bradavica, a ritmične kontrakcije podstiču lučenje mleka pri dojenju.

Makroanatomska dojku čine:

- Koža dojke koja je identične građe kao i koža ostatka tela, izuzev što je od nje nešto tanja, te sadrži znojne, lojne žlezde i folikule dlaka.
- Potkožno/površinsko masno – vezivno tkivo- odgovorno je za položaj dojke i ujedno određuje njenu površinu i oblik.
- Žlezdani parenhim- odgovoran je za osnovnu funkciju dojke u sekreciji i lučenju mleka.
- Duboko masno-vezivno tkivo-obavlja žlezdani parenhim i odvaja ga od velikog grudnog mišića.
- Površna fascije- sastoji se iz dva sloja površnog koji odvaja žlezdani parenhim od subkutanog masno-vezivnog tkiva i dubokog, koje odvaja retroglandularno masno tkivo od pektoralnog mišića.

Na sredini prednje površine dojke nalazi se bradavica na kojoj se otvaraju 15-25 duktusa laktiferusa. Bradavica je okružena areolom, na kojoj se nalazi više malih krvžica, nazvanih

Montgomerijevim tuberkulumima. To su lojne žlezde sposobne da luče mleko, a predstavljaju itermedijarni stadijum između lojnih i znojnih žlezda. [1]



Slika 1. Anatomija dojke

Dojka je obavijena fascijom. Površna pektoralna- fascija obavlja dojke i u kontinuitetu je sa površinom abdominalnom fascijom. Donja strana dojke leži na dubokoj pektoralnoj fasciji. Spoj ovih dveju fascija čine fibrozne trake nazvane Kuperovi ligamenti. Ispod areole nalazi se areolarni mišić koji se sastoji od cirkularnih i radijalnih vlakana. Ova vlakna se pripajaju na bazi dermisa i funkcija im je da kontrahuju areolu i bazu bradavice.

Masno tkivo okružuje žlezdu sa prednje i zadnje strane. Sama žlezda se sastoji od sekretnog i eksekretognog dela. Zadnja površina joj je glatka i ravna, a prednja nepravilna. Oblik odgovara konusu sa vrhom koji formiraju duktusi laktiferusi. Medijalni deo dojke vaskularizuje unutrašnja torakalna arterija, a lateralni i donji deo spoljašnja torakalna arterija, gornja torakalna arterija i torakoakromijalna arterija.

Površne i duboke vene dojke ulivaju se u spoljašnje i unutrašnje vene, kao i u interkostalne vene. Limfni sudovi oko duktusa laktiferusa i alveola kao i kožni limfni sudovi sakupljaju se u areoralni pleksus od koga polaze tri grupe limfatika: lateralni, medijali i donji. Lateralni limfatici se slivaju u par velikih stabala koji vode do limfnih čvorova oko lateralne torakalne arterije i vene. Ovi nodusi komuniciraju sa aksijalnim limfnim žlezdama. Medijalni limfatici, koji polaze od medijalnog dela areolarnog pleksusa završavaju se u parasternalnim i supraklavikularnim limfnim čvorovima. Submamilarni limfatici potiču iz dubine žlezde i dreniraju se u intraklavikuarne limfne čvorove i u suprotnu dojku.

Inervaciju dojke obezbeđuju cervikalni pleksus, brahijalni pleksus i interkostalni nervi. Za razumevanje nastanka i tipova karcinoma dojke kao i fizičkih principa momografije, važno je upoznati se sa tkivom dojke. Razlikujemo lobuluse (mlečne žlezde), duktusi (kanalići koji povezuju lobule i bradavicu), stroma (masno tkivo i ligamenti koji pokrivaju duktuse, krvne i limfne sudove).

Karcinom dojke se opisuje u odnosu na tkivo iz kojeg potiče i na stepen raširenosti. Skoro svi karcinomi dojke su klasifikovani kao adenokarcinomi, tumori koji potiču iz žlezdanog tkiva. Adenokarcinomi potiču iz duktusa dojke ili iz lobula- lobularni adenokarcinomi. Dojke su po pravilu nesimetrične, desna dojka je nešto manja od leve. Oblik i veličina dojke su promenljivi i individualni, a zavise od oblika i razvijenosti mlečne žlezde i masnog tkiva, na šta imaju uticaj hormoni estrogen i progesteron.

Karcinomi dojke su vodeći uzrok smrti kod nas i u svetu. U zemljama u razvoju usled slabo razvijene dijagnostike, kasnog javljanja lekaru, teritorijalne udaljenosti i nedovoljnog sve ukupnog skrininga kao i slabe zdravstvene kulture broj umrlih je u porastu, a pacijentkinje se javljaju uglavnom u odmakloj fazi bolesti.

Glavne dijagnostičke metode za otkrivanje raka dojke su anamneza, fizikalni pregled i mamografija.

Od indirektnih dijagnostičkih metoda koriste se: samo pregled (neškodljiv, lako se nauči, besplatan je), anamneza, fizikalni pregled, nativna mamografija, ultrazvuk, te novije metode: MRI (Magnetic Resonance Imaging), analogna mamografija, CAD (computer-aided diagnosis),

PET (pozitronska emisijska tomografija), SPECT (single photon emission imaging and computed tomography), termografija, dijafanoskopija, markeri. [1]

2.2 Limfni čvorovi

Limfni čvorovi su mali okrugli organi koji su deo limfnog sistema tela. Limfni sistem je deo imunološkog sistema. Sastoji se od mreže sudova i organa koja sadrži limfu, bistru tečnost koja nosi bela krvna zrna koja se bore protiv infekcija, kao i tečnost i otpadne materije iz ćelija i tkiva tela. Kod osobe koja ima rak, limfa takođe može da nosi ćelije raka koje su se "odlomile" od glavnog tumora. Limfa se filtrira kroz limfne čvorove, koji se nalaze širom tela i povezani su limfnim sudovima jedni sa drugima. Grupe limfnih čvorova nalaze se u vratu, ispod pazuha, u grudima, abdomenu i preponama. Limfni čvorovi sadrže bele krvne ćelije (B limfocite i T limfocite) i druge vrste ćelija imunog sistema. Limfni čvorovi zarobljavaju bakterije i viruse, kao i neke oštećene i abnormalne ćelije, pomažući imunološkom sistemu u borbi protiv bolesti. Mnoge vrste karcinoma šire se limfnim sistemom, a jedno od najranijih mesta širenja ovih karcinoma su obližnji limfni čvorovi.

Od dijagnostičkih metoda koristi se limfoscintigrafija, kao i sentinel node biopsija/ operativna tehnika.

3 Nuklearna medicina

Dijagnostička oblast gde nakon aplikovanja radiofarmaceutika pacijentu dobijaju informacije o zdrastvenom stanju, naziva se nuklearna medicina. Najveći broj nuklearno-medicinskih pretraga obavlja se in vivo, upotrebom gama kamere.

Nuklearna medicina je ustvari tehnika koja pokazuje biohemisika svojstva organizma, gde se selekcija određenog biohemiskog spektra vrši odabirom odgovarajućeg radiofarmaceutika. U nuklearnoj medicini dijagnostičke informacije obezbeđuje farmaceutik, dok je uloga radioaktivnosti isključivo pasivna, jer ona samo čini farmaceutik vidljivim. Upravo je zbog ovoga moguće koristiti relativno male doze radioaktivnosti, pa time i održavati potencijalni rizik za samog pacijenta na relativno niskom nivou. [2]

3.1 Zaštita od zračenja u nuklearnoj medicini

Pojam zaštite od zračenja u nuklearnoj medicini odnosi se na osoblje nuklearnomedicinske ustanove kao i na same pacijente ove ustanove. Medicinsko osoblje (profesionalno izložena lica) može biti izloženo spoljašnjem ozračivanju prilikom rada sa otvorenim izvorima jonizujućeg zračenja (priprema radiofarmaceutika, aplikacija pacijentu), ili tokom boravka pored pacijenta u toku snimanja, ili u toku neke operativne tehnike. Retki slučajevi su i unutrašnje ozračivanje, kada dođe do unošenja radioaktivnosti u organizam ingestijom ili putem krvotoka.

Vrednosti ekvivalentnih i efektivnih doza kojima se, u toku dijagnostičke procedure izlaže pacijent, mogu se smanjiti ukoliko se utvrde strogi kriterijumi kliničke opravdanosti podvrgavanja pacijenta dijagnostičkom postupku koji koristi ionizujuće zračenje, a u cilju sprečavanja nepotrebnog ozračivanja. [3]. Svakako je poželjno korišćenje rezultata prethodnih ispitivanja uz upotrebu ionizujućeg zračenja, odnosno saradnja između medicinskih ustanova, naročito onih koje obavljaju dijagnostičke preglede, ukoliko ih ima više. Iako fizičke karakteristike korišćenog izotopa imaju vrlo bitnu ulogu u određivanju doze koju će pacijent i njegovi organi primiti, i sama biodistribucija tog izotopa vezanog za radiofarmaceutik određuje

vreme zadržavanja radioaktivnosti u organizmu, pa samim tim i vreme ozračivanja. Stoga je potrebno izabrati kako izotop, tako i farmaceutik sa najpovoljnijim karakteristikama.

Svako izlaganje pacijenta ionizujućem zračenju povlači određeni radijacioni rizik. Radijacioni rizik jeste verovatnoća da pojedinac doživi određeni štetni stohastički efekat kao rezultat izlaganja ionizujućem zračenju. Svaki pacijent, po završetku pregleda i prilikom napuštanja prostorija nuklearnomedicinske ustanove mora dobiti pisani izveštaj o dozi koju je primio, kao i jasna, pisana uputstva o merama kojih se mora pridržavati radi smanjenja rizika od kontaminacije i nepotrebnog ozračivanja drugih lica [3].

3.2 Radioaktivnost

Radioaktivnost je proces u kome dolazi do spontane transformacije jezgra, koje tom prilikom menja sastav ili energetsko stanje. Uobičajena je terminologija da se jezgro koje se raspada naziva predak, dok se jezgro koje putem radioaktivnog raspada nastaje naziva potomak. Sa aspekta radioaktivnog raspada, sva se jezgra dele u dve velike grupe: stabilna i nestabilna ili radioaktivna. Oštra granica između ove dve grupe nije postavljena, pošto se i jezgra koja smatramo stabilnim raspadaju, ali je brzina tog raspada toliko mala da se eksperimentalno teško može ustanoviti. Radioaktivna jezgra se mogu dalje podeliti na prirodna i veštačka. Veštačka radioaktivna jezgra ne postoji u prirodi. Ona su proizvedena u nuklearnim reaktorima i do sada postoji evidencija o oko 2000 takvih jezgara. [2]

Procesi koji dovode do raspada jezgra su statističke prirode i u njihovom slučaju može se govoriti samo o verovatnodi dešavanja raspada.

Verovatnoća raspada nekog radioaktivnog jezgra određena je samo priodom procesa koji se u tom jezgru odvijaju, na nju se ne može uticati spoljašnjim faktorima kao što su temperatura, pritisak, magnetna ili električna polja i slično, već se za dati izotop može smatrati konstantnom. Upravo ta konstanta, koja predstavlja verovatnoću odigravanja radioaktivnog raspada jednog jezgra u određenom intervalu vremena, naziva se konstanta radioaktivnog raspada λ i predstavlja

konstantu proporcionalnosti između broja jezgara koja se raspadaju u nekom intervalu vremena i ukupnog broja nestabilnih jezgara N.

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N$$

Ovaj broj jezgara koji se raspade u nekom intervalu vremena predstavlja količinu radioaktivnog materijala koja se naziva aktivnost. Ona se uglavnom izražava u jedinicama Kiri (Ci), koji je jednak $3.7 \cdot 10^{10}$ raspada u sekundi, što predstavlja veliku količinu radioaktivnosti. Jedinica SI sistema za radioaktivnost je Bekerel (Bq) koji predstavlja jedan raspad u sekundi. Jasno je da je veza između ove dve jedinice $1\text{Ci} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{Bq}$. Negativan predznak na desnoj strani gornje jednačine govori da se raspodom smanjuje broj posmatranih radioaktivnih jezgara. Integracijom gornje jednačine dobija se zakon radioaktivnog raspada

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

Vreme poluraspada ili fizički period poluraspada $T_{1/2}$ predstavlja vreme za koje se broj radioaktivnih atoma u određenom uzorku smanji za jednu polovinu. Izotopi koji se koriste u nuklearnoj medicini imaju period poluraspada reda veličine od nekoliko sati do nekoliko dana. Konstanta radioaktivnog raspada i vreme poluraspada povezani su relacijom [2]

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

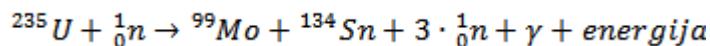
3.3 Proizvodnja radioizotopa

Gotovo svi radioizotopi koji se koriste u nuklearnoj medicini su veštački proizvedeni.

U nuklearnim reaktorima radionuklidi mogu se proizvesti na nekoliko načina. Jedan od njih jeste fisija, koja predstavlja cepanje atomskog jezgra na dva manja jezgra. Neki nestabilni izotopi

podležu fisiji samostalno, dok je drugima potrebna dodatna energija za savladavanje nuklearnih sila, i oni ovu energiju najčešće dobijaju apsorpcijom neutrona.

Najčešće korišćeni fisioni nuklid je ^{235}U . Uranijum se u prirodi nalazi kao smeša ^{238}U , sa udelom od oko 99.3%, dok ^{235}U u toj smeši ima svega 0.07%. ^{235}U je taj koji ima visoku vrednost efikasnog preseka za fisiju, pa je neophodno obogatiti prirodnu rudu uranijuma upravo ovim izotopom, do udela od 3% do 5%. Kada jezgro ^{235}U apsorbuje neutron, formira se izotop ^{236}U koji je izuzetno nestabilan, i gotovo se trenutno raspada na dva nova jezgra, zvana fisioni fragmenti. Pored dva nova jezgra sa velikim kinetičkim energijama, kao rezultat fisije se javljaju i neutroni i gama-zračenje, što se može predstaviti relacijom

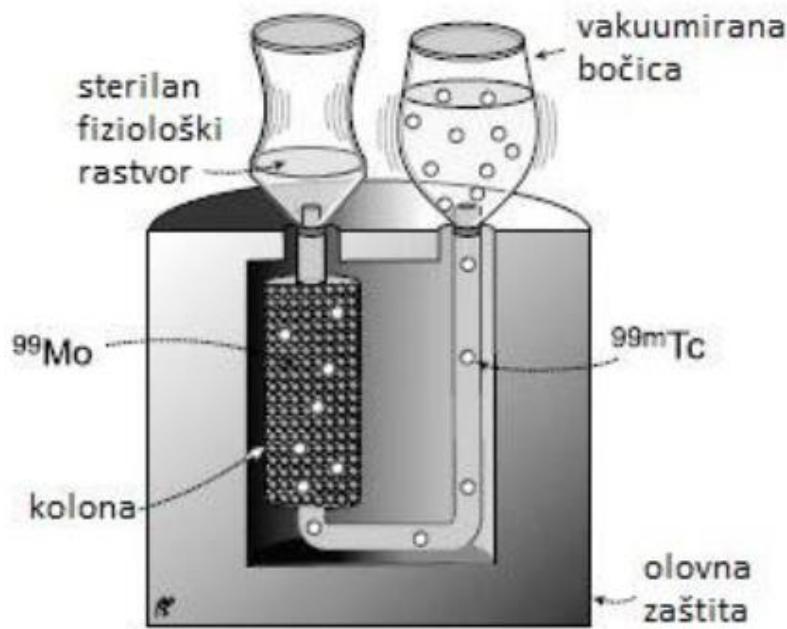


Fisioni fragmenti fisije urana imaju vrlo širok spektar masenih brojeva. Ovi fragmenti bogati su neutronima, pa se najčešće raspadaju beta-minus raspadom. Najčešće korišćeni fisioni produkti u nuklearnoj medicini su ^{99}Mo , ^{131}I i ^{133}Xe . Upravo su ovakvi izotopi, sa velikom specifičnom aktivnošću i bez nosača, najpogodniji za pripremu radiofarmaceutika, kako bi se postigla visoka efikasnost vezivanja izotopa za farmaceutik.

Za razliku od nuklearnih reaktora, ciklotroni proizvode radionuklide bombardovanjem stabilnih jezgara visokoenergetskim nanelektrisanim česticama. Teške nanelektrisane čestice moraju se prethodno ubrzati kako bi mogle da savladaju i prođu kroz odbojnu kulonovsku barijeru jezgra mete. U ciklotronu se vrši ubrzavanje pozitivnih jona između elektroda, kružnom putanjom koja se postiže dejstvom magnetnog polja, a usled stavnog menjanja polariteta elektroda, omogućen je stalni rast brzine jona. Kada dostignu dovoljnu brzinu, dejtvom električnog polja, skreću sa kružne putanje i usmeravaju ka jezgru meti.

Generator kratkoživećih izotopa predstavlja najvažniji izvor radionuklida u nuklearnoj medicini. Pogodan je za svakodnevno dobijanje rastvora kratkoživećeg izotopa, koji se zatim primenjuje u obliku u kom je dobijen ili se pomoću njega vrši obeležavanje drugih jedinjenja. Radionuklidni generatori su radiohemski uređaji koji se zasnivaju na principu raspada radioaktivnog pretka

dužeg vremena poluraspada i nastanka kratkoživećeg radioaktivnog potomka. Hemijske osobine pretka i potomka su različite, što je izuzetno važno jer omogućava njihovo relativno lako razdvajanje. Najčešće korišćeni generator je ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generator. Kao što smo prethodno napomenuli, predak ^{99}Mo se dobija u reaktoru, kao proizvod fisije, ima vreme poluraspada 67 sati i β -raspadom veliki procenat ovog izotopa, čak 87%, prelazi u metastabilan $^{99\text{m}}\text{Tc}$.

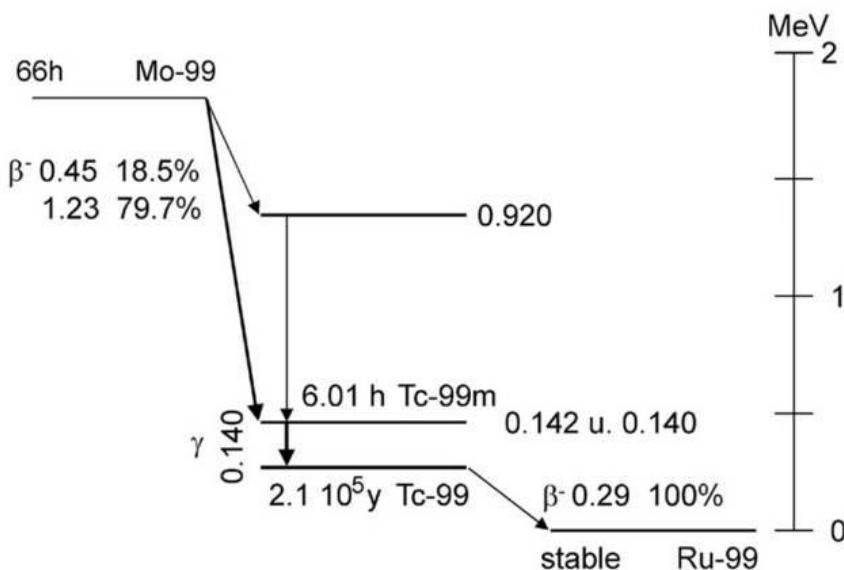


Slika 3.1. ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generator.

U generatoru molibden se apsorbuje na koloni, napravljenoj od aluminijum-trioksida (Al_2O_3) u obliku jona molibdata ($\text{M}_6\text{O}_4^{-2}$). Za razliku od molibdena, tehnecijum se ne apsorbuje na koloni, što omogućava njegovo eluiranje, tj spiranje, pogodnim eluensom, što je najčešće rastov NaCl koncentracije 0.9% (fiziološki rastvor). Kolona je silikonskim cevčicama povezana sa eluacionim iglama. Eluiranje, tj muža, jeste ustvari vid odvajanja tehnecijuma provlačenjem eluensa fiziološkog rastvora kroz kolonu, a pomoću vakuma [4].

3.4 Tehnecijum

Na slici 3.2. je prikazano šema raspada ^{99m}Tc . ^{99m}Tc je potomak reaktorskog proizvoda, ^{99}Mo . ^{99}Mo beta-minus raspadom prelazi u ^{99m}Tc . Gama raspadom ^{99m}Tc prelazi u ^{99}Tc (koji takođe nije stabilan, ali se tako sporo raspada da njegovu radijaciju možemo zanemariti). Prilikom tog raspada najčešće se emituje gama foton energije 140 keV. Emitovanje samo gama fotona je poželjan mod za medicinski imidžing, jer bi druge čestice deponovale više energije u telu pacijenta, nego u kameri. Zbog svojih osobina, odličan je marker za lociranje ćelija kancera koji se koristi za scintigrafiju skeleta, srca, mozga, pluća, jetre. Vreme poluraspada ^{99m}Tc je 6h, što je dovoljno dugo da se pripremi i obavi dijagnostička procedura, a nije predugo radi kasnijeg nepotrebnog ozračivanja ispitanika. Biološki period poluraspada ^{99m}Tc , koji karakteriše stepen izlučivanja radioaktivne supstance iz organizma, iznosi 24 h, dok je vrednost efektivnog period poluraspada T_{ef} 4.8 h.



Slika 3.2. Šema raspada ^{99}Mo

Nakon gama emisije ili unutrašnje konverzije, ^{99m}Tc prelazi u osnovno stanje ^{99}Tc sa vremenom poluraspada od $2.1 \cdot 10^5$ god [5].

3.5 Osobine radiofarmaceutika

Radiofarmaceutici su radionuklidi i supstance obeležene radionuklidima koji se upotrebljavaju za različita funkcionalna i morfološka ispitivanja i lečenje. Za ispitivanje funkcija određenih organskih sistema, koriste se različiti radiofarmaceutici i obeleživači, a u zavisnosti od specifične funkcije koja se želi ispitati, to mogu biti radioaktivni gasovi, pravi rastvori, koloidi i suspenzije, kapsule i sl. Biodistribucija farmaceutika u organizmu zavisi od faktora kao što su radiohemiska čistota, valenca, pH, veličina molekula, afinitet vezivanja za proteine plazme, vrsta rastvorljivosti i mogudnost vezivanja za delijske receptore. Samo radiohemiski čist i homogen radiofarmaceutik će imati kvantitativno i kvalitativno određene i reproducibilne puteve biodistribucije [3].

Dijagnostičke informacije u nuklearnoj medicini dobijaju se na osnovu kretanja farmaceutika u organizmu, a uloga radioaktivnosti je da taj farmaceutik učini vidljivim. Osobine idealnog radiofarmaceutika bile bi sledeće: period poluraspada približno jednak trajanju dijagnostičke procedure, emisija isključivo gama-zračenja (bez nanelektrisanih čestica) energija između 50 i 300 keV, hemijske osobine izotopa takve da se lako ugrađuje u farmaceutik, a da pri tome ne menja karakteristike farmaceutika, laka dostupnost i jednostavna priprema i lokalizacija u telu isključivo u regiji od interesa. Iz ovoga vidimo da fizičke karakteristike tehnecijuma njega čine gotovo idealnim izotopom, pa nije ni čudo što se najveći broj nuklearnomedicinskih procedura obavlja radiofarmaceuticima obeleženim tehnecijumom. [3]

Osobine radiofarmaceutika mogu se podeliti na fizičkohemijske i biološke. Pod fizičkim osobinama podrazumevaju se izgled, boja, bistrina, mehaničke nečistote, veličina i broj čestica, pH i izotoničnost, radionuklidna, radiohemiska i hemijska čistota. Tako radiofarmaceutik treba da bude bezbojan, osim kada je drugačije naznačeno od strane proizvođača (npr. ^{131}I -hipuran je bledožut), bistar, ne sme da sadrži končane materije ili bilo kakvu mehaničku nečistoću, veličina čestica (koloidni preparati) zavisi od namene preparata i kreće se ili u rangu 100 – 600 nm ili u rangu 10 – 50 nm, dok se vrednost pH krede u rangu 2 do 9 (idealno bi bilo 7.4 = pH krvi). U eluatu Mo/Tc generatora radionuklidna nečistoća je ^{99}Mo i njega ne sme biti više od 0.1%, a hemijske nečistoća je aluminijum [3].

Sa druge strane, pod biološkim osobinama radiofarmaceutika podrazumevaju se sterilnost, apirogenost, toksičnost i fiziološka raspodela. Tako farmaceutik mora biti sterilan, apirogen i ne sme biti toksičan. Fizička raspodela, tj. biodistribucija radiofarmaceutika je jedna od njegovih najbitnijih osobina. Pored nakupljanja u organu od interesa, posebno je važno nakupljanje u okolnim organima. Kako nema drugog načina da se ona odredi, vrši se na oglednim životinjama, najčešće belim pacovima. Radiofarmaceutik se aplikuje u repnu venu, životinja se nakon određenog vremena žrtvuje, vade joj se organi i aktivnost u njima meri u odnosu na standard. Dozvoljeni procenti u različitim organima zavise od samog preparata koji se testira.

Mogućnost detekcije i ocenjivanja regije od interesa najviše zavisi od koncentracije radiofarmaceutika u toj regiji ili organu. Radiofarmaceutici su pravljeni tako da maksimalizuju odnos aktivnosti u regiji od interesa i izvan nje. Abnormalnosti se često prepoznaju kao lokalizovana područja pojačanog nakupljanja radiofarmaceutika, zvana "vrude" tačke (*hot spots*), ili kao "hladne" tačke (*cold spots*) u kojima postoji odstupanje, u vidu smanjenja, od normalnog nakupljanja, uzrokovano bolešdu.

Radiofarmaceutici dobijaju se tako što se, u bolničkim uslovima, radionuklid, natrijum-pertehentat, kombinuje sa različitim neaktivnim i sterilnim komponentama, poreklom iz kitova. Kit čine sterilne hemijske komponente, kao što je ligand – komponenta koja se vezuje za ^{99m}Tc , zatim joni kalaja Sn^{2+} u obliku hlorida ili fluorida – redukujući agensi, kao i druge komponente koje deluju kao stabilizatori, puferi, antioksidansi i slično.

Sve ove komponente zajedno omogućavaju transformaciju tehnecijuma, putem složenih hemijskih reakcija, u željeni radiofarmaceutik. U praksi postoje dva načina za ovo obeležavanje, takođe zvano i markiranje. Metod koji preporučuju proizvođači farmaceutika sastoji se iz dva jednostavna koraka, a oni uključuju unošenje promenljive količine radioaktivnog materijala, u zavisnosti od broja pacijenata i potrebne količine aktivnosti za svaki pregled, sterilnim spricem u epruvetu sa farmaceutikom i podelu ove količine radiofarmaceutika na manje "doze", u zavisnosti od broja pacijenata. "Mokri" metod (*the "wet" method*) podrazumeva unošenje jedne, tačno određene, količine rastvora u bočicu sa farmaceutikom, podelu te količine rastvora, prema broju pacijenata, u manje boćice i zatim dodavanje potrebne količine radioaktivnosti u svaku od

bočica. "Mokar" metod znatno smanjuje dozu koju prima osoblje, jer se sa radioaktivnim materijalom rukuje samo jednom, međutim, zahteva ekstenzivnu kontrolu i osiguranje kvaliteta pripremljenog radiofarmaceutika, jer odstupa od preporuka proizvođača, pa se prvi metod ipak mnogo češće primenjuje u praksi. Određene nuklearnomedicinske procedure koriste čist natrijum-pertehtnetat kao radiofarmacutik, pa se kod njih samo vrši podela eluata na manje "doze". [6]

3.6 Primena jedinjenja tehnecijuma u dijagnostici kao radiofarmaceutik

Zbog povoljnih osobina tehnecijuma razvijene su mnoge vrste aplikacija jedinjenja ^{99m}Tc u nuklearnoj medicini. ^{99m}Tc -fosfati i difosfati se koriste u imidžingu kostiju, radi dijagnostikovanja metastaza kostiju koje potiču od tumora prostate ili dojke. U ovu svrhu se koriste MDP (metilen-difosfat), HMDP, DPD i HEDP. U kostima se nalaze minerali bogati kalcijumom i fosfatima. Ćelije kostiju privlače fosfatna jedinjenja, a u regiji metastaze dolazi do nagomilavanja, tj. povećanja koncentracije fosfata u odnosu na zdrava područja. MDP se iz tog razloga i koncentriše u predelu metastaze i kao radiomarker čini metastaze vidljivim za gama kamere.

^{99m}Tc -sestamibi i ^{99m}Tc -tetrofosmin se koriste za merenje miokardijalnog toka krvi tokom stresnog testa i odmora. Dobijene dijagnoze upućuju na miokardijalne infarkte i oboljenja koronarne arterije.

Za funkcionalni imidžing mozga se obično koristi ^{99m}Tc -HMPAO (extametazim). Molekuli se raspoređuju u oblasti pojačanog toka krvi u mozgu i na osnovu raspodele jedinjenja se regionalno procenjuje metabolizam mozga, u cilju otkrivanja demencija.

Za scintigrafiju slezine se koristi tehnecijum-S i tehnecijum-Sn koloid. Istovremeno se prikazuje i jetra što nekad može biti nepoželjno, jer se ne vide akcesorne slezine. Za limfoscintigrafiju koristi se Tc- antimon sulfide [5].

4 Dozimetrijske veličine

Oblast koja se bavi mehanizmima predaje energije zračenja, merenjima i izračunavanju doze naziva se dozimetrija. Radi opisivanja zaštite i mere efekata zračenja, uvođe se dozimetrijske veličine sa svojim jedinicama. Radijacioni rizik, određuje se preko doze, fizičke veličine koja služi kao kvantitativna mera nivoa izlaganja ionizujućem zračenju.

4.1 Ekspoziciona doza

Fizička veličina koja opisuje koliko se nanelektrisanja stvori u jedinici mase je ekspoziciona doza - X (doza izlaganja). Opisuje efekte samo X i gama zračenja i njihovo jonizaciono dejstvo u vazduhu. Formuliše se relacijom:

$$X = \frac{dD}{dm}$$

gde je dQ – apsolutna vrednost ukupne količine nanelektrisanja svih jona istog znaka u vazduhu, kada su svi elektroni i pozitivni joni oslobođeni fotonima ionizujućeg zračenja u elementu zapremine vazduha mase dm potpuno zaustavljeni u vazduhu.

Jedinica ekspozicione doze je C/kg i označava dozu izlaganja X ili gama zračenja pri kojoj ukupno nanelektrisanje stvorenih jona istog znaka u ozračenom vazduhu mase 1 kg (pri normalnim atmosferskim uslovima) iznosi 1 C pri istoj gustini energetskog fluksa u celoj količini ozračenog vazduha. Ekspoziciona doza se može izražavati i u rendgenima R, a veza između ovih jedinica je predstavljena sledećim izrazom:

$$1 \frac{C}{kg} = 3876R, \text{ odnosno}$$

$$1R = 2.58 \cdot 10^{-4} C/kg.$$

Jačina ekspozicione doze (brzina ekspozicije) predstavlja promenu ekspozicije u jedinici vremena i računa se kao

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt} \left[\frac{C}{kg} \cdot s \right]$$

gde je dX - promena ekspozicione doze za vremenski interval dt. [7]

4.2 Apsorbovana doza

Apsorbovana doza predstavlja količinu apsorbovane energije po jedinici mase nekog materijala. Ona se definiše kao

$$D = \frac{dE}{dm}$$

gde je dE srednja energija saopštена zapreminskom elementu mase m putem jonizujućeg zračenja.

Jedinica za apsorbovanu dozu je džul po kilogramu [J/kg] i naziva se Grej [Gy]. Stara merna jedinica je bila rad, čije je ime nastalo od „radijaciona apsorbovana doza“, a danas $1\text{Gy}=100\text{ rad}$.

Jačina apsorbovane doze definiše se kao promena apsorbovane doze u jedinici vremena:

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} \left[\frac{\text{Gy}}{\text{s}} \right]$$

4.3 Ekvivalentna doza

Poznavanje apsorbovane doze nije dovoljno da bi se mogla uvideti verovatnoća nastajanja štetnih efekata zračenja. Iz tog razloga se uvodi nova veličina koja opisuje biološko dejstvo različitih vrsta zračenja koju nazivamo ekvivalentna doza H gde je data izrazom:

$$H = D \cdot Q \cdot N \text{ [Sv]}$$

gde vidimo da je srazmerna proizvodu apsorbovane doze D, faktora kvaliteta Q i faktoru N. Faktoru N je pripisana jedinična vrednost $N=1$, a faktor Q zavisi od vrste zračenja, tabela 4.1. Što je veće Q, veći je i štetni efekat koji zračenje proizvodi. Tako je alfa opasnije po čoveka nego rendgensko ili gama zračenje [7].

Tabela 4.1. Vrednosti faktora kvaliteta Q za različite vrste ionizujućeg zračenja

VRSTA ZRAČENJA	FAKTOR KVALITETA Q
X zračenje, gama zračenje i elektroni	1
Neutroni, protoni, jednostruko nanelektrisane čestice čija je masa mirovanja veća od 1 ajm nepoznate energije	10
Alfa čestice i višestruko nanelektrisane čestice (čestice nepoznatog nanelektrisanja), nepoznate energije	20

4.4 Efektivni ekvivalent doze

Da bi se bliže okarakterisao rizik od zračenja uvodi se nova veličina koja se zove efektivni ekvivalent doze, koji je dat izrazom:

$$H_t = \sum_t W_t \cdot H_t,$$

gde je H_t srednja ekvivalentna doza u tkivu i zavisi od vrste tkiva, a W_t je težinski faktor, odnosno faktor rizika za određeno tkivo i predstavlja udeo štetnosti stohastičkih učinaka koja se razvija u tkivu u odnosu na celi organizam. Kada je celo telo ozračeno, težinski faktori za sve organe i tkiva se sabiraju i daju jediničnu vrednost $W_t = 1$, tj. 100%. [7]

Tabela 4.2. Vrednosti radijacionih težinskih faktora W_t [9]

tkiva ili organi	W_t
gonade	0,2
koštana srž	0,12

debelo crevo	0,12
pluća	0,12
želudac	0,12
bešika	0,05
dojke	0,05
jetra	0,05
jednjak	0,05
tiroidna žlezda	0,05
koža	0,01
kosit	0,01
ostalo	0,05
celo telo	1

4.5 Kerma (Kinetic Energy Released per unit Mass)

Kinetička energija oslobođena po jedinici mase (Kinetic Energy Released per unit Mass - KERMA) meri onu količinu energije koju elektromagnetsno ionizujuće zračenje preda nanelektrisanim česticama sredine. Definiše se izrazom:

$$K = \frac{dE_k}{dm} \text{ [Gy]}$$

gde dE_k predstavlja zbir svih početnih kinetičkih energija ionizujućih čestica oslobođenih sekundarno ionizujućim nanelektrisanim česticama. Kerma ima istu vrednost kao apsorbovana doza u vazduhu i koristi se da se opiše polje zračenja u prisustvu ili odsustvu pacijenta. U oblasti rendgendifagnostike kerma u mekom tkivu je približno jednaka kermi u vazduhu (razlika je manja od 10% i zavisi od energije fotona), tako da se u zaštiti od zračenja mogu izjednačiti.

Jačina kerme predstavlja promenu kerme u jedinici vremena: $\dot{K} = \frac{dK}{dt} \text{ [Gy/s]}$ [7].

5 Lična dozimetrija

Istrument kojim se može direktno ili indirektno meriti ekspoziciona, apsorbovana i ekvivalentna doza, kao i kerma naziva se dozimetar. Zakonski je obavezujuće da osoblje koje je profesionalno izloženo jonizujućem zračenju nosi lične dozimetre za vreme izlaganja zračenju [8].

Veličina koja se koristi za određivanje doznih ekvivalentnata tkiva je dubinski lični dozni ekvivalent $H_p(d)$:

- $H_p(10)$ - tkivo na dubini 10 mm,
- $H_p(0.07)$ – tkivo na dubini 0.07mm (koža),
- $H_p(3)$ – tkivo na dubini 3mm (očno sočivo).

Lični dozimetri se izrađuju tako da su prilagođeni potrebama. Nose se u toku izlaganja zračenju, na definisanoj poziciji u odnosu na telo, tako da ne ometaju rad [5].

5.1 Minimalizacija ozračavanja osoblja

Činjenica je da se štetni efekti relativno malih doza zračenja ne ispoljavaju odmah, ali to ne znači da se neće ispoljiti kasnije tokom vremena ili u kasnijim generacijama. Zato je bitno da se redovno sprovodi kontrola izloženosti zračenja, kao i da se uvek ima na umu ALARA princip (As Low As Reasonably Achievable). Profesionalno izložena lica bi trebala svoje izlaganje da svedu na minimum. Osoblje je u obavezi da tokom celokupnog rada sa radioaktivnim zračenjem nosi lične dozimetre, kako bi se pratio nivo zračenja kojem se izlažu.

Pri radu sa izvorima jonizujućeg zračenja, profesionalno izloženo osoblje mora da se pridržava osnovnih principa zaštite od zračenja. Izlaganje zračenju se dodatno može smanjiti ukoliko se izbegava direktni kontakt, korišćenjem hvataljki i pincenta pri radu sa radioizotopima.

Preporučljivo je koristiti posebno konstruisane bočice i špriceve koji umanjuju efekat ozračivanja. Vreme izlaganja treba da bude što kraće, pogotovo u fazi pripreme radiofarmaceutika, kada je aktivnost izvora najveća. Zbog toga je bitna stručnost i uvežbanost stručnog osoblja, da vremensko ograničenje ne ugrozi kvalitet rada.

U slučajevima kada nije moguće uticati na rastojanje i vreme izloženosti, koriste se apsorberi, materijali koji apsorbuju zračenje. Obično se koriste olovne kecelje, koje su veoma teške, ali neophodne, jer sprečavaju interakciju zračenja sa organizmom. Pacijent koji unese u organizam radioaktivni izotop postoje izvor zračenja. Medicinsko osoblje se izlaže zračenju kada se nalazi pored pacijenata prilikom apliciranje radiofarmaceutika, sprovodenja u čekaonicu ili toalet i u svakom trenutku mora preuzimati sve mere zaštite od zračenja. Kad god je to moguće, potrebno je održavati što veću moguću udaljenost od pacijenta, a apliciranje doza bi trebalo da se odvija što većom brzinom. [5]

5.2 Lični dozimetar

Profesionalno izložena lica moraju stalno nositi svoje lične dozimetre, kako bi se pratilo nivo izloženosti jonizujućem zračenju. Dizajnirani su dozimetri za telo (postavljeni u predelu vrata, grudi ili struka) i ekstremitete (ruka, šaka, prsti). Najbolje bi bilo da se koriste i dozimetri u blizini oka, zakačeni na traku koja se stavlja oko glave.

Dozimetri koji se najviše koriste su: pasivni, termoluminescentni (TLD) i film dozimetri.

Najčešće se koriste pasivni, termoluminescentni (TLD) i film dozimetri. Samoočitavajući (aktivni) džepni i električni personalni dozimetri su dozimetri sa kojih se direktno očitavaju vrednosti u bilo kom trenutku, zbog toga su oni pogodniji za korišćenje u odnosu na pasivne i na njima se brže i lakše uočava opasnost od povećanih doza. Samoočitavajući džepni dozimetri imaju oblik olovke i sastoje se od ionizacione komore sa kondenzatorom. [5]

5.2.1 Termoluminiscentni dozimetri – TLD

TLD su malih dimenzija što ih čini pogodnim za merenje doza u području očiju, zglobova ili prstiju. Pokazuje visoku osetljivost, čak pri veoma malim dimenzijama i mogu meriti niske (0.1

mGy) i visoke doze (10 Gy). Kristal je uglavnom smešten u držač, a zaposleni na nuklearnoj medicini u cilju ličnog monitoringa ga mogu nostiti kako na trupu, zglobu ili prstu. Zagrevanjem se brišu sve informacije sa dozimetra, čime je omogućeno njegovo ponovno korišćenje. Prilikom pobuđivanja, atom može da zadrži deo apsorbovane energije zračenja u metastabilnim stanjima. Posle kratkog vremenskog intervala, atom se vraća u osnovno stanje, emitujući ostatak apsorbovane energije. Kod ovakvih materijala dolazi do pojave luminiscencije. Postoje dve vrste luminiscencije koje se razlikuju po vremenu koje je potrebno da se emituje zračenje, fluorescencija ($\tau < 10^{-4}$) i fosforoscencija ($\tau > 10^{-4}$). Fosforoscencija može biti pobuđena optički (zračenjem) ili toplotom – termoluminiscencija (TL). [5]

5.2.2 Prsten dozimetar

Dozimetar za ekstremitete pruža uvid u lični dozni ekvivalent kože Hp (0.07) i postavlja se na onaj deo koji je izložen zračenju i za koji je potreban nadzor. Idealni za detektovanje gama i beta zračenja su prsten dozimetri, koji poseduju litijum-floridni detektor. Najčešće se koristi standardni prsten dozimetar (tip W), dopiran magnezijumom i titanijumom. U specifičnim slučajevima, za merenje niskoenergetskog zračenja, koristi se specijalni prsten (tip X). X-prsten je dopiran magnezijumom i bakrom, koji su prekriveni Milarovom folijom. Energija zračenja se skladišti u kristalu detektora, sve dok se zagrevanjem ne oslobodi u obliku svetlosti, čiji je intenzitet upravo srazmeran apsorbovanom zračenju. Obeležena strana prstena treba da bude okrenuta ka dlanu, gde je najveća izloženost. Može se nositi preko rukavica ili ispod kako bi se zaštitio od kontaminacije. Kada se ne koristi, prsten treba da je odložen na mesto izolovano od toplote i zračenja. Veoma su pogodni za osoblje nuklearne medicine koje učestvuje u otpakivanju i pripremanju radioaktivnih supstanci. Otporni su na vlagu, pa se mogu koristiti i u mokrom okruženju. [5]

6 Zakonska regulativa

Radijacioni rizik za celo telo ili pojedine organe određuje se preko efektivne doze ili tkivnih ekvivalenta doze i odgovarajućih težinskih faktora usvojenih od strane Međunarodnog komiteta za zaštitu od zračenja „Preporuke 2007 Međunarodne komisije za zaštitu od zračenja, Publikacija broj 103“ (*The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103*), kao i Pravilnika o granicama izlaganja jonizujućim zračenjima i merenjima radi procene nivoa izlaganja jonizujućim zračenima [8].

Za potrebe ocene radijacione sigurnosti profesionalno izloženih lica, rizik se opisno klasificuje na sledeći način:

1. velik - procenjena godišnja efektivna doza veća od 20 mSv;
2. uvećan - procenjena godišnja efektivna doza veća od 6 mSv;
3. umeren - procenjena godišnja efektivna doza veća od 1 mSv i
4. zanemarljiv - procenjena godišnja efektivna doza manja ili jednaka 1 mSv.

Efektivna doza profesionalno izloženih lica je:

1. veoma visoka, ukoliko je veća od 50 mSv za godinu dana;
2. visoka, ukoliko je veća od 20 mSv za godinu dana;
3. uvećana, ukoliko je veća od 6 mSv za godinu dana;
4. niska, ukoliko je manja ili jednaka 6 mSv za godinu dana;
5. veoma niska, ukoliko je manja ili jednaka 2 mSv za godinu dana;
6. zanemarljiva, ukoliko je manja ili jednaka 1 mSv za godinu dana.

Efektivna doza stanovništva je:

1. uvećana, ukoliko je veća od 1 mSv za godinu dana;
2. niska, ukoliko je veća od 0,3 mSv za godinu dana;

3. veoma niska, ukoliko je manja ili jednaka 0,03 mSv za godinu dana;
4. zanemarljiva, ukoliko je manja ili jednaka 0,01 mSv za godinu dana

Radijacione zone u kojima se koriste izvori ionizujućih zračenja moraju ispunjavati sledeće uslove:

1. da su jasno i uočljivo označene standardizovanim znakom radioaktivnosti i tekstrom: OPASNOST ZRAČENJE a po potrebi i OPASNOST KONTAMINACIJA;
2. da je označena vrsta izvora ionizujućeg zračenja (naziv izvora, oznaka, aktivnost ili jačina doze);
3. da postoje jasna i uočljiva pisana uputstva o režimu rada sa izvorom ionizujućih zračenja i o postupku u slučaju vanrednog događaja;
4. da postoji dozimetrijska kontrola radne sredine.

Pored ispunjavanja uslova iz stava 1. ovog člana svaki ulazak u kontrolisanu zonu mora biti kontrolisan i evidentiran u skladu sa internim pisanim procedurama.

Radi ograničavanja izlaganja profesionalno izloženih lica preduzimaju se sledeće mere:

1. prethodna procena nivoa izloženosti i radijacionog rizika za izložene radnike i sprovođenje optimizacije zaštite od zračenja u svim radnim uslovima;
2. klasifikacija radnih mesta na različite oblasti (radijacione zone), na osnovu procene očekivanih godišnjih doza i verovatnoću i veličinu potencijalnih izlaganja;
3. klasifikacija radnika u kategorije profesionalne izloženosti;
4. određivanje ispitnog nivoa ličnog ekvivalenta doze;
5. sprovođenje odgovarajućih kontrolnih mera i dozimetrijskih merenja lica i polja u radnoj sredini;
6. sprovođenje zdravstvenog nadzora.

Profesionalno izložena lica klasificuju se prema uslovima rada i nivoima izlaganja ionizujućim zračenjima u dve kategorije:

1. kategorija A: lica koja profesionalno rade u kontrolisanoj zoni i ona koja mogu da prime efektivne doze veće od 6 mSv godišnje ili ekvivalentne doze veće od 3/10 propisanih granica doza za pojedine organe kod profesionalno izloženih lica;
2. kategorija B: lica koja profesionalno ili povremeno rade u nadgledanoj zoni ili povremeno u kontrolisanoj zoni i za koja je efektivna doza koju primaju ispod 6 mSv godišnje. [8]

7 Limfoscintigrafija i sentinel node biopsija

Zbog svoje složene strukture, živi organizmi su vrlo osetljivi na uticaj ionizujućeg zračenja. Ona utiče na životne funkcije ćelije i na taj način utiče na tkiva, organe i same organizme. Shodno tome, mogu se razlikovati dve vrste uticaja radijacije: direktni uticaj na atome ugrađene u molekule živog tkiva i indirektni uticaji na atome okolnih medija, uglavnom vode.

Posledica ovog uticaja je promena funkcije ćelije. Ionizacija žive materije zavisi ne samo od apsorbovane doze, već i od relativnog biološkog efekta (RBE). Relativni biološki efekti mogu se proizvesti različitim vrstama ionizujućeg zračenja. Energija deponovana zračenjem izaziva ozbiljne efekte u materiji i menja njena svojstva.

Primena ionizujućeg zračenja u medicini znači pridržavanje osnovnih principa zaštite od zračenja: opravdanja, optimizacije i ograničenja doze za osoblje i javnost. Glavni cilj ove studije bio je utvrditi stope doze i izloženost kod osoblja koje je direktno uključeno u limfoscintigrafiju i biopsiju sentinel čvora. [9]

7.1 Limfoscintigrafija

Limfoscintigrafija predstavlja metodu nuklearne medicine koji se koristi u ranim fazama malignih bolesti i u planiranju i predviđanju terapije. Analiza se vrši kod karcinoma dojke i melanoma.

Radionuklid koji se koristi je ^{99m}Tc .

Kao tragač se koristi nano-koloidni albumin označen sa 13 MBq od ^{99m}Tc . [9]

7.2 Biopsija sentinelnih limfnih čvorova (SLNB)

Biopsija sentinelnih limfnih čvorova (SLNB) je postupak u kome se sentinelni limfni čvor identificuje, uklanja i ispituje da bi se utvrdilo da li su ćelije karcinoma prisutne. Primenjuje se

kod pacijenata kod kojih je već dijagnostikovan karcinom. Negativan rezultat SLNB-a sugerije da se karcinom još nije proširio na obližnje limfne čvorove ili druge organe. Pozitivan rezultat SLNB-a ukazuje na to da je karcinom prisutan u sentinel limfnom čvoru i da se možda proširio na druge obližnje limfne čvorove (zvane regionalni limfni čvorovi) i, možda, druge organe.

Pre početka zahvata potrebno je locirati sentinel limfni čvor (ili čvorove). Da bi to uradio, hirurg ubrizgava radioaktivnu supstancu, plavu boju ili oboje u blizinu tumora. Nakon toga, hirurg koristi uređaj za otkrivanje limfnih čvorova koji sadrže radioaktivnu supstancu ili traži limfne čvorove koji su obojeni plavom bojom. Jednom kada se locira sentinel limfni čvor, hirurg pravi mali rez (oko 1/2 inča) na gornjoj koži i uklanja čvor. Zatim sentinel čvor patolog proverava na prisustvo ćelija karcinoma. Ako se pronađe karcinom, hirurg može ukloniti dodatne limfne čvorove, bilo tokom istog postupka biopsije, bilo tokom naknadnog hirurškog postupka. SLNB se može obaviti ambulantno ili može zahtevati kratak boravak u bolnici. SLNB se obično radi istovremeno sa uklanjanjem primarnog tumora. SNLB pomaže lekarima u postavljanju karcinoma i proceni rizika da su ćelije tumora razvile sposobnost širenja na druge delove tela. Ako je sentinel čvor negativan na karcinom, pacijent će možda moći da izbegne opsežnije operacije limfnih čvorova, smanjujući potencijalne komplikacije povezane sa uklanjanjem mnogih limfnih čvorova.

Sve operacije uklanjanja limfnih čvorova, uključujući SLNB, mogu imati štetne neželjene efekte, iako je uklanjanje manjeg broja limfnih čvorova obično povezano sa manje neželjenih efekata, posebno ozbiljnih poput limfedema. Potencijalni neželjeni efekti uključuju: limfedem ili oticanje tkiva. Tokom operacije limfnih čvorova, limfni sudovi koji vode do i od sentinel čvora ili grupe čvorova se presekaju. Ovo narušava normalan protok limfe kroz pogodeno područje, što može dovesti do abnormalnog nakupljanja limfne tečnosti koja može prouzrokovati oticanje. Limfedem može uzrokovati bol ili nelagodnost u pogodjenom području, a koža iznad njega može postati zadebljala ili tvrda. Rizik od limfedema raste sa brojem uklonjenih limfnih čvorova. Manji je rizik uklanjanjem samo kontrolnog limfnog čvora. U slučaju obimnog uklanjanja limfnih čvorova u pazuhu ili preponama, otok može da zahvati celu ruku ili nogu. Pored toga, postoji povećani rizik od infekcije u pogodjenom području ili udu. Veoma retko, hronični limfedem usled obimnog uklanjanja limfnih čvorova može prouzrokovati rak limfnih sudova koji se naziva limfangiosarkom. Seroma ili masa ili kvržica uzrokovana nakupljanjem limfne tečnosti

na mestu operacije. Utrnulost, peckanje, otok, modrice ili bol na mestu operacije i povećani rizik od infekcije.

Ćelije raka dojke najverovatnije će se prvo proširiti na limfne čvorove koji se nalaze u pazuzu ili predelu pazuha, pored pogodjene dojke. Međutim, kod karcinoma dojke blizu centra grudnog koša (blizu grudne kosti), ćelije karcinoma mogu se prvo proširiti na limfne čvorove unutar grudnog koša (ispod grudne kosti, zvane unutrašnji mlečni čvorovi) pre nego što se otkriju u aksili. Broj limfnih čvorova u pazuzu varira od osobe do osobe; uobičajeni opseg je između 20 i 40. Istorijski gledano, svi ovi aksilarni limfni čvorovi su uklonjeni (u operaciji koja se naziva disekcija aksilarnih limfnih čvorova ili ALND) kod žena kojima je dijagnostikovan rak dojke. To je učinjeno iz dva razloga: da bi se pomoglo u stadijumu raka dojke i da bi se sprečilo regionalno ponavljanje bolesti. [9]

7.3 Primena metode scintigrafije sentinel čvora- limfoscintigrafija.

Nuklearno medicinska dijagnostička metoda kojom se vizualizuje limfna drenaža tumora i prvi limfni čvor koji drenira tumor odnosno sentinel limfni čvor. Glavni zahtevi za scintigrafiju sentinel čvora su:

- Radiofarmaceutski preparat. Tc pertehnetat se proizvodi iz ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generatora. Bočica, koja sadrži čestice albuminskih koloida, smeštena je u vodenu posudu aseptičnom metodom 185-5500 MBq od Tc. Dodaje se natrijum-pertehnetat u odnosu 1-5 ml.
- Dozvoljena aktivnost scintigrafije limfnih čvorova stražara ili ti sentilen noda je 13MBq u zapremini od 0, 2 ml.
- Radiofarmaceutski preparat se primenjuje intratumornim ili peritumorskim ubrizgavanjem na karcinomu dojke ili melanomu, intrakutanim inekcijama na različitim mestima: blizu tumora ili duž ožiljka.
- Specijalista za nuklearnu medicinu obavlja apliciranje.

- Gama kamera je instrument za otkrivanje i praćenje drenaže limfnih čvorova. Korišćena je Siemens dvostruka gama kamera sa LEHR kolimatorima.
- Nakon dinamičke akvizicije, nastaju dve statičke akvizicije: 10 minuta prednje i zadnje pozicije, odnosno slike.
- Obeležavanje lokalizacije sentinel čvora može se vršiti ^{57}Co olovkom, a nakon obeležavanja markerom na koži koristi se gama sonda. Sonda se koristi za identifikaciju najosetljivijeg čvora i verifikaciju lokacije čvora.
- Označavanje čvora na koži vrši markiranjem kože.

Nakon otkrivanja i obeležavanja sentinel čvora, pacijent se šalje na operaciju i započinje proces biopsije [9].



Slika 7.1. i 7.2. Sondom gama kamere određujemo mesto sa najvećim brojem impulsa u predelu aksile (na tom mestu se pravi rez i pristupa sentinel nodusu); na displeju gama kamere registruje se veliki broj impulsa [10]



Slika 7.3 i 7.4. Sentinel nodus obeležen bojom; primarni tumor ekstirpiran zajedno sa sentinel nodusom (limfni čvor i limfni put koji ide prema limfnom čvoru obeleženi su bojom)[10]

• **Metode**

Različita praksa zdravstvenih ustanova biće predstavljena kroz prikaz modela pristupa i primene ove metode u različitim ustanovama i sa različitim elementima. Pojedine ustanove su uvrstile limfnoscinitgrafiju u svakodnevnu praksu, dok pojedine izostavljaju ovaj korak detekcije, a pojedine uključuju i radiologa.

Teoretski model [9] koji se koristi za izračunavanje aplikovanih aktivnosti ^{99m}Tc za ispitivanje sentinel čvorova. U Tabeli 7.1 prikazane su vrednosti doze dobijene ovim modelom za uslove rada osoblja koje je uključeno u proces limfoscintografije i biopsije sentinelnog čvora. Vrednosti primeljenih doza na udaljenosti od metra izračunavaju se za osoblje koje je u kontaktu s radioaktivnim materijalom. Model je napravljen za različite grupe osoblja:

- Specijalista za nuklearnu medicinu tokom pripreme radiofarmaceutika;
- Hirurg, tokom biopsije sentinelnog čvora (2, 4 i 8 sati nakon nakon apliciranja ^{99m}Tc).

Tabela 7.1. Stopa doze i izloženost zračenja [7]

	Aktivnost (vreme, udaljenost)	Doza na rukama	Doza na telu
Specijalista nuklearne medicine	13 MBq (2min; 0,5cm)	0,57mSv	0,431mSv
Hirurg, nakon apliciranja ^{99m}Tc 2h	10,33 MBq (1h; 0,1-1m)	34,26 μSv	0,34 μSv
Hirurg, nakon apliciranja ^{99m}Tc 4h	8,22 MBq (1h; 0,1-1m)	27,20 μSv	0,27 μSv
Hirurg, nakon apliciranja ^{99m}Tc 8h	5,17 MBq (1h; 0,1-1m)	1,7 μSv	0,01 μSv

Iz rezultata prikazanih u Tabeli 7.1 može se zaključiti da najveću dozu primi specijalista nuklearne medicine za vreme pripreme radiofarmaceutika, dok je doza koju primi hirurg znatno niža, zbog radioaktivnog raspada ^{99m}Tc .

Prepostavlja se da je svo ostalo osoblje prisutno u operacionoj sali na više od metra udaljenosti od pacijenta, pa je za njih primljena doza zanemarljiva.

8 Izloženost hirurga zračenju prilikom biopsije sentinelnih limfnih čvorova- primer 2

Ispitivanja su vršena na 20 pacijenata sa karcinomom dojke koji su bili kandidati za biopsiju aksilarnog sentinelnog čvora. Aktivnost se kretala od 0,1 do 5 mCi u 0,25 ml rastvora. Zabeležena je doza ubrizgavanog radioizotopa, vremenski interval između apliciranja i operacije i trajanje operacije. Vreme ubrizgavanja radioizotopa bilo je zabeleženo u izveštaju o limfoscintografiji i vreme početka operacije [11].

8.1 Hirurški postupak

Visoko osjetljivi termo-luminiscentni dozimetri (TLD) postavljeni su na drugi i treći prst unutar rukavica hirurga. Jedan TLD-a je takođe bio pričvršćen na telu hirurga u nivou operativnog stola, a jedan je postavljen na njegov vrat preko oblasti štitnjače. TLD dozimetri su po završenom operativnom postupku poslati na očitavanje [11].

8.2 Dozimetrijski postupak

Merenja su izvršena korišćenjem visoko osjetljivog termo-luminescentnog dozimeta (TLD) napravljenog od litijum fluorida (PTV, LiF: Mg, Cu, P, tip GR200A) sa dimenzijama 4,5 mm × 0,8 mm. Njihovi linearni odgovori bili su od 1 mGy do 12Gy. Pre svakog ozračivanja, svi dozimetri su zagrevani na 240 °C tokom 10 min prema preporukama, a zatim brzo hlađenje. TLD dozimetri su kalibrисани ^{60}Co γ -zracima sa srednjom energijom 1,25 MeV nivoom doza od 0,2 cGy do 10 cGy [11].

• Rezultati

Srednje vrednosti ekvivalentnih doza zračenja za ruke, abdomen i područje štitne žlezde koju prime onkološki hirurzi prikazane su u Tabeli 8.1.

Tabela 8.1. Minimalne, maksimalne i srednje vrednosti ekvivalentne doze zračenja koju prime onkološki hirurzi [11]

Pozicija	Minimum (μSv)	Maksimum (μSv)	Srednja vrednost \pm greška merenja (μSv)
Desna ruka, drugi prst	9.90	137.90	46 \pm 33
Desna ruka, treći prst	9.00	104.50	44 \pm 26
Leva ruka, drugi prst	21.90	92.80	54 \pm 25
Leva ruka, treći prst	17.70	189.1	31 \pm 39
Abdomen	4.96	56.90	31 \pm 17
Tiroidna žlezda	6.70	76.30	28 \pm 20

*Kombinovana merna nesigurnost instrumenta iznosi 20% na nivou poverenja 95%

Iz Tabele 8.1 se zaključuje da je najveća vrednost ekvivalentne doze zračenja zabeležena za drugi prst leve ruke hirurga ($53 \pm 25 \mu\text{Sv}$). Izmerene doze za abdomen i područje štitne žlezde bilo je manje nego na prstima.

Minimalna, maksimalna i srednja vrednost ekvivalentne doze zračenja određena je za dve grupe ispitivane populacije odvojeno (tj. one koje su primile 1 mCi i one koje su primile manje od 1 mCi). Vrednosti ekvivalentnih doza, vremenski interval do operacije i trajanje operacije prema iniciranoj dozi radiofarmaceutika su prikazani u tabelama 8.2 i 8.3.

Tabela 8.2. Minimalna, maksimalna i srednja vrednost ekvivalentne doze zračenja koje primi profesionalno izloženo osoblje po procedure pri kojoj je inicirano 1mCi radioizotopa [11]

Pozicija	Minimum (μSv)	Maksimum (μSv)	Srednja vrednost \pm greška merenja (μSv)
Desna ruka, drugi prst (μSv)	9.90	56.20	30 \pm 15
Desna ruka, treći prst (μSv)	10	62.70	31 \pm 16
Leva ruka, drugi prst (μSv)	25.30	77.90	49 \pm 19

Leva ruka, treći prst (μSv)	17.70	76.30	42 ± 17
Abdomen (μSv)	4.96	47.10	27 ± 17
Tiroidna žlezda (μSv)	6.70	76.30	27 ± 27
Vremenski interval do operacije	1	22	13 ± 8
Trajanje operacije	45	180	78 ± 43

*Kombinovana merna nesigurnost instrumenta iznosi 20% na nivou poverenja 95%

*Tabela 8.3. Minimalna, maksimalna i srednja vrednost ekvivalentne doze zračenja za profesionalno izloženo osoblje
po procedure pri kojoj je inicirano manje od 1mCi radioizotopa [11]*

Pozicija	Minimum (μSv)	Maksimum (μSv)	Srednja vrednost \pm greška merenja (μSv)
Desna ruka, drugi prst (μSv)	17	137.90	61 ± 38
Desna ruka, doza trećeg prsta (μSv)	9	104.50	56 ± 15
Leva ruka, drugi prst (μSv)	21.90	98.80	58 ± 29
Leva ruka, treći prst (μSv)	21.20	189.10	63 ± 51
Abdomen (μSv)	7.06	56.90	34 ± 17
Tiroidna žlezda (μSv)	7.20	59.70	28 ± 18
Vremenski interval do operacije (sati)	1	18	10 ± 8
Trajanje operacije (minuti)	75	190	102 ± 35

*Kombinovana merna nesigurnost instrumenta iznosi 20% na nivou poverenja 95%

Kao što je prikazano u ovim tabelama, srednje ekvivalente doze za prste bile su manje u grupi koja je primila 1 mCi. To bi moglo biti posledica kraćeg srednjeg trajanja operacije u ovoj grupi (78 ± 43 minuta u poređenju sa 102 ± 35 minuta u drugoj grupi). [11]

9 Osiguravanje bezbednog zračenja za osoblja u biopsiji limfnog trakta i biopsiji sentinel limfnih čvorova - primer 3

Limfoscintigrafija, pronalaženje limfe, biopsija sentinelnih čvorova, transport uzorka, radiologija uzorka i naknadna patološka analiza tkiva dovode do značajne izloženosti ionizujućem zračenju osoblja koje rukuje uzorkom [12]. Studija [12] je prvenstveno imala za cilj da izmeri izloženost ekstremiteta (ruke) i (celo) telo operacionog hirurga tokom postupka biopsije melanoma i postupaka biopsije sentinel čvorova u dojkama. Sekundarni ciljevi bili su daljnja procena izloženosti radijaciji kroz čitav postupak za radiologiju, patologiju i pomoćno osoblje [12].

Pri korišćenju ^{99m}Tc koloida kao radioobeleživača pri detekciji karcionoma dojke, pacijenti prime efektivnu dozu od približno $0.3 \mu\text{Sv}$ [12]. Ove vrednosti se mogu uporediti sa efektivnim dozama koje pacijenti prime pri scintigrafiji kostiju, od ^{99m}Tc ($3.6 \mu\text{Sv}$), scintigrafije štitnjače ^{123m}I ($4.4 \mu\text{Sv}$), mamografije ($0.4 \mu\text{Sv}$), rendgenskog snimanja grudnog koša ($0.04 \mu\text{Sv}$), CT grudnog koša ($8.3 \mu\text{Sv}$) ili CT abdomena ($7.2 \mu\text{Sv}$).

9.1 Limfno mapiranje i biopsija sentinel čvora

Za sve studije korišćen je ^{99m}Tc antimov sulfid koloid i 40 MBq je ubrizgano u 4 podeljene doze ili intradermalno oko mesta primarne eksicizije melanoma, ili peri-tumoralno oko primarnog karcinoma dojke [12].

Svim pacijentima je apliciran radioizotop jutro na dan operacije, a kasnije tog dana, u roku od 3-5 sati od primanja radioizotopa, odlazili su u operacionu salu. Profesionalno izloženo osoblje je nosilo lične dozimetre tokom operativnog postupka. Merenja na levom kažiprstu vršena su pomoću prsten dozimetra, a doze za celo telo su merene TLD dozimetrima za celo telo (slika 9.1.)



Slika 9.1. Prsten dozimetar (desno) i dozimetar za celo telo (levo) korišćeni su za merenje izloženosti zračenju [12]

10 Izloženost hirurga zračenju prilikom biopsije sentinelnih limfnih čvorova u Institutu za onkologiju Vojvodine

10.1 Cilj istraživanja

Na osnovu izvršenih proračuna i analize broja aplikovanih doza i operativnih zahvata pacijentkinja sa karcinomom dojke koje su planirane za Sentinel node detekciju limfnog čvora i na osnovu pojedinačnih očitanih primljenih doza pomoću ličnih TLD monitora zračenja za poslednjih pet godina zaposlenih na Klinici za operativnu onkologiju Instituta za onkologiju Vojvodine, potrebno je proceniti i odrediti/izračunati nivo radijacionog opterećenja zaposlenih i na osnovu dostupne literature uporediti ga sa literaturnim podacima radijacionog opterećenja u drugim ustanovama. Istovremeno će se na osnovu dobijenih računskih rezultata i aktuelne prakse rada napraviti osvrt o načinima radijacione zaštite medicinskog osoblja.

10.2 Metodologija

Metodologija ove retrospektivne studije obuhvata analizu i računske operacije proistekle iz podataka dobijenih iz bolničkog informacionog sistema o broju i aplikovanim dozama ^{99m}Tc obeleženog koloida antimon sulfida (Sb_2S_3) apliciranog pacijentkinjama planiranim za ovu vrstu operativnog lečenja, i očitanih personalnih doza TLD zaposlenih radnika Instituta za onkologiju Vojvodine koji su uključeni u rad sa ovim pacijentkinjama.

Osoblje koje radi sa Sentinel node biopsijom/ operativnom tehnikom u Institutu za onkologiju Vojvodine su:

- hemičar centra nuklearne medicine, priprema doze za aplikaciju
- onkološki hirurg aplikuje- ubrizgava doze pacijetkinjama (oko tumora) i nakon toga (nakon 1-3 h) pacijentkinje idu u operacionu salu.

Onkološki hirurzi imaju praksu da na dan operacije apliciraju dozu, dnevno iniciraju od jedne do tri pacijentkinje, kao i da jedan hirurg aplicira sve pacijetkinje tog dana, što je izuzetak, a ne pravilo.

U ovom radu biće prikazana izloženost jonizujućem zračenju onkoloških hirurga, koji su klasifikovani u kategoriji B, to jest lica koja profesionalno rade u nadgledanoj zoni ili povremeno u kontrolisanoj zoni i za koja je efektivna doza koju primaju ispod 6 mSv godišnje.

• **Priprema radiofarmaceutika**

Prilikom korišćenja, i celokupne pripreme radiofarmaceutika mora se svesti kontaminacija na minimum. Vremenski interval prilikom rada sa radioaktivnim materijalom mora da bude što kraće.

Prilikom pripreme farmaceutika neophodno je pridržavati se sledećih pravila:

- kompletna priprema se obavlja iza zaštite (olovni zid ili olovno staklo),
- rukavice za jednokratnu upotrebu i mantili se nose sve vreme,
- rukavice se menjaju u redovnim intervalima,
- zaštitne naočare se koriste tokom rada sa opasnim supstancama,
- lični dozimetri se nose sve vreme tokom rada sa radioaktivnim materijalima ili u prostorijama u kojim se oni nalaze,
- pakovanja i kontejneri sa radioaktivnim izotopima se moraju nadgledati pri otvaranju,
- prijem svih radioaktivnih materijala mora biti upisan u registar,
- radioaktivne supstance treba držati u hermetički zatvorenim bočicama u zaštitnim kontejnerima,
- ako se mala količina radioaktivne supstance izlije, treba očistiti što pre,
- ako dođe do većeg izlivanja, potrebno je evakuisati celu oblast,

- ne smeju se dirati kontaktna sočiva i
- ne sme se pipetirati usnama.

U okviru nuklearnomedicinske laboratorije postoji vruća zona, u kojoj se rukuje sa otvorenim izvorima najveće aktivnosti. U njima postoji posebna prostorija za odlaganje radionuklida, radiohemski digestor, sanitarni propusnik i monitor zračenja. Sve prostorije koje koriste zaštitu za bezbednije rukovanje sa radioizotopima pripadaju kompleksu kontrolisane zone [5].

U zavisnosti od broja pacijenata u jednom danu priprema se određena količina pojedinačnih doza. Kako bi se pripremila tačno određena aktivnosti, rastvori se razblažuju. Pripremljene aktivnosti radioizotopa moraju biti pažljivo izračunate i proverene pomoću kalibratora doze.

U Tabelama 10.1. i 10.2 prikazani su rezultati dozimetrijskog ispitivanja ambijentalnog doznog ekvivalenta u prostorijama Centra za Nuklearnu medicinu na Institutu za onkologiju u Sremskoj Kamenici.

- **Sentinel node procedura dojke**

Ukupna doza 364 MBq ^{99m}Tc , pojedinačne doze 0.148 GBq po pacijentu

Radiohemjska laboratorija

Tabela 10.1. Izmerene vrednosti jačine ambijentalnog doznog ekvivalenta u vrućoj laboratoriji

1. Vodeno kupatilo – iza olovnih zaštinih cigala	13.9 $\mu\text{Sv/h}$
- na olovnom staklu	3.6 $\mu\text{Sv/h}$
- ruke (direktan kontakt)	1.5 mSv/h
2. Novo vodeno kupatilo u olovnoj zaštiti	
- uz vodeno kupatilo (olvna zaštita)	7.5 $\mu\text{Sv/h}$
- uz vodeno kupatilo (direktan kontakt- bez poklopca)	46 $\mu\text{Sv/h}$

- uz vodeno kupatilo (direktan kontakt- sa poklopcem)	3.1 $\mu\text{Sv/h}$
3. Izvlačenje u špriceve	
- ruke	1.3 mSv/h
- na olovnom staklu	42 $\mu\text{Sv/h}$
4. Prostorija	0.7 $\mu\text{Sv/h}$
5. Prenošenje do prostorije za iniciranje - ruke	7 $\mu\text{Sv/h}$

Kombinovana merna nesigurnost instrumenta iznosi 20% na nivou poverenja 95% (k=2)

Tabela 10.2.Izmerene vrednosti brzine ekvivalentne doze prilikom iniciranja ^{99m}Tc

Iniciranje

1. Dve pojedinačne doze – direktan kontakt	280 $\mu\text{Sv/h}$
2. Aplikacija – ruke lekara	32 $\mu\text{Sv/h}$
3. Pacijent	7.8 $\mu\text{Sv/h}$

*Kombinovana merna nesigurnost instrumenta iznosi 20% na nivou poverenja 95% (k=2)

Iz dobijenih rezultata zaključujemo da su vrednosti ambijentalnih ekvivalentnih doza višestruko veće u odnosu na fonsku vrednost ($0.12 \mu\text{Sv/h}$), i da se pri pripremi i iniciranju radiofarmaceutika profesionalno izloženo osoblje mora pridržavati svih metoda za zaštitu od zračenja (udaljenost, vreme i apsorberi). Najveća vrednost jačine ambijentalnog doznog ekvivalenta je izmerena na rukama operatera pri izvlačenju radiofarmaceutika u špriceve pri pripremi pojedinačnih doza ^{99m}Tc .

10.3 Rezultati

U Tabeli 10.3. je prikazan ukupan broj pacijentkinja po godinama koje su podvrgnute Sentinel node biopsiji i kojima je aplikovan radioizotop ^{99m}Tc .

Tabela 10.3. Broj aplikacija u periodu od 2016-2020 godine prilikom operacije Sentinel node biopsije

godina	Broj aplikacija
2016	417
2017	373
2018	511
2019	468
2020	292

Podaci o efektivnim ekvivalentima doze na osnovu očitanih TLD dozimetara koje je primilo profesionalno izloženo osoblje pri izvođenju Sentinel node biopsijama dojke prikazani su u Tabeli 10.4 za period od januara 2015 do marta 2019. godine.

Tabela 10.4. Efektivni ekvivalent doze u periodu od marta 2015 do marta 2019. godine za profesionalno izloženo osoblje

Izloženo lice	H (mSv)			Ukupno H (mSv)
	\sum 2015 – 2016	2017	2018/2019 mart	
Hirurg broj 1.	1.14 \pm 0.11	0.75 \pm 0.08	0.85 \pm 0.08	2.74 \pm 0.27
Hirurg broj 2.	1.08 \pm 0.10	0.95 \pm 0.09	1.11 \pm 0.10	3.14 \pm 0.29
Hirurg broj 3.	0.96 \pm 0.09	0.80 \pm 0.08	0.87 \pm 0.09	2.63 \pm 0.26
Hirurg broj 4.		0.72 \pm 0.08	0.84 \pm 0.08	1.56 \pm 0.16
Hirurg broj 5.		0.78 \pm 0.08	0.84 \pm 0.08	1.62 \pm 0.16
Hirurg broj 6.			0.57 \pm 0.06	0.57 \pm 0.06

Hirurg broj 7.		0.79±0.08	0.85±0.08	1.64±0.16
Hirurg broj 8.		1.15±0.08	0.83±0.08	1.98±0.16
Hirurg broj 9.		0.80±0.08	0.86±0.09	1.66±0.17
Hirurg broj 10.		0.72±0.07	0.82±0.08	1.54±0.15
Hirurg broj 11.		0.17±0.02	0.38±0.04	0.55±0.06
Hirurg broj 12.		0.17±0.02	0.56±0.06	0.73±0.08
Hirurg broj 13.		0.70±0.07	0.80±0.08	1.50±0.15
Hirurg broj 14.		0.73±0.07	0.78±0.08	1.51±0.15
Hirurg broj 15.		0.71±0.07	0.78±0.08	1.49±0.15
Hirurg broj 16.		0.70±0.07	0.77±0.08	1.47±0.15

U tabeli 10.5. prikazani su rezultati očitavanja TLD dozimetara za hirurge koji su aplicirali radiofarmaceutik za operaciju Sentinel node biopsiju dojke u periodu od marta 2019 do decembra 2019.

Tabela 10.5. Efektivni ekvivalent doze u periodu od marta 2019 do decembra 2019 za profesionalno izloženo osoblje

Izloženo lice	H (mSv)				Ukupno H (mSv)
	III-V	VI-VIII	IX-XI	XII-II	
Hirurg broj 1.	0.21±0.05	0.20±0.02	0.21±0.02		0.62±0.09
Hirurg broj 2.	0.25±0.06	0.23±0.04	0.21±0.02		0.69±0.12
Hirurg broj 3.	0.23±0.02	0.20±0.02	0.21±0.02		0.64±0.06
Hirurg broj 4.	0.21±0.02	0.19±0.01	0.19±0.01		0.59±0.04
Hirurg broj 5.	0.22±0.02	0.21±0.02	0.23±0.03		0.66±0.07
Hirurg broj 6.	0.22±0.04	0.20±0.02	0.20±0.02		0.62±0.08
Hirurg broj 7.	0.22±0.2	0.21±0.02			0.43±0.04

Hirurg broj 8.	0.23±0.03	0.21±0.02	0.24±0.03		0.68±0.10
Hirurg broj 9.	0.21±0.03	0.20±0.02	0.22±0.03		0.63±0.08
Hirurg broj 10.	0.23±0.03	0.20±0.02	0.22±0.02		0.65±0.06
Hirurg broj 11.	0.21±0.02	0.20±0.02	0.21±0.02		0.62±0.06
Hirurg broj 12.	0.20±0.02	0.19±0.01	0.21±0.02		0.60±0.05
Hirurg broj 13.	0.21±0.02	0.20±0.02	0.20±0.02		0.61±0.06
Hirurg broj 14.	0.21±0.02	0.20±0.02	0.24±0.03		0.65±0.07
Hirurg broj 15.	0.21±0.02	0.19±0.01	0.20±0.02		0.60±0.05
Hirurg broj 16.	0.20±0.02	0.20±0.02	0.19±0.01		0.59±0.05
Hirurg broj 17.	0.20±0.02	0.20±0.02	0.19±0.01		0.59±0.05
Hirurg broj 18.	0.20±0.02	0.19±0.01	0.20±0.02		0.59±0.05
Hirurg broj 19.	0.20±0.02	0.21±0.02	0.20±0.02		0.61±0.06
Hirurg broj 20.	0.20±0.02	0.17±0.01	0.19±0.01		0.56±0.04

U tabeli 10.6. prikazani su rezultati efektivnih ekvivalentnata doze za hirurge koji su aplicirali radiofarmaceutik za operaciju Sentinel node biopsiju dojke martu i junu 2020 godine.

Tabela 10.6. Efektivna ekvivalentna doza u martu i junu za profesionalno izloženo osoblje

Izloženo lice	H (mSv)		Ukupno H (mSv)
	mart	jun	
Hirurg broj 1.	0.19±0.02	0.20±0.02	0.39±0.04
Hirurg broj 2.	0.20±0.02	0.19±0.02	0.39±0.04
Hirurg broj 3.	0.18±0.02	0.21±0.02	0.39±0.04

Hirurg broj 4.	0.19±0.02	0.19±0.02	0.38±0.04
Hirurg broj 5.	0.19±0.02	0.20±0.02	0.39±0.04
Hirurg broj 6.	0.21±0.02	0.19±0.02	0.39±0.04
Hirurg broj 8.	0.20±0.02	0.22±0.02	0.42±0.04
Hirurg broj 9.	0.20±0.02	0.21±0.02	0.41±0.04
Hirurg broj 10.	0.20±0.02	0.21±0.02	0.41±0.04
Hirurg broj 11.	0.20±0.02	0.20±0.02	0.40±0.04
Hirurg broj 12.	0.19±0.02	0.20±0.02	0.39±0.04
Hirurg broj 13.	0.21±0.02	0.20±0.02	0.41±0.04
Hirurg broj 14.	0.19±0.02	0.21±0.02	0.40±0.04
Hirurg broj 15.	0.23±0.02	0.18±0.02	0.41±0.04
Hirurg broj 16.	0.19±0.02	0.18±0.02	0.37±0.04
Hirurg broj 18.	0.19±0.02	0.19±0.02	0.38±0.04
Hirurg broj 19.	0.18±0.02	0.20±0.02	0.38±0.04
Hirurg broj 20.	0.20±0.02	0.18±0.02	0.38±0.04

Iz dobijenih rezultata može se zaključiti da su sva profesionalno izložena lica primila efektivni ekvivalent doze manji od 20 mSv, što je zakonom maksimalno dozvoljena vrednost za profesionalno izloženo osoblje.

Profesionalno izloženo osoblje koje radi Sentinel node biopsiju u Zavodu za nuklearnu medicinu Instituta za onkologiju Vojvodine prima efektivne doze zračenja koje su uporedive sa podacima prikazanim u studijama [11] i [12].

11 Zaključak

Profesionalno izloženo osoblje zaposleno u Centru za nuklearnu medicinu mora da bude upoznato sa sprovođenjem propisanih mera zaštite od jonizujućeg zračenja po osnovu aktivnosti koje se sprovode sa radioaktivnim izotopima. Svi zaposleni koji imaju kontakt sa jonizujućim zračenjem obavezni su da nose lične dozimetre i da budu upoznati sa mehanizmom interakcije jonizujućeg zračenja i materije, osnovnim dozimetrijskim veličinama, merama zaštite od jonizujućeg zračenja i zakonskom regulativom vezanom za oblast primene jonizujućih zračenja u nuklearnoj medicini. Ustanova je obavezna da zaposlenimima obezbedi periodičnu obnovu znanja profesionalno izloženih lica iz oblasti zaštite od jonizujućeg zračenja.

U prostorije Centra za nuklearnu medicinu dozvoljeno je ulaz samo profesionalno zaposlenom osoblju i pacijentima kojima se inicira radiofarmaceutik zbog dijagnostike ili terapije.

Prema zakonskoj regulativi, preporuke 2007 Međunarodne komisije za zaštitu od zračenja, Publikacija broj 103 (*The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103*), radijacione sigurnosti profesionalno izloženih lica klasificuje se da umerena procenjena godišnja efektivna doza veća od 1 mSv.

Iz priloženog, na osnovu vrednosti efektivnih ekvivalenata doze dobijenih očitavanjem TLD dozimetara, može se zaključiti da onkološki hirurzi na Institutu onkologije Vojvodine, Sremaska Kamenica, godišnje prime u proseku oko 0.80mSv.

12 Literatura

- [1] Ina Kovać, Optimizacija zaštite u mamografiji, Master rad, PMF Novi Sad, 2017.
- [2] M. Krmar, Uvod u nuklearnu fiziku, PMF Novi Sad, 2013
- [3] Čašid, Đurđija i saradnici, Skripta za polaznike Obuke za rad sa otvorenim izvorima ionizujudeg zračenja, Vinča, 2013.
- [4] Jelena Samac, Određivanje doze za pacijente u nuklearnoj medicine, Master rad, PMF Novi Sad, 2013.
- [5] Dragana Marić, Procena radijacionog rizika za profesionalno izloženo osoblje pri radu sa ^{99m}Tc i ^{131}I , Diplomski rad, PMF Novi Sad, 2016.
- [6] Sharp, P. Gemmell, H. Practical Nuclear Medicine, Springer, 2005.
- [7] N. Todorović, Skripta iz predmeta Zaštita od ionizujućeg zračenja i dozimetrija
- [8] Pravilnik o granicama izlaganja ionizujućim zračenjima i merenjima radi procene nivoa izlaganja ionizujućim zračenima, "Sl. Glasnik RS", br. 86/2011 i 50/2018
- [9] Elma Kučukalić-Selimović, Amra Skopljak-Beganović, Nermina Bešlić, Amela Begić, Sadžida Begović-Hadžimuratović, Zdenka Dražeta, Lymphoscintigraphy and Radiation – Occupational Exposure During Sentinel Node Assay. BJBMS VOL. 6 NO. 4 (2006).
- [10] Milan Višnjić, Predrag Kovačević, Goran Đorđević, Biopsija sentinel limfnog čvora kod karcinoma dojke, Volumen 66, Broj 3, et al. Vojnosanit Pregl, 2009.
- [11] M. Najafi, H.A. Nedaie, A. Lahooti, R. Omranipour, N. Nafissi, M.E. Akbari, A. Olfatbakhsh, A. Kaviani, N. Alavi, Radiation exposure of the surgeons in sentinel lymph node biopsy, Iran. J. Radiat. Res., 2012; 10(1): 53-57

[12] Coventry BJ1, Collins PJ3, Kollias J1, Bochner M1, Rodgers N4, Gill PG1, Chatterton BE3 and Farshid G4, Ensuring Radiation Safety to Staff in Lymphatic Tracing and Sentinel Lymph Node Biopsy Surgery – Some Recommendations, Coventry et al., J Nucl Med Radiat Ther 2012, S:2

13 Kratka biografija



Jelena Klać, rođena 10.10.1989. u Bačkoj Topoli.

Završila Osnovnu školu „Nikola Đurković“ u Feketiću, nakon koje upisuje gimnaziju „Žarko Zrenjanin“ u Vrbasu , društveno-jezički smer.

Nakon završene gimnazije upisuje medicinsku fiziku na Prirodno-matematičkom fakultetu u Novom Sadu. Diplomirala je 2017. godine.

Nakon diplomiranja se udala i zaposlila. Trenutno radi kao nastavnik fizike u Osnovnoj školi „Đura Jakšić“, u Kaću.

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije: Monografska dokumentacija

TD

Tip zapisa: Tekstualni štampani materijal

TZ

Vrsta rada: Master rad

VR

Autor: Jelena Klać

AU

Mentor: Prof. dr Nataša Todorović

MN

Naslov rada: Radijaciono opterećenje i zaštita medicinskog osoblja koje radi sa Sentinel node biopsija/operativnom tehnikom

NR

Jezik publikacije: srpski

JP

Jezik izvoda: srpski/engleski

JI

Zemlja publikovanja: Srbija

ZP

Uže geografsko područje: Vojvodina

UGP

Godina: 2020

GO

Izdavač: Autorski reprint

IZ

Mesto I adresa: Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

MA

Fizički opis rada: 13 poglavlja/56 stranica/12 tabela/ 10 slika

FO

Naučna oblast: Nuklearna medicina

NO

Naučna disciplina: Medicinska fizika

ND

Predmetna odrednica/ključne reči: Nuklearna medicina, lična dozimetrija, zaštita od jonizujućeg zračenja

PO

Čuva se: Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

ČU

Jelena Klać

Važna napomena: nema

VN

Izvod: Procena izloženosti zračenju medicinskog osoblja koji rade Sentilen node biopsiju/operativnu tehniku na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici

IZ

Datum prihvatanja teme od NN veća: Oktobar, 2020

DP

Datum odbrane: Oktobar, 2020

DO

Članovi komisije:

KO

Predsednik	Dr. Olivera Klisurić
Mentor	Dr. Nataša Todorović
Mentor	Dr. Silvija Lučić
Član	Dr. Nikola Jovančević

UNIVERSITY OF NOVI SAD

FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type: Monograph publication

DT

Type of record: Textual printed material

TR

Content code: Master's thesis

CC

Author: Jelena Klać

AU

Mentor/comentor: Nataša Todorović, Ph.D.

MN

Title: Radiation exposure and Protection of Medical Staff by Sentinel node biopsy/ Operation technique

TI

Language of text: Serbian

LT

Language of abstract: English

LA

Country of publication: Serbia

CP

Locality of publication: Vojvodina

LP

Publication year: 2020

PY

Publisher: Author's reprint

PU

Publication place: Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

PP

Physical description: 13 chapters / 56 pages / 12 tables / 10 pictures

PD

Scientific field: Nuclear Medicine

SF

Scientific discipline: Medical physics

SD

Subject/Key words: Nuclear medicine, personal dosimetry, ionizing radiation protection

SKW

Holding data Library of Department of Physics, Faculty of Science and Mathematics, University of Novi Sad

Note: none

N

Abstract:

Radiation exposure assessment of medical staff performing Sentilen node biopsy/ operative technique at the Institute of Oncology of Vojvodina in Sremska Kamenica.

AB

Accepted by the Scientific Board: October, 2020

ASB

Defended on: October, 2020

DE

Thesis defend board:

DB

Presiden: Dr. Olivera Klisurić

Mentor: Dr. Nataša Todorović

Mentor: Dr. Silvija Lučić

Member: Dr. Nikola Jovančević