

Radijacijsko opterećenje radioloških tehnologa u nuklearno medicinskoj dijagnostici

Zubanović, Petra

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split / Sveučilište u Splitu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:176:498375>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**



Sveučilišni odjel zdravstvenih studija
SVEUČILIŠTE U SPLITU

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University Department for Health Studies, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

SVEUČILIŠTE U SPLITU

Podružnica

SVEUČILIŠNI ODJEL ZDRAVSTVENIH STUDIJA

PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ

RADIOLOŠKA TEHNOLOGIJA

Petra Zubanović

**RADIJACIJSKO OPTEREĆENJE RADIOLOŠKIH
TEHNOLOGA U NUKLEARNO MEDICINSKOJ
DIJAGNOSTICI**

**RADIATION LOAD OF RADIOLOGIC TECHNOLOGISTS
IN NUCLEAR MEDICINE DIAGNOSTICS**

Završni rad / Bachelor thesis

Mentor:

Mr.sc. Darijo Radović, dr. med. viši predavač

Split, 2015.

SADRŽAJ

1. Uvod.....	4
1.1. Najčešće korišteni uređaji u nuklearno medicinskoj dijagnostici	5
1.1.1. Radionuklidni generator	5
1.1.2. Gama kamera	6
1.1.3. SPECT	12
1.2. Najčešće pretrage u klasičnoj nuklearno medicinskoj dijagnostici	13
1.2.1. Scintigrafija kosti (skeleta)	13
1.2.2. Scintigrafija štitnjače	15
1.2.3. Scintigrafija žlijezda slinovnica	15
1.2.4. Perfuzijska scintigrafija miokarda.....	16
1.2.5. Scintigrafija paratireoidnih žlijezda	18
1.2.6. Denzitometrija kosti	18
1.2.7. Scintigrafija bubrega	19
1.2.8. Radionuklidna cistografija.....	21
1.2.9. Radionuklidna angiokardiografija.....	22
1.2.10. Scintigrafija cijelog tijela jodom 131	22
1.2.11. Scintigrafija NET-tumora Tc-99m octreotidom	23
1.2.12. Scintigrafija hemangioma	23
1.3. Dozimetrija.....	24
1.4. Zaštita od zračenja	26
1.5. Organizacija rada na Kliničkom zavodu za nuklearnu medicinu KBC Split.....	28
2. CILJ RADA	29
3. IZVORI PODATAKA I METODE	30
4. REZULTATI	31

5. RASPRAVA.....	37
6. ZAKLJUČAK.....	40
7. SAŽETAK.....	41
8. SUMMARY.....	42
9. LITERATURA	43
10. ŽIVOTOPIS.....	44

1. Uvod

Za razvoj nuklearne medicine od velikog značaja bio je razvoj teorije o atomskoj strukturi tvari. Početak nuklearne fizike vezuje se uz otkriće prirodne radioaktivnosti Henria Becquerela (čija se otkrića temelje na spoznajama Wilhelma Conrada Röntgena) 1896. godine, kada je otkrio da vjerojatno ruda urana emitira zračenje koje uzrokuje misterioznu auru, zacrnjenje fotografske ploče. Ocem nuklearne medicine smatramo Georga von Hevesey-a. On je 1923. upotrijebio radioaktivno olovo da bi ispitao metabolizam olova u biljkama, čime je pokazao da se radioaktivni atomi mogu iskoristiti kao obilježivači stabilnih atoma istog elementa. U Hrvatskoj se početkom nuklearne medicine uzima datum 1. srpnja 1959. kada je Vijeće medicinskog fakulteta u Zagrebu donijelo odluku da u sastavu Interne klinike na Rebru osnuje Radioizotopni odjel. Kasnije su osnovani ostali odjeli za nuklearnu medicinu u Hrvatskoj pa je tako 1966. u splitskoj bolnici osnovan radioizotopni odsjek pri odjelu za interne bolesti, danas Klinički zavod za nuklearnu medicinu gdje je provedeno istraživanje za ovaj rad. Radioaktivnu tvar dobivamo kemijskim reakcijama spajanja farmaka i radionuklida u molekule koje nazivamo radiofarmakom ili radioindikatorom. Nuklearnu medicinu definiramo kao medicinsku specijalnost koja koristi u tijelo unesene radioaktivne tvari, radioizotope radi dijagnostike i liječenja bolesti. Kao takve možemo ih injicirati intravenski ili peroralno te snimiti specijalnim detektorima smještenim u aparatu koji zovemo gama kamera (1).

1.1. Najčešće korišteni uređaji u nuklearno medicinskoj dijagnostici

U nuklearnoj medicini radioaktivnost mjerimo u dvije svrhe; određivanje koncentracije radionuklida i snimanje rasporeda radionuklida u tijelu. Nakupljanje radionuklida u dijelu tijela određeno je isključivo kemijskim i fizičkim svojstvima molekule (nosača) koja je obilježena radioaktivnim izotopom. Slika koju dobivamo odraz je fiziološke funkcije, stvorena gama fotonima čiji je izvor u tijelu pacijenta.

1.1.1. Radionuklidni generator

Za dijagnostičke potrebe najčešće korišteni izotop je Tc99m koji se na odjelu dobiva iz Tc-99m generatora. Generator se sastoji od staklene kolone s aluminij-oksidirom, na kojemu se apsorbira Mo-99m-molibdat, te se ispiranjem (eluiranjem) kolone fiziološkom otopinom obavlja odvajanje Tc-99m od matičnog radionuklida. Eluat sadrži Tc-99m-pertehnetat koji se u tom obliku rabi kao Tc-99m radiofarmak ili služi kao polazni spoj za sintezu ostalih Tc-99m radiofarmaka. Generator se prema potrebi eluira 1 – 2 puta dnevno. Dobivena aktivnost je funkcija vremena koje je proteklo između dva eluiranja. Korištenje generatora vezano je uz vrijeme poluraspada radionuklida roditelja. Roditelj Mo-99 ima vrijeme poluraspada od 66 sati, te se Mo-99/Tc-99m radionuklidni generator može rabiti 14 i više dana (6).

Dobiveni Tc99m u obliku Tc99m pertehnetata se koristi u dijagnostičke svrhe u obliku pertehnetata ili u sintezi s drugim farmacima specifičnim za pojedino tkivo ili organ tj. Metabolički proces:

reducirani Tc-99m + kompleksirajući agens → Tc-99m-kompleks

1.1.2. Gama kamera

Gama kamera je osnovni uređaj u dijagnostičkoj nuklearnoj medicini. To je poseban oblik scintilacijskog detektora za detekciju fotona koji dolaze iz tijela bolesnika. Gama kamerom se dobiva prikaz - slika - raspodjele izvora zračenja (radiofarmaka) u tijelu bolesnika. Dobiveni prikaz naziva se scintigram, a postupak dobivanja scintigrama je scintigrafija (4).

1.1.2.1. Osnovni dijelovi gama kamere

Osnovni dijelovi gama kamere jesu: kućište, stol za bolesnika, detektor, kolimator; upravljačka radna stanica i radna stanica za prikaz, obradu i pohranu snimljenih pretraga (4).

1. Kućište gama kamere (gantry):

Kućište gama kamere drži detektore (glave) gama kamere i stol u zajedničkoj cjelini koja omogućuje pomicanje detektora i stola na takav način da se pomoću uređaja provode sve vrste pretraga u nuklearnoj medicini (4).

2. Stol:

Stol gama kamere tvori površina na kojoj leži ispitanik. Ploha na kojoj bolesnik leži je pomična i omogućava da ispitanikovo tijelo prolazi ispod glave gama kamere u određenom pomaku i u određenom vremenskom intervalu što omogućava snimanje scintigrama cijelog tijela. Konstrukcija stola omogućava da detektor gama kamere kruži oko bolesnika što omogućava snimanje emisijske kompjutorizirane tomografije (SPECT) (4).

3. Kolimator:

Kolimator je olovna ploča s sitnim otvorima, različite debljine septa. Njegov osnovni cilj je ograničiti osjetljivost kristala samo na područje tijela direktno ispod njega. Konstrukcija ovisi o zahtjevima same pretrage i rezultat je kompromisa između osjetljivosti (*engl. sensitivity*) i rezolucije (*engl. resolution*). Kolimatori se razlikuju

prema energiji gama fotona za koji se koriste (debljina septa), prema usmjerenosti i broju otvora. Prema energijama fotona dijele se na: niskoenergetske, srednjeenergetske, visokoenergetske i vrlo visokoenergetske kolimatore (3).

Tablica 1. Podjela kolimatora ovisno o energiji fotona.

TIP KOLIMATORA	Max. ENERGIJA (keV)	Debljina septa (mm)	Radiofarmak
Niskoenergetski	140-200	0,2-0,3	Tc99m, TI201, J-124
Srednjeenergetski	300	1,2-1,4	Ga-67, In-111
Visokoenergetski	360-560	1,3-3,0	J-131
vrlo visokoenergetski	511	3,0-4,0	Pozitronski emiteri

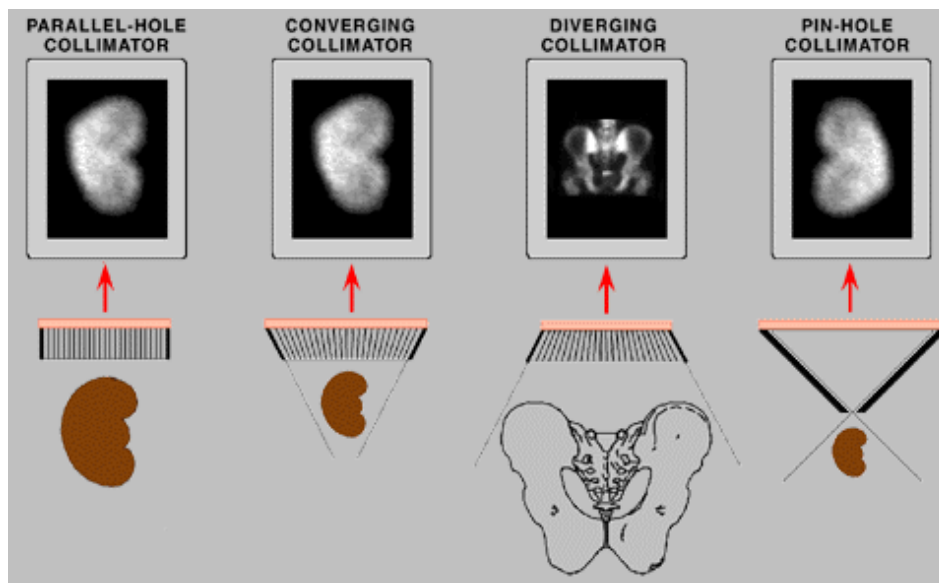
Prema broju i smjeru otvora mogu biti paralelni, pin hole, konvergentni i divergentni kolimatori.

Paralelni - slika objekta je jednaka veličini objekta, najčešći u primjeni. Povećavanjem udaljenosti smanjuje se rezolucija, uz zadržavanje osjetljivosti.

Pin hole - ima jedan otvor (3-5 mm). Koristi se za snimanje manjih volumena. Djeluje po principu "camere obscure" (nastala slika je uvećana i zrcalna). Povećava rezoluciju, ali uz potencijalnu cijenu distorzije slike zbog paralakse (*grč. παράλλαξις*: promjena, odstupanje; prividan pomak tijela opažan iz dvaju različitih smjerova). Distorzija je veća na malim udaljenostima od objekta. Povećanjem udaljenosti objekta od detektora smanjuje se uvećanje slike, rezolucija i posebno brzina izbroja.

Divergentni - slika objekta je manja koristi se za objekte veće od veličine kristala. Sve rjeđe u upotrebi.

Konvergentni - slika objekta je veća koristi se za manje organe (3).



Slika 2. Prikaz vrsta kolimatora ovisno o usmjerenosti i broju otvora
(Izvor: Dhawan AP, Huang HK, Kim DS. Principles and advanced methods in medical imaging and image analysis. New Yersay. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd (2008))

Na kolimator se nastavlja scintilator i fotomultiplikatorska cijev koji zajedno predstavljaju osnovne dijelove scintilacijskog detektora (2).

4. Detektor gama kamere:

Detektor (glava) gama kamere smješten je u kućište. Kućište ima otvor u kojem je smješten kristal detektora. Kolimator se postavlja ispred kristala detektora, a pričvršćuje se za kućište detektora. Kućište detektora omogućava pomake detektora u raznim smjerovima, pruža zaštitu detektora od udaraca, osnovnog ionizirajućeg zračenja i vidljive svjetlosti.

Sastavni dijelovi detektora jesu: - scintilacijski kristal, - fotomultiplikatorske cijevi i - elektroničke komponente detektora (predpojačalo, pojačalo, pulsno-aritmetički elektronički krugovi, analizator visine impulsa) (4).

Scintilacijski kristal:

Kristal mora efikasno zaustavljati fotone, efikasno pretvarati energije ionizacijskog fotona u energiju svjetla, imati kratko vrijeme ekscitacije, mora biti transparentan za svjetlosni foton kojeg stvara te biti čvrst i otporan na vlagu. Stoga nam je potreban masivan detektor visokog atomskog broja.

Najčešće korišten detektor gama zraka je upravo zato kristal natrij-jodida s dodatkom 5% talij-jodida. On ima veliku osjetljivost detekcije gama zrake, zbog velike gustoće i visokog atomskog broja joda. Učinkovitost konverzije energije gama zrake u svjetlost mu je oko 10 %. Kratko vrijeme pojedinačne scintilacije omogućava da se bez gušenja registriraju visoki izbroji. Nedostatci ovog kristala su laka lomljivost i hidroskopsnost (3).

Fotomultiplikatorska cijev:

Ona radi na fizikalnim principima fotoelektričnog učinka i sekundarne emisije elektrona. Na fotokatodi fotomultiplikatorske cijevi fotoni vidljive svjetlosti izbacuju elektrone sa površine katode (fotoelektrični učinak). Izbačeni fotoelektroni kreću se ka prvoj od serije pozitivno nabijenih elektroda (dinoda). Niz dinoda umnažaju početni fotoelektron ali uvijek proporcionalno.

Kada je potencijalna razlika dovoljno velika, elektron u električnom polju dobiva dovoljnu energiju da u interakciji sa slobodnim elektronima iz vodljivog sloja dinode izbaci dva ili više elektrona, koji se nastavljaju gibati prema sljedećoj dinodi, te se taj proces nastavlja (2).

Elektroničke komponente detektora:

Predpojačalo služi za pojačanje relativno niskih izlaznih signala iz fotomultiplikatora, za usklađivanje impedancije između detektora i glavnog pojačala, te za oblikovanje signala za daljnju obradu. Važno je da predpojačalo fizički bude smješteno što bliže detektoru kako ne bi došlo do dodatnog slabljenja signala zbog gubitaka u kablovima.

Pojačalo služi za povećanje amplitude signala za preoblikovanje asimetričnih ulaznih signala u simetrične i sprječavanje "pileup" efekta odnosno nagomilavanja

impulsa. Svi fotomultiplikatori moraju imati prilagođena pojačanja kako bi odziv detektora na homogeni ravni izvor zračenja bio jednolik (uniforman).

Visine elektronskih impulsa svih fotomultiplikatora obrađuju se u pulsno-aritmetičkim sklopovima što omogućava izračunavanje X i Y koordinate interakcije pojedine gama zrake s kristalom. Impulsi iz svih fotomultiplikatora se zbrajaju u zajednički "Z" impuls koji se analizira u analizatoru visine impulsa. Veličina Z-impulsa proporcionalna je energiji detektirane gama-zrake (4).

5. Upravljačka konzola

Upravljačka konzola je radna stanica na kojoj su instalirani programi koji omogućavaju podešavanje gama kamere za rad s različitim energijama gama zraka, programi za upravljanje pokretima detektora gama kamere i stola bolesnika kod izvođenja različitih pretraga, te programi za odabir načina sakupljanja podataka iz gama kamere u memoriju elektroničkog računala. Memorija računala u kojoj se pohranjuju detektirani impulsi predstavlja izlaznu jedinicu (4).

1.1.2.2. Stvaranje nuklearno medicinske slike

Ispitanik je primio radiofarmak, nakon aplikacije radiofarmak se nakuplja u određenom organu ili tkivu. Gama-zrake iz organa odašilju se u svim smjerovima. Pet je mogućih događaja s gama fotonom. Od tih pet mogućih događaja samo se dva događaja registriraju (na slici 3: foton 4 i 5).

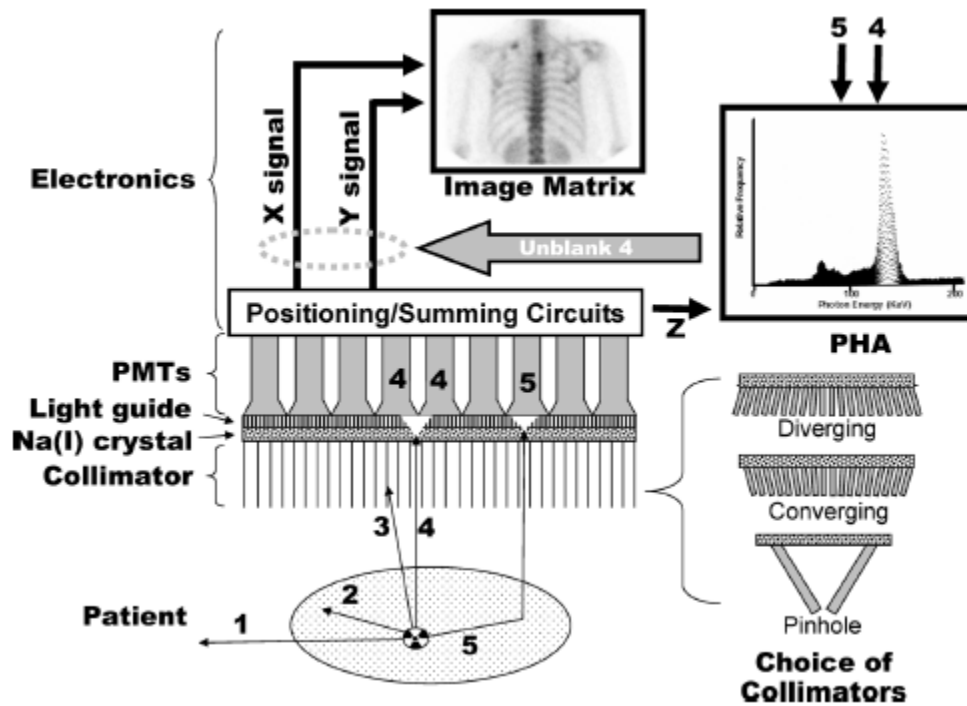
Foton 1: izlazi iz objekta (pacijenta) ali ne u smjeru detektora.

Foton 2: apsorbira se u tijelu pacijenta.

Foton 3: ide u smjeru detektora, ali se apsorbira u septama kolimatora.

Foton 4: prolazi kroz septu, u kristalu izaziva scintilaciju koju registriraju fotomultiplikatorske cijevi.

Foton 5: raspršio se u tijelu pacijenta, raspršeni foton je dosegao kristal i izazvao scintilaciju (3).



Slika 3. Prikaz mogućih događaja s fotonom

(Izvor: Dhawan AP, Huang HK, Kim DS. Principles and advanced methods in medical imaging and image analysis. New Yersay. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd (2008)

U kristalu natrijeva jodida (aktiviranog talijem) ionizacija dovodi do scintilacije koja se na gore opisani način u detektoru pretvori u impuls koji nosi informaciju o: - X i Y koordinati interakcije gama zrake s kristalom i - energiji gama zrake zaustavljenoj u kristalu. Te dvije informacije omogućavaju da se pomoću analogno-digitalnog konvertera u memoriji izlazne jedinice organizirane u matrice zabilježi impuls u pikselu koji odgovara ishodišnoj X i Y koordinati interakcije gama zrake s kristalom. Cijeli taj postupak ponavlja za nekoliko stotina tisuća gama zraka koje dolaze iz bolesnika. Na taj se način stvori scintigram, tj. slika prikaza distribucije radiofarmaka u organu. Budući

da se radi o digitalnim podacima izravno se koriste programi za prikaz i obradu scintigrama i programi za kvantitativnu analizu pretraga (4).

1.1.2.3. Izlazni signal

Položaj signala na displeju određen je x i y koordinatama. Fotomultiplikatorske cijevi su povezane na način da njihov položaj pokriva x odnosno y kvadrante u polju. Scintilacijski fotoni različitim intenzitetom podražavaju različito smještene fotomultiplikatorke te se na taj način razlikuje i položaj scintilacije u kristalu. To se postiže povezivanjem fotomultiplikatorskih cijevi u električne krugove ovisno o tome da li su "odgovorni" za x (+ili -) ili y (+ili-) poziciju.

Poseban električni krug u koji su povezane fotomultiplikatorke a koji je odgovoran za visinu pulsa daje Z signal. Elektronski krug za Z signal generira puls koji je proporcionalan optičkoj energiji scintilacije a ista je proporcionalna energiji y fotona. On je povezan s analizatorom visine pulseva PHA (*engl. pulse height analyzer*) gdje se provodi "energijsko" razlučivanje, tj. samo pulsevi unaprijed određene energije se prihvataju dok se ostali odbacuju. Konačna slika gama kamere može biti analogna i digitalna. Analogna slika nastaje na način da se umjesto scintilacije projicira na zaslon katodnog osciloskopa i tako osvijetli fotografski film. Digitalna slika nastaje kada scintigram prikažemo tablicom brojeva na način da se pozicija i učestalost scintilacija pohrani u memoriju uređaja u obliku matrice (64x64,128x128) (3).

1.1.3. SPECT

SPECT je jednofotonska emisiska računalna tomografija. U SPECT-u gama kamera rotira oko tijela bolesnika, dobivamo scintigrame u obliku slojeva. Izdvajanje presjeka nam omogućava snimanje iz više kutova odnosno trodimenzionalno oslikavanje. Kontrast se povećava eliminacijom aktivnosti preklapajućih struktura, uz poboljšanje anatomske lokalizacije. Teoretski dovoljno je kruženje kamere oko pacijenta od 180 stupnjeva da se dobije trodimenzionalna slika. Koriste se uglavnom

dvoglave kamere (kamere s dva detektora) radi skraćivanja vremena akvizicije. Parametri koji se moraju zadati na akvizicijskoj radnoj stanici su: 1 veličina matrice, 2 broj matrica (frame-ova), ovisan o stupnjevima pomaka po orbiti, 3 povećanje (zoom: da ili ne), 4 vrijeme snimanja pojedinog frame-a, 5 oblik orbite. Postavljanje detektora pod kutom od 90 stupnjeva i rotacijom od 90 stupnjeva ispunjava se uvjet rotacije od 180 stupnjeva za kardiološke studije. No punom rotacijom od 360 stupnjeva, tj. rotacijom jedne glave od 180 stupnjeva, dobije se kvalitetnija slika zbog smanjivanja prigušenja udaljenijih lezija. Računalo rekonstruira slike presjeka tijela te tomogram nastaje matematičkom analizom stotinjak scintigrama. Najpoznatiji i najčešće upotrebljavani algoritam obrade podataka: FBP- Filtered Back Projection. Dodatna prednost SPECT-a je hibridno oslikavanje (prikaz anatomskih detalja i povezivanje morfologije i funkcije) (3).

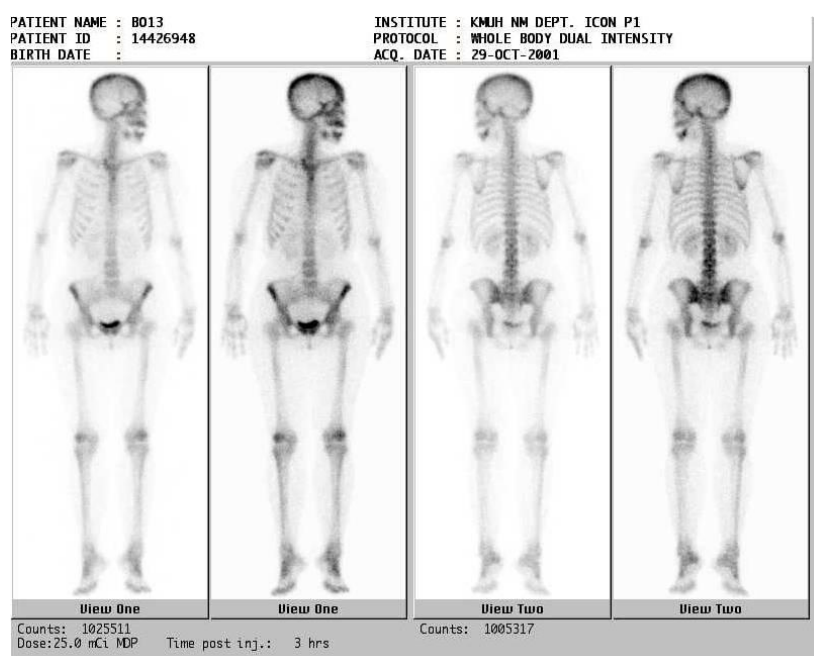
1.2. Najčešće pretrage u klasičnoj nuklearno medicinskoj dijagnostici

1.2.1. Scintigrafija kosti (skeleta)

Scintigrafija skeleta to jest svih kostiju u tijelu je vrlo osjetljiva pretraga kojom se otkivaju promjene na kostima i do 6 mjeseci ranije nego na RTG snimkama. Kod nekih bolesti se radi snimanje u dvije etape (dvofazni scintigram kosti) kada se želi procijeniti stanje krvnih prostora (*engl. „blood pool“*), a u nekim situacijama i u tri etape (trofazni scintigram kosti) kada želimo procijeniti i samu prokrvljenost određenog dijela tijela ili pak patološkog procesa (5). Scintigrafija skeleta se provodi 3 sata nakon i.v. primjene radiofarmaka gama-kamerom širokog vidnog polja sa kolimatorom visoke rezolucije. Odraslima se aplicira 555-740 MBq (15-20 mCi) Tc-99m obilježenoga difosfatnog ili polifosfatnog spoja, a djeci oko 37 MBq (1 mCi) na 10 kilograma tjelesne težine. Danas se najčešće primjenjuje metilen difosfonat (MDP).

Neposredno nakon injiciranja radiofarmaka u tijeku prve minute snimamo dinamičke scintigrame od po jedne sekunde i u toj prvoj etapi dobivamo prikaz

prokrvljenosti u određenoj regiji skeleta. Petnaest minuta nakon injiciranja slijedi druga etapa i to je rani odgođeni scintigram koji daje prikaz raspodjele radiofarmaka u vaskularnim prostorima tzv. scintigram krvnih prostora (*engl. blood pool*). Treća je etapa klasični statički scintigram koji se snima 3 sata nakon injiciranja. Od metoda kvantifikacije najčešće koristimo regiju interesa (ROI) koja uspoređuje aktivnost u regiji patoloških promjena sa aktivnosti u regiji zdrave kosti. Tako dobivamo indeks omjera aktivnosti patoloških promjena kosti prema normalnoj. Scintigrafija skeleta primjenjuje se u gotovo svih bolesti skeleta, bilo kostiju ili zglobova (6).



Slika 4. Scintigrafija kosti (skeleta)

(Izvor: www.scintigrafija_skeleta/Images)

1.2.2. Scintigrafija štitnjače

Scintigrafija štitnjače je funkcionalna dvodimenzionalna pretraga pomoću koje procjenjujemo rad štitnjače u cijelosti kao i rad pojedinih dijelova štitnjače. Pomoću Tc-99m pertehnetata prikazuje se mehanizam akumulacije a pomoću radionuklida joda mehanizam akumulacije i organifikacije joda. Danas se rutinski radi scintigrafija štitnjače sa Tc-99m pertehnetatom. Tc-99m pertehnetat je radiofarmak koji koristi isti mehanizam ulaska u stanice štitnjače kao i jod ali ima bolje fizikalne karakteristike, čime dobivamo bolje scintigrame (slike). Pretraga se izvodi na način da se vrlo tankom iglom pacijentu u jednu od kubitalnih vena injicira vrlo mala količina Tc-99m pertehnetata. Pola sata nakon injiciranja radiofarmaka radi se 10 minutno snimanje gama kamerom u ležećem ili sjedećem položaju pacijenta. Za scintigrafiju štitnjače danas se uglavnom rabi gama kamera sa pin hole kolimatorom i rezolucijom manjom od 1cm. Nakon snimanja dobivena digitalna slika se kompjuterski analizira i kvantificira, kako bi se izračunala funkcionalna sposobnost štitnjače i njezinih dijelova. Tc-99m pertehnetat je niskoenergijski gama emiter (140 KeV) koji ima polu vrijeme raspada ($T/2$) od 6 sati te time pacijent dobiva iznimno malu dozu zračenja od 0,8 mSv. Nakon i.v. injekcije brzo se širi u izvanstanični prostor i djelomično veže za proteine plazme. Izlučuje se preko želučane i crijevne sluznice. Rabi se za scintigrafiju štitnjače, žlijezda slinovnica, sluznice probavnog traka i koroidnog moždanog spleta. Tipična doza za scintigrafiju štitnjače je 37-74 MBq (1-2 mCi) (6).

1.2.3. Scintigrafija žlijezda slinovnica

Scintigrafija žlijezda slinovnica je vrlo elegantna i jednostavna nuklearno medicinska procedura pomoću koje se vrši istovremena procjena rada svih žlijezda slinovnica. Razlikujemo 3 para žlijezda: parotide (podušne), submandibularne (ispod donje čeljusti) i sublingvalne (ispod jezika) (5). Statična scintigrafija provodi se 20 do 30 minuta nakon i.v. davanja Tc-99m pertehnetata u dozi od 0.37-3.7 MBq (10-100 μ Ci) na kilogram tjelesne težine. Snimanje se provodi kompjutoriziranom gama kamerom prije i nakon podražaja. Za dinamičku scintigrafiju pacijentu koji leži na

leđima injiciramo 370 MBq (10 mCi) Tc-99m-pertehnetata i odmah započinjemo sa snimanjem. U 30.minuti bez pomicanja pacijenta i prekida snimanja, stavimo mu pod jezik tabletu vitamina C. Na slikama se odrede regije interesa u području slinovnica i prikažu dinamičke krivulje kretanja radiofarmaka. Pretraga je iznimno važna za procjenu funkcionalnog kapaciteta žlijezda slinovnica u različitim poremećajima i naročito autoimunim bolestima kao što je Sjogrenov sindrom (6).

1.2.4. Perfuzijska scintigrafija miokarda

Perfuzijska scintigrafija miokarda je slikovno dijagnostička metoda za prikaz prokrvljenosti miokarda. Koristimo radiofarmake koji se nakupljaju u miokardu (najčešće Tl-201 klorid i Tc-99m MIBI). Tl- 201 klorid je najčešći radiofarmak za perfuzijsku scintigrafiju miokarda. Proizvodi se ciklotronski, a fizikalno vrijeme poluraspada mu je 73 sata. To je blago kisela otopina koja se čuva na sobnoj temperaturi i upotrebljiva je do 3 dana od vremena kalibracije. Nakon intravenske aplikacije, radiofarmak se raspodjeljuje u miokardu razmjerno koronarnom protoku krvi. Cilj pretrage je evaluacija perfuzije miokarda, odnosno detekcija ishemičkih ili ožiljkastih dijelova miokarda. Bolesniku se prije početka pretrage postavlja kanila u perifernu venu – najčešće u kubitalnu venu ili venu na šaci. Izmjeri se krvni tlak i snimi se bazalni EKG. Pretraga se sastoji od dva dijela. U prvom dijelu pretrage provodi se ergometrija. Bolesnik vozi bicikl ili hoda po traci na način da se svake 2-3 minute povećava opterećenje. Tijekom ergometrije liječnik stalno monitorira tlak i prati srčani rad. U maksimalnom opterećenju bolesniku se u prije postavljenu kanilu injicira radiofarmak. Za vrijeme ergometrijskog opterećenja protok krvi kroz koronarne arterije se znatno poveća pa miokard nakupi i do 5% primijenjenog radiofarmaka. Drugi dio pretrage je snimanje srca (7). Snimanje se izvodi kompjutoriziranom gama kamerom (planarna scintigrafija) ili jednofotonskom tomografijom. Snimanje kompjutoriziranom gama kamerom provodi se u 3 standardne projekcije u ležećem položaju; prednja anteriorna (ANT), lijeva anterolateralna od 45 stupnjeva (LAO) i lijevoj anterolateralnoj projekciji od 70 stupnjeva (LL). Kod snimanja jednofotonskom tomografijom, gama kamera rotira oko bolesnika po kružnoj ili eliptičnoj putanji. Gama

kamera može imati jednu, dvije ili tri glave (6). Prvi dio se snima odmah nakon ergometrije i injiciranja radiofarmaka, a drugi dio nakon 4 sata ili sutradan. Vrijeme snimanja ovisi o izabranom radiofarmaku. Svako snimanje obično traje oko 30 - 40 minuta. Ako se pretraga provodi s Tc-99m MIBI onda se drugi dio pretrage odvija sutradan bez prethodne ergometrije ali uz ponovno injiciranje radiofarmaka, a ako koristimo TI-201 onda bolesnika snimamo nakon 4 sata bez ergometrije i ponovnog injiciranja (fenomen redistribucije). Farmakološko opterećenje se provodi ako nije moguće provesti opterećenje na biciklergometru ili pokretnom tepihu. Ono se vrši pomoću simpatomimetika dobutamina ili vazodilatatora dipiridamola i adenoza. Na Kliničkom zavodu za nuklearnu medicinu KBC Split pretraga se radi pomoću Tc-99m-MIBI (7).



Slika 5. Priprema pacijenta za ergometriju

(Izvor: Petra Zubanović)

1.2.5. Scintigrafija paratireoidnih žlijezda

Scintigrafijom paratireoidnih žlijezda u mogućnosti smo prikazati i atipično smještene povećane i metabolički pojačano aktivne paratireoidne žlijezde. Naime paratireoidnih žlijezda može biti i više i manje od četiri i mogu biti smještene bilo gdje u tijelu od razine baze lubanje pa sve do ošita. Zbog toga za točno preoperativno lociranje povećane paratireoidne žlijezde koristimo scintigrafiju paratireoidnih žlijezda sa Tc-99m označenim MIBI-em (MetilIzoButrilIzonitril). Scintigrafija paratireoidnih žlijezda primjenjuje se još u bolesnika s klinički i biokemijski suspektim hiperparatireoidizmom, kod sumnji na adenom, hiperplaziju ili karcinom paratireoidnih žlijezda.

MIBI je kemijski spoj koji ulazi u stanice ljudskog organizma i veže se za mitohondrije. Mitohondriji su tvornice energije unutar stanica, te ukoliko je stanica metabolički aktivnija trošit će više energije, te će zbog toga imati više mitohondrija odnosno nakupit će više MIBI-a nego stanica koja je metabolički manje aktivna. S obzirom na činjenicu da su tumorske i hiperplastične stanice metabolički puno aktivnije od normalnih zdravih stanica one će nakupiti puno više Tc-99m MIBI-a i prikazat će se scintigrafski kao „vruće“ zone. Nakon i.v. injiciranja radiofarmaka 370-740 MBq (Tc-99m MIBI) učine se rani planarni scintigrami nakon 15 minuta kao i SPECT vrata i toraksa te se snimanje ponovi 2-3 sata nakon injiciranja radiofarmaka. Tc-99m- MIBI (jod benzilgvanidin) je bezbojna, blago kisela otopina koja se čuva na temperaturi nižoj od -10°C i uporabljiv je jedan tjedan. Fizikalno vrijeme poluraspada mu je 6 sati (6).

1.2.6. Denzitometrija kosti

Denzitometrija kosti nije klasična nuklearno medicinska pretraga, ali sam je uvrstila u popis kao jednu od pretraga na Kliničkom zavodu za nuklearnu medicinu. To je metoda koja iskorištava razliku u apsorpciji gama zraka ili rendgenskih zraka u kosti i u mekom tkivu za direktno mjerenje mineralnog sadržaja kosti i za indirektno mjerenje

gustoće kosti. Za jednofotonsku denzitometriju može se rabiti gama zraka joda-125 (27.5 keV) i gama zraka americija-241 (60 keV). Za dvofotonsku denzitometriju može se upotrebljavati gadolinij-153 (44 i 100 keV). Danas se češće upotrebljava dvoenergijska rendgenska denzitometrija kojoj kao izvor zračenja služi rendgenska cijev. Denzitometrija se osniva na mjerenju snopa rendgenskog ili mekog gama zračenja nakon prolaska kroz tkiva i izračunavanju njegove atenuacije. Atenuacija je proporcionalna koštanoj masi. Denzitometrijska mjerenja najčešće se izvode na lumbalnom djelu kralježnice i zglobu kuka. Izražavanje denzitometrijskih mjerenja sastoji se od usporedbe bolesnikovih vrijednosti sa referentnim rasponom za populaciju, devijacije od srednje vrijednosti (tzv. Z-vrijednost) ili devijacije od maksimalne vrijednosti (tzv. T-vrijednost) (6).

1.2.7. Scintigrafija bubrega

Postoji više vrsta scintigrafija bubrega. Najčešće se koristi dinamička scintigrafija bubrega, pomoću koje pratimo stvaranje mokraće u bubrezima i put te iste mokraće od bubrega, preko uretera do mokraćnog mjehura i dalje mokraćnom cijevi do izlaska iz ljudskog organizma. Dinamička scintigrafija bubrega se može snimati s Tc-99m- DTPA (74-11 MBq / 2-3 mCi), Tc-99m-MAG 3 (74-185 MBq / 2-5 mCi), J-131-OIH (7-10 MBq / 200-300 µCi) te s J-123-OIH (74-185 MBq / 2-5 mCi). Kompjutoriziranom gama kamerom prati se raspodjela i dinamika izlučivanja radiofarmaka kontinuirano kroz 30 do 60 minuta nakon i.v. injiciranja radiofarmaka. Prvih 3 do 5 minuta ocjenjuje se morfologija bubrega. Ispitanici prije pretrage moraju biti dobro hidrirani da ne bi došlo do smanjenog stvaranja urina s posljedičnim promjenama ekskretorne faze renografske krivulje. Bolesnika se hidrira s 10 ml vode ili čaja po kilogramu tjelesne težine, 30 do 60 minuta prije izvođenja pretrage. Bolesnik u pravilu leži na leđima iznad detektorske glave-kamere. U vidnom polju gama kamere trebaju biti oba bubrega s cijelim odvodnim sustavom te područje srca. Kod pomičnih bubrega se izvodi u ležećem i nakon 2 sata u sjedećem položaju, radi procijene promjene funkcije mobilnih bubrega. Bolesniku se u kubitalnu venu injicira odabrani radiofarmak. Snimanje započinje neposredno nakon injiciranja, a snimke se pohranjuju

u memoriju priključnog uređaja svake minute kroz 20 do 30 minuta. Nakon završetka studije u prve 2 do 3 minute pokaže se parenhimska faza dinamike radiofarmaka sa jasnim prikazom morfologije bubrega. Nakon odabiranja područja interesa (ROI) i obrade podataka dobivamo renografsku krivulju (funkcijska krivulja prolaza aktivnosti u vremenu). Znatno rjeđe i to uglavnom kod djece koristimo statičku scintigrafiju bubrega pomoću koje procjenjujemo oštećenja bubrega nakon upalnih događanja. Statička scintigrafija snima se 2-3 sata nakon i.v. injiciranja 74 MBq (2 mCi) Tc-99m-DMSA, u ležećem položaju bolesnika s gama kamerom velikog vidnog polja u anteriornoj i posteriornoj projekciji, te ovisno o promjenama u polu kosim projekcijama te uz SPECT. Indikacije za statičnu scintigrafiju bubrega su: anomalije broja, anomalije položaja, cistične bolesti, upale, tumori, opstruktivne bolesti, vaskularne bolesti te traume bubrega. Scintigrafija bubrega je jedina neinvazivna dijagnostička pretraga koja nam može odgovoriti na pitanje kako radi jedan a kako drugi bubreg. Odgovor bubrega na razne terapijske pokušaje moguće je pratiti ovom dijagnostičkom tehnikom kao i postavljanje dijagnoze mobilnog bubrega, što često nije jednostavan dijagnostički zadatak (6).

Tc-99m-DTPA (dietilen-triamino-pentaoctena kiselina) luči se samo glomerularnom filtracijom. Pri svakom prolasku kroz bubrege 20% plazme se očisti od njega. Služi za dinamički prikaz bubrežne funkcije u sklopu kojeg se najčešće određuje glomerularna filtracija. Možemo ga koristiti i za scintigrafije mozga jer iz krvi prelazi u dijelove mozga koji nisu zaštićeni krvno-moždanom barijerom. Upotrebljiv je 6 sati i brzo se izlučuje iz ciljnog tkiva krvlju.

Tc-99m-MAG 3 (merkaptacetiltriglicin) je u velikoj mjeri vezan za proteine plazme te se gotovo isključivo luči u proksimalnim bubrežnim tubulima. Prolaskom kroz bubrege od njega se očisti 300ml plazme u minuti. On je stabilan u tami i upotrebljiv 6 sati.

Tc-99m-DMSA (dimarkaptojantarna kiselina) veže se za bubrežne tubule. Osjetljiv je na svjetlost pa se mora upotrijebiti odmah nakon sinteze.

J-123 i J-131 OIH (ortojodhipuran) se prolaskom kroz bubreg čiste 20% glomerularnom filtracijom a ostatak sekrecijom u proksimalnim tubulima. Njegov je

klirens mjera renalnog protoka plazme. Hipuran obilježen J-131 upotrebljiv je do 4 tjedna. Glavni nedostatak mu je visoka energija gama zraka od 364 keV te beta-minus zračenje prosječne energije od 192 keV-a. J-123 ima povoljne fizikalne karakteristike (vrijeme poluživota 13.2 sata i gama emisija od 159 keV-a) ali je ciklotronski proizvod i kao takav skup i teže dostupan.

1.2.8. Radionuklidna cistografija

Direktna radionuklidna cistografija (DRNC) scintigrafski je postupak s kojim pomoću radiofarmaka apliciranog kateterom u mokraćni mjehur dokazujemo refluks mokraće iz mokraćnoga mjehura u bubrežni kanalni sustav. Radionuklidna cistografija može biti direktna i indirektna. Kod direktne cistografije injiciramo 37 MBq (1 mCi) Tc-99m-pertehnetata kroz kateter uveden u mokraćni mjehur. Mjehur dalje punimo kontinuiranim davanjem fiziološke otopine. Snimanje obavljam gama kamerom priključenom na elektroničko računalo. U vidnom polju smješteno je područje bubrega i mokraćni mjehur. Punjenje mjehura se prati i snima u 5-sekundnim intervalima najmanje kroz 300 sekundi. Punjenje se prekida nakon zamijećenog obostranog refluksa ili nastavlja do kapaciteta mokraćnog mjehura (od 100 mL do 200 mL) bez obzira jesmo li ili nismo li zamijetili jednostrani refluks. Bolesnika potom sjednemo u odgovarajuću stolicu ispred gama kamere i snimamo akt mokrenja u intervalima od 2 sekunde kroz 80 sekundi. Nakon završenog punjenja i pražnjenja mokraćnog mjehura snimaju se statičke snimke. Iz izmjerenog volumena mokraće određuje se eventualno postojanje ostatne mokraće u mjehuru. Indirektna radionuklidna cistografija (IRC) scintigrafski je postupak za otkrivanje vezikoureteralnog refluksa (VUR). Radiofarmak se aplicira i.v. i izlučuje bubrežima. Uvjet za izvođenje IRC-a je brz i potpuni klirens injiciranog radiofarmaka kroz bubrege u mokraćni mjehur. Kod djece snimanje se vrši bez kateterizacije ako mogu sama kontrolirati mokrenje i imaju zadovoljavajuću bubrežnu funkciju. Nakon završetka snimanja, bolesnika sjedamo u stolac sa odvodnom posudom i vršimo dinamičko snimanje gama kamerom prije, za vrijeme i nakon mokrenja (6).

1.2.9. Radionuklidna angiokardiografija

Radionuklidna angiokardiografija je dijagnostička pretraga pomoću koje prikazujemo prvi prolaz radiofarmaka kroz srce, pluća i velike krvne žile. Pretraga se obično radi gama kamerom širokog vidnog polja. Bolesnika polegnemo na leđa i injiciramo mu radiofarmak. Potrebno je injicirati što bliže srcu, u podključnu venu ili u vanjsku jugularnu venu. Odraslima se injicira 740 MBq (20 mCi) Tc-99m-pertehnetata u volumenu manjem od 0.5 mL. Djeci se injicira manja aktivnost, ovisno o dobi i površini tijela. Da bi dobili kvalitetnu studiju kod djece nikad im ne injiciramo manje od 111 MBq (3 mCi). Zbog bolusa koji mora biti manji od 0.5 mL primjenjuje se tehnećij visoke specifične koncentracije. Nakon injiciranja u vanjsku jugularnu venu stupac radiofarmaka u cjevčici intravenskog seta potiskuje se s 10 mL fiziološke otopine. Neposredno prije injiciranja započinje snimanje prekordijalno postavljenom gama kamerom. Slike se pohranjuju u elektroničnom računalu u kratkim vremenskim razmacima (0.05 do 0.5 sekundi).

1.2.10. Scintigrafija cijelog tijela jodom 131

Dijagnostička scintigrafija cijelog tijela izvodi su uz primjenu 37-185 MBq (1-5 mCi) aktivnosti radioaktivnog joda-131, a snima se gama kamerom 2-3 dana kasnije. Danas se dijagnostička scintigrafija cijelog tijela prije planirane ablacije ili terapije izbjegava jer su pojedini autori uočili negativan učinak dijagnostičke doze joda-131 na kasniju terapiju (fenomen poznat pod nazivom „ošamućenje“: *engl. „stunning“*). Navedeni učinak je izraženiji kod primjene viših dijagnostičkih doza 185-370 MBq (5-10 mCi). Dijagnostička scintigrafija cijelog tijela prije ablacije ima svrhu kada je upitan opseg provedenog kirurškog zahvata ili kada je nalaz potreban za odluku o daljnjoj terapiji ili potrebnoj dozi radiojoda (8). Postablacijski scintigram radi se 3-5 dana nakon dobivene terapijske doze radiojoda sa svrhom vizualizacije količine ostatnog tkiva i otkrivanja mogućih metastaza karcinoma štitnjače u tijelu. Vrijednost postablacijskog scintigrama je neupitna, a ostatak tkiva štitnjače se u velikoj većini slučajeva prikaže samo na postablacijskom scintigramu. Minimalne količine ostatnog tkiva ultrazvučno se

ne prikazuju (u ovom slučaju scintigrafija pomoću joda-131 je puno osjetljivija metoda (9). Da bi se učinila kvalitetna scintigrafija cijelog tijela pomoću joda-131 vrijednost TSH bi trebala biti povišena ($TSH > 30$ mIU/L) što se postiže prekidom supstitucijske terapije hormonima štitnjače ili nakon i.m injekcije humanog rekombinantnog TSH. Scintigrafski uspješnim liječenjem smatra se ono s negativnim nalazom kontrolne scintigrafije s jodom-131 na mjestima prethodnog patološkog nakupljanja joda-131 prikazanih na postablacijskom scintigramu nakon primjene terapijske doze radiojoda.

Ukoliko je istovremeno i koncentracija tireoglobulina u serumu < 2 $\mu\text{g/l}$, a ultrazvučni i radiološki nalazi negativni, smatra se da u bolesnika nema nikakvih znakova aktivnosti osnovne bolesti, pa se liječenje bolesnika prema scintigrafskim i kliničkim pokazateljima smatra potpuno uspješnim (10).

1.2.11. Scintigrafija NET-tumora Tc-99m octreotidom

Neuroendokrini tumori (NET) probavnog sustava neuroektodermalnog su embrionalnog podrijetla. Izrastaju iz gastrointestinalne sluznice ili stanica Langerhansovih otočića, koje i normalno posjeduju endokrinu aktivnost. Poseban su dijagnostički i terapijski izazov, za razliku od drugih neoplazmi probavnog sustava, češće izazivaju kliničke simptome zbog prekomjernog lučenja hormona nego zbog samog tumorskog rasta. Scintigrafija NET tumora radi se uz pomoć Tc-99m octreotida.

1.2.12. Scintigrafija hemangioma

Hemangiomi su dobroćudni tumori krvnih žila, koji se mogu pojaviti bilo gdje u tijelu. Nažalost osim hemangioma relativno se često mogu naći i druge vrste dobroćudnih i zloćudnih tumora, kao i prenosnica (metastaza) udaljenih zloćudnih tumora. Razlikovanje hemangioma od zloćudnih tumora moguće je na osnovu veličine krvnih prostora unutar samog tumora (5). Pošto su hemangiomi građeni od krvnih žila njihovi krvni prostori će biti veći nego kod drugih tumora. Da bi uspjeli prikazati razliku u veličini krvnih prostora u različitim dijelovima tijela označavamo same

eritrocite. Na tim principima se temelji scintigrafija hemangioma bilo gdje u tijelu. Prvi korak je „in vivo“ (u pacijentu) označavanje eritrocita, koja se radi na način da se pacijentu prvo u venu injicira kemijski spoj pirofosfat, koji se veže na eritrocite. Pola sata nakon toga opet putem kubitalne vene injicira se Tc-99m pertehnetat, koji se potom veže za već vezani pirofosfat. Na ovaj način smo u mogućnosti pratiti označene vlastite eritrocite u tijelu pacijenta. Ovisno o veličini krvnih prostora kao i brzini izmjene krvi unutar hemangioma uspijeva se pomoću gama kamere ranije ili kasnije prikazati hemangiom. Upravo zbog toga se u svih pacijenata rade rane (1 sat nakon injiciranja radiofarmaka) i kasne (3 sata nakon injiciranja radiofarmaka) planarne i tomografske (SPECT) snimke (6).

1.3. Dozimetrija

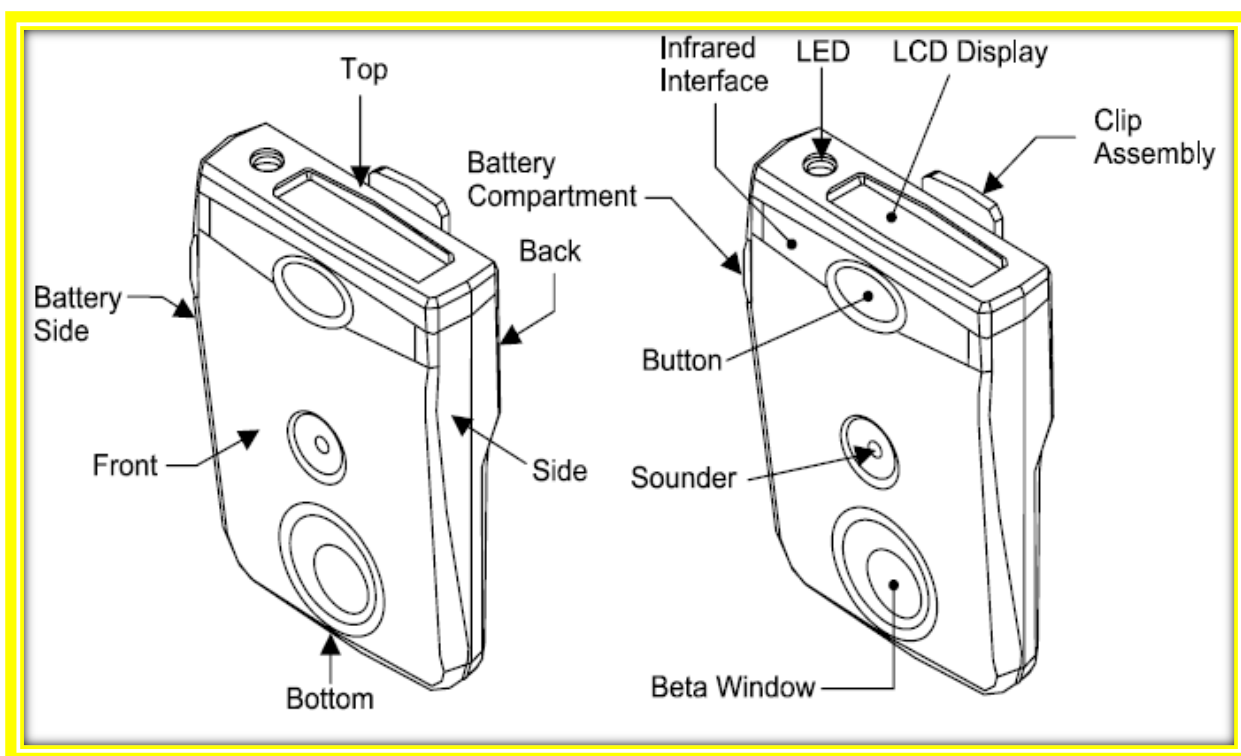
Dozimetri su uređaji koji bilježe apsorbiranu dozu zračenja u tkivu ili predanu energiju nekoj tvari za vrijeme zračenja. Za mjerenje osobne izloženosti zračenju najčešće se koriste film dozimetar i termoluminiscentni dozimetri. Osim ovih dozimetara postoje još penkala i elektronski dozimetri.

Film dozimetri se sastoje od zapečaćenih fotografskih filmova u omotu koji sadrži seriju filtara za razdvajanje komponenata zračenja: x-zračenja, gama-zraka, beta-čestica i sporih neutrona. Princip rada ovog dozimetra je prilično jednostavan a sastoji se u mjerenju zacrnjenja filma nakon njegova izlaganja zračenju kroz određeno vrijeme (u RH 1 put mjesečno), te usporedbi tog zacrnjenja sa zacrnjenjem filma izloženog djelovanju već poznate doze.

Termoluminiscentni dozimetar (TLD) koristi princip termoluminiscencije. To je fizikalno svojstvo nekih kristala (kalcijev sulfat, litijev fluorid, kalcijev fluorid, berilijev oksid,...) da apsorbiranu energiju zračenja oslobađaju kao svjetlo nakon izlaganja grijanju pri temperaturi od 100 do 200 stupnjeva. Emitirana energija svjetla proporcionalna je energiji apsorbiranog zračenja. TLD dozimetar je osjetljiviji od filmskog dozimetra.

Penkala dozimetri su uređaji koji omogućavaju izravno, trenutno očitavanje kumulativne doze ekspozicije zračenju. Rade na principu ionizirajuće komore. Mogu detektirati sve vrste zračenja s maksimalnim rasponom od 2 mSv do 10 Sv.

Elektronski dozimetar je uređaj koji osim što mjeri akumuliranu dozu bilježi brzinu i trajanje izloženosti djelatnika vrlo niskom raspršnom zračenju. Osjetljivost na gama i x zrake je u energetsom rasponu od 15 keV do 10 MeV. Osjetljiv je i na beta zračenje čije su energije u rasponu od 250 keV do 10 MeV. Odgovor na neutronske zračenje manji je od 2 %.



Slika 6. Elektronski dozimetar

(Izvor: http://www.pmf.unsa.ba/fizika/images/nastavni_materijali/

Uvod_u_nuklearnu_fiziku/12-2%20Licni_dozimetri.ppt)

Elektronski dozimetar sadrži tri detektora zračenja od silicijske diode. Izlazi sa svakog obrađuju te se ispisuje površinska (Hp7) i dubinska doza (Hp10). Napajanje se vrši putem standardne alkalne baterije (1.5 V) ili visokoenergetske LTC baterije (3.6 V). Masa dozimetra je 95 grama, a dimenzije su mu 86 x 62 x 18.5 mm. Podaci o primljenim količinama zračenja se pohranjuju u unutrašnju memoriju uređaja, a korisniku se prikazuju putem LCD zaslona. Jedina tipka na uređaju omogućuje korisniku preuzimanje podataka, podešavanje mjernog područja alarma te korištenje ostalih funkcija. Kako bi se smanjio gubitak podataka uslijed potrošnje baterije ili nekog drugog kvara podatci se pohranjuju u unutrašnju memoriju uređaja svakih 15 minuta. Podaci se upisuju i očitavaju pomoću infra crvenog sučelja na dozimetru. Kao i svaki uređaj i ovaj ima prednosti i mane. Nedostatci ovog uređaja su: potreba za baterijom što može predstavljati problem kod potrošnje, nisu pouzdani u pulsirajućim poljima zračenja, osjetljivi su na elektromagnetska neionizirajuća zračenja pa u prisutnosti mobitela mogu davati lažne rezultate. Prednosti ovog uređaja su: alarm koji upozorava na povećanu brzinu doze, direktno očitavanje, praćenje trenutnih (dnevni) doza koje prime zaposlenici, podatci se mogu prebaciti na računalo gdje se može pratiti brzina porasta doze tijekom korištenja. Cijena ovih dozimetara je daleko veća od cijena filmskih i termoluminiscentnih dozimetara ali ušteda se može ostvariti kod očitavanja s obzirom da im nije potreban poseban čitač (11).

1.4. Zaštita od zračenja

U nuklearno medicinskim ustanovama mjere zaštite od zračenja mogu se podijeliti u tri skupine: mjere osobne zaštite, nadzor područja primjene radioaktivnosti i zbrinjavanje radioaktivnog otpada. Tri su glavna načela za smanjivanje vanjskog zračenja. Prvo je skraćivanje vremena izloženosti zračenju koje je postiže dobrim planiranjem posla. Drugo je povećanje udaljenosti od izvora zračenja, primljena doza opada sa kvadratom udaljenosti. Treće načelo je primjena zaštitnih materijala. Optimalni materijali za zaštitu imaju veliku gustoću tj. visoki atomski broj. Prilikom

injiciranja radiofarmaka moraju se rabiti olovni štitnici za štrcaljke. Olovno staklo kao štitnik primjenjuje se pri obilježavanju radiofarmaka, a olovne pregrade postavljaju se oko izvora zračenja. Za kontrolu izloženosti razvijen je poseban sustav mjerenja ozračenosti svake osobe koja radi u području ionizirajućeg zračenja. Za mjerenje osobne izloženosti zračenju najčešće se koriste tzv. filmski dozimetri.



Slika 7. Olovni štitnik za injekciju radiofarmaka

(Izvor: Petra Zubanović)

1.5. Organizacija rada na Kliničkom zavodu za nuklearnu medicinu KBC Split

Na odjelu nuklearne medicine KBC Firule radiološki tehnolozi rade u dvije smjene (jutarnja i popodnevna). Tijekom rada mogu se izdvojiti tri radna postupka: priprema radiofarmaka, injiciranje i snimanje. Priprema radiofarmaka odvija se u “vrućem” (HOT) laboratoriju. Injiciranje radiofarmaka odvija se u dvije prostorije ovisno o rađenoj pretrazi. Prva prostorija je prostorija u kojoj se vrši snimanje pacijenta, a u drugoj se nalazi razna aparatura među kojom i traka za hodanje namijenjena za ergometriju. Iniciranje se radi u prostoriji s ergometrom, po injiciranju šprica se odlaže najprije u olovni spremnik na radnom stolu, a potom odnosi na mjesto za odlaganje otpada u HOT-u. Snimanje pacijenta počinje ovisno o pretrazi. Ono može biti odmah nakon injiciranja ili nakon određenog vremena. Za to vrijeme pacijent boravi u zajedničkoj čekaonici za sve pacijente.

2. CILJ RADA

Vidjevši način rada djelatnika na odjelu nuklearne medicine i njihovu izloženost zračenju, u cilju pronalaženja načina za smanjenje apsorbirane doze zračenja ovim radom smo željeli:

1. Procijeniti izloženost zračenju radioloških tehnologa na Zavodu za nuklearnu medicinu KBC Split.
2. Utvrditi da li postoje razlike u izmjerenoj površinskoj i dubinskoj dozi zračenja.
3. Utvrditi da li postoje razlike u izmjerenim dozama između radioloških tehnologa u jednoj smjeni te između smjena.
4. Ispitati da li veličina primljene doze ovisi o broju pacijenata i broju radnih postupaka.
5. Usporediti izmjereno radijacijsko opterećenje radioloških tehnologa Zavoda s mjerenjima u drugim ustanovama.
6. Analizirati mogućnosti smanjivanja doze.

3. IZVORI PODATAKA I METODE

Istraživanje je provedeno na Kliničkom zavodu za nuklearnu medicinu KBC Split. Ispitanici su radiološki tehnolozi, zaposlenici istoimenog odjela. Za vrijeme svog radnog vremena ispitanici su nosili ED dozimetre koji su prikazali dozu zračenja apsorbiranu u različitoj dubini tkiva tzv. Hp7 i Hp10 doza. Hp je veličina koju mjeri dozimetar. H od Hp se općenito koristi za objašnjenje ekvivalentne doze, jedinica je Sivert. P od Hp obično znači osobna ekvivalentna doza. Točna definicija Hp10 je doza koja je jednaka količini zračenja koja se nalazi na dubini od 10 mm unutar ljudskog tijela. Slično je i s dozom Hp7 koja označava količinu zračenja koja se nalazi na dubini od 0.07 mm unutar ljudskog tijela. Istraživanje je trajalo 10 dana. Na kraju svake smjene unutar tog perioda radiološki tehnolozi su bilježili primljenu dozu. Zabilježene doze osim što su uspoređene međusobno, uspoređene su i s dozama dobivenim u istraživanju 2014 godine u PET/CT Centru te sa podacima iz literature.

4. REZULTATI

U promatranom periodu od 10 radnih dana napravljeno je nuklearno medicinsko dijagnostičko snimanje kod 191 pacijenta odnosno provedeno je ukupno 475 radnih postupaka u kojima su radiološki tehnolozi bili izloženi zračenju. Postupci u ovom istraživanju podrazumijevaju: pripremu radiofarmaka, injiciranje radiofarmaka i snimanje pacijenta. Pretrage rađene za vrijeme radijaciskog opterećenja radioloških tehnologa su: sc. štitnjače, sc. paratiroidnih žlijezda, sc. žlijezda slinovnica, sc. hemangioma, sc. kosti, denzitometrija kosti, sc. bubrega, radionuklidna cistografija, perfuziska sc. miokarda, radionuklidna angiokardiografija, sc. cijelog tijela jodom-131 i sc. NET tumora Tc-99m octreotidom. Primljene doze zračenja (jedinica je mikro Sivert) očitane su ED dozimetrom i bilježene na kraju radnog vremena radioloških tehnologa.

Izmjerene doze zračenja radioloških tehnologa po smjenama prikazane su u Tablici 2. Svaka smjena podrazumijeva rad dva radiološka tehnologa.

Tablica 2. Prikaz zabilježenih doza zračenja (Hp7 i Hp10) u μSv i radnih postupaka u promatranom periodu prema djelatnicima, smjenama i danima

Dan	Smjena	Radno mjesto	Postupci			Doza	
			priprema	injiciranje	snimanje	Hp7(μSv)	Hp10(μSv)
1	1	1	6	7	6	8	8
		2	0	0	10	2	2
	2	1	10	2	3	6	3
		2	0	0	0	0	0
2	1	1	10	0	6	7	6
		2	2	11	0	1	3
	2	1	2	2	9	4	5
		2	7	7	7	5	5
3	1	1	5	8	0	3	3
		2	8	1	0	3	3
	2	1	4	4	0	1	1
		2	0	0	4	1	1
4	1	1	0	7	5	9	5
		2	7	0	9	4	4
	2	1	0	1	3		2
		2	3	2	3		
5	1	1	5	0	6	5	3
		2	2	2	7	8	6
	2	1	0	1	11	4	3
		2	23	22	11	12	10
6	1	1	0	0	8	3	4
		2	8	8	0	4	6
	2	1	1	1	10	2	3
		2	0	0	8	0	1
7	1	1	6	4	4	2	4
		2	0	3	2	4	2
	2	1	2	3	9	8	8
		2	7	6	2	9	7
8	1	1	0	0	0	0	0
		2	0	0	0	0	0
	2	1	0	0	3	4	1
		2	4	2	5	3	3
9	1	1	0	5	8	7	7
		2	11	2	4	9	10
	2	1	4	6	5	9	5
		2	2	0	3	16	11
10	1	1	2	0	6	6	6
		2	0	0	1	3	2
	2	1	13	13	0	7	6
		2	0	0	13	4	4

Tablica 3. Doze zračenja po radiološkom tehnologu u smjeni 1

	Hp7 (μSv)	Hp10 (μSv)
Min. doza po rad.teh. po smjeni	0	1
Max. doza po rad.teh. po smjeni	9	10
Srednja doza rad.teh.1 po smjeni	6,00	5,11
Srednja doza rad.teh.2 po smjeni	4,44	4,22

Iz tablice 3. je vidljivo da u smjeni 1 veće radijacijsko opterećenje ima radiološki tehnolog 1 i to površinske (Hp7) doze za 1.56 μSv a dubinske (Hp10) doze za 0.89 μSv .

Tablica 4. Doze zračenja po radiološkom tehnologu u smjeni 2

	Hp7 (μSv)	Hp10 (μSv)
Min. doza po rad.teh. po smjeni	1	1
Max. doza po rad.teh. po smjeni	16	10
Srednja doza rad.teh.1 po smjeni	4,60	3,70
Srednja doza rad.teh.2 po smjeni	6,33	5,22

Iz tablice 4. doznajemo da je u smjeni 2 veće radijacijsko opterećenje radiološkog tehnologa 2 i to površinske (Hp7) doze za 1.73 μSv a dubinske (Hp10) doze za 1.52 μSv .

Iz tablica 3. i 4. Vidimo da je nešto veće radijacijsko opterećenje radioloških tehnologa u smjeni 2 u odnosu na smjenu 1.

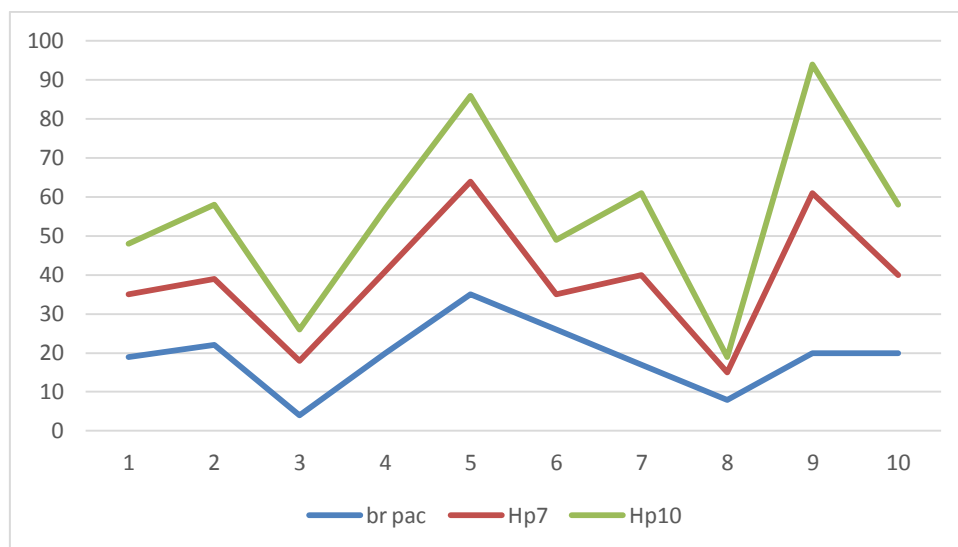
U razdoblju kada je snimljen 191 pacijent odnosno kada je napravljeno 475 radnih postupaka od strane radiološkog tehnologa kumulativna (zbrojna) doza za Hp7 je iznosila 197 μSv , a za Hp10 je iznosila 169 μSv .

To je više nego u PET/CT centru gdje su doze bile Hp7 42 μSv , Hp10 38 μSv u razdoblju u kojem je snimljeno 89 pacijenata odnosno napravljeno 267 postupaka.

Tablica 5. Prikaz broja pacijenata po danu i primljenih doza (Hp7 i Hp10)

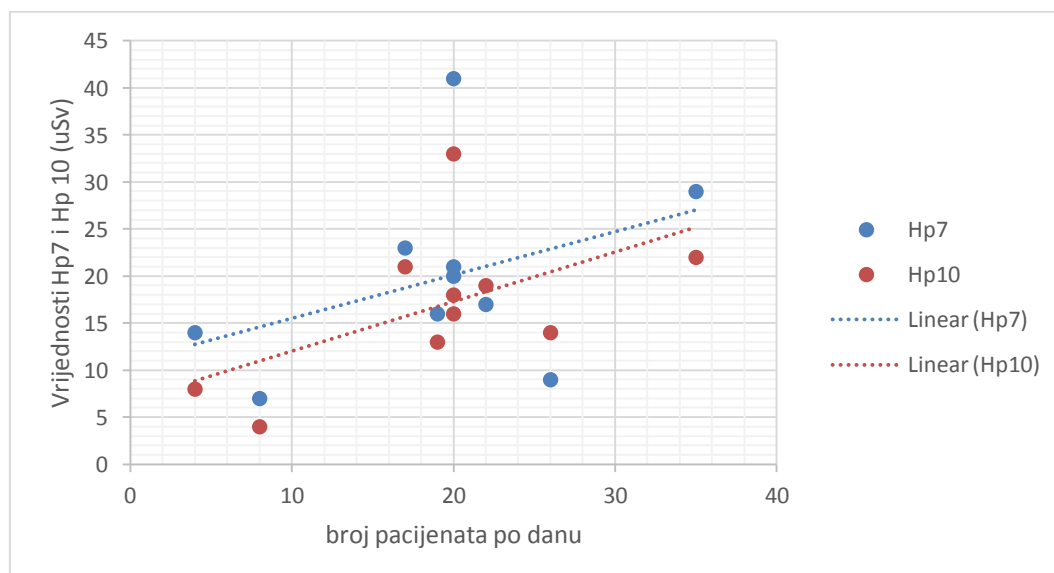
Br. pac	Hp7(μSv)	Hp10(μSv)
19	16	13
22	17	19
4	14	8
20	21	16
35	29	22
26	9	14
17	23	21
8	7	4
20	41	33
20	20	18

Iz tablice vidimo da doza zračenja raste s većim brojem pacijenata.

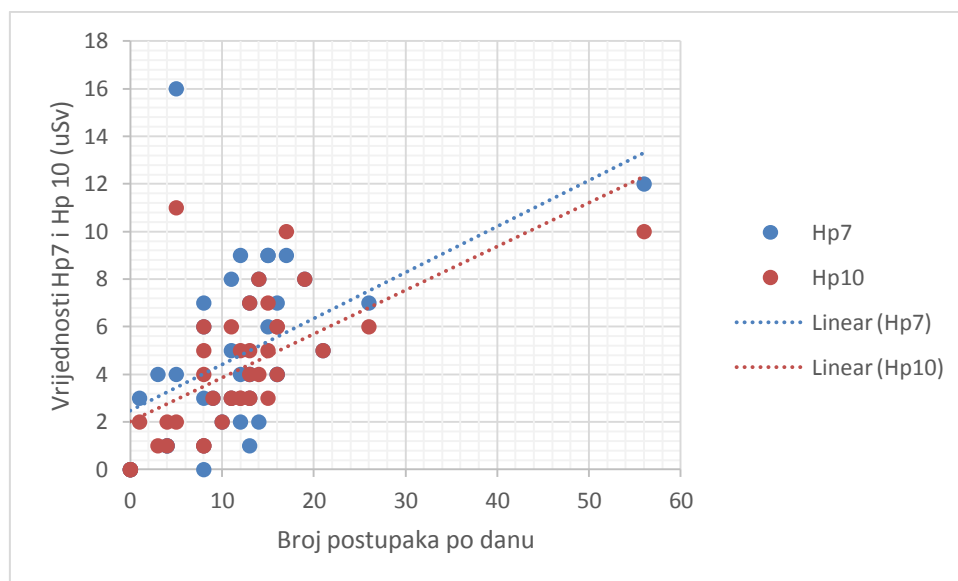


Grafikon 1. Usporedba broja pacijenata i zabilježenih doza (Hp7 i Hp10) po danima

Grafikon 1. se nadovezuje na tablicu 4. te nam pruža slikovan prikaz povećanja doze zračenja u ovisnosti o broju pacijenata.



Grafikon 2. Odnos doza zračenja (Hp7 i Hp10) prema dnevnom broju pacijenata



Grafikon 3. Odnos doza zračenja (Hp7 i Hp10) prema dnevnom broju postupaka

Iz grafikona 2 i 3 vidimo da postoji povezanost broja pacijenata i zabilježenih doza Hp7 i Hp 10, a da je ta povezanost još izraženija ako usporedimo doze s brojem radnih postupaka.

5. RASPRAVA

Svrha istraživanja je bila utvrditi koliko je radijacijsko opterećenje radioloških tehnologa u nuklearnoj medicini.

Radiološki tehnolozi su izloženi zračenju već kod pripreme radiofarmaka. Radiofarmak se priprema u HOT laboratoriju gdje se čuvaju svi radioaktivni spojevi kojima se koristimo u nuklearnoj medicini. Oni se čuvaju u olovnim štitnicima različite debljine olova ovisno o energiji samog spoja. U HOT laboratoriju djelatnici su izloženi zračenju za vrijeme eluiranja. Na Kliničkom zavodu ovaj postupak najčešće rade inženjeri kemije, ali povremeno i radiološki tehnolozi. Generator se prema potrebi eluira 1-2 puta dnevno. Nakon toga doze se navlače u šprice. To je postupak koji najčešće rade radiološki tehnolozi. Mjesto za pripremu radiofarmaka u HOT laboratoriju omeđeno je olovnim pregradama i olovnim staklom radi dodatnog smanjenja izloženosti profesionalnog osoblja. Zračenje samog pripremljenog preparata ovisi o pojedinačnim navučenim dozama.

Za vrijeme injiciranja radiofarmaka radiološki tehnolog je izložen zračenju navučene šprice a nakon injiciranja izložen je zračenju samog pacijenta. U nuklearnoj medicini nakon injiciranja pacijent je izvor zračenja i zato vrijeme provedeno s pacijentom treba smanjiti na minimum. Udaljenost između djelatnika i pacijenta treba biti najveća moguća jer doza zračenja opada s kvadratom udaljenosti. Iz navedenih razloga potrebno je imati posebnu čekaonicu za pacijente kojima je injiciran radiofarmak. Time bi se smanjila izloženost zračenju kako djelatnika tako i ostalih pacijenata u čekaonici. U šprici nakon injiciranja uvijek ostane mala količina radiofarmaka pa radiološki tehnolog treba propisano odlagati taj otpad u posebne kontejnere jer time smanjuje kako svoju izloženost zračenju tako i izloženost ostalih kolega.

Za vrijeme snimanja (akvizicije) pacijenta radiološki tehnolog se nalazi za upravljačkom konzolom iza olovnog stakla. Ako su pacijenti djeca onda je potrebno stajati kraj njih za vrijeme snimanja. Tim je radiološki tehnolog opet izložen zračenju pa je važan element i sama duljina snimanja. U slučaju da pacijentu postane mučno i dođe

do eventualnih ekskreta to se treba adekvatno zbrinuti i propisno očistiti jer su i ti ekskreti svojevrsni izvori zračenja.

Rezultati koje smo dobili pokazuju nam da je unutar samog zavoda veće radijacijsko opterećenje u smjeni 2 u odnosu na smjenu 1, vjerojatno zbog povećanog obujma posla a time i veće izloženosti zračenju. Također u smjeni 2 je više snimljenih scintigrafija kosti nego u smjeni 1. S obzirom da znamo da scintigrafija kosti u odnosu na druge pretrage ima veću dozu zračenja možemo zaključiti da i vrsta pretrage utječe na ukupnu primljenu dozu zračenja. Srednja ukupna doza izloženosti zračenju u smjeni 1 iznosi 8.66 μSv a u smjeni 2 iznosi 11.55 μSv po radiološkom tehnologu.

U zabilježenim dozama postoji razlika između površinske (Hp7) i dubinske (Hp10) doze. Zabilježena ukupna površinska (Hp7) doza za obje smjene u 10 dana iznosi 197 μSv a zabilježena ukupna dubinska (Hp10) doza za obje smjene u 10 dana iznosi 169 μSv . Ukupna razlika između površinske (Hp7) i dubinske (Hp10) doze iznosi 28 μSv što znači da je razlika između površinske (Hp7) i dubinske (Hp10) doze pojedinačno po radiološkom tehnologu 7 μSv . Očekivana površinska (Hp7) doza po postupku je 0.39 μSv , a očekivana dubinska (Hp10) doza po postupku je 0.33 μSv . Srednja očekivana doza po radiološkom tehnologu za površinsku (Hp7) dozu jednaka 5,34 μSv , a za dubinsku (Hp10) dozu je 4,56 μSv .

Broj postupaka sigurno utječe na izloženost zračenju, da bi bilo vidljivo koliku izloženost zračenju radiološki tehnolog ima pri pojedinoj pretrazi trebalo bi se raditi istraživanje s ED dozimetrima za svaku pretragu pojedinačno.

U odnosu na druge literaturne podatke vidimo da je radijacijsko opterećenje veće na Kliničkom zavodu za nuklearnu medicinu KBC Split u odnosu na PET/CT Centar. Ukupna doza zračenja po postupku na Kliničkom zavodu za nuklearnu medicinu KBC Split iznosi 0.72 μSv a u PET/CT Centru iznosi 0.30 μSv .

Doza zračenja na Kliničkom zavodu za nuklearnu medicinu KBC Split bi se možda mogla smanjiti drugačijom organizacijom posla između radioloških tehnologa. Nabavom novijih zaštitnih sredstava, nabavom uređaja za automatsko navlačenje doza te izgradnjom odvojene čekaonice za pacijente kojima je injiciran radiofarmak.

Iz literaturnih podataka za Kuwait vidimo ukupnu godišnju dozu zračenja radioloških tehnologa u Kuwaitu koja iznosi od 0.07 mSv do 3.70 mSv. Naše istraživanje je rađeno za period od 10 radnih dana što je u biti polumjesečno istraživanje. S tom činjenicom procijenili smo ukupnu očekivanu godišnju dozu zračenja za 240 radnih dana po radiološkom tehnologu. Dobivena doza iznosi za površinsku (Hp7) dozu 1.33 mSv a za dubinsku (Hp10) dozu 1.14 mSv. Usporedbom dobivene doze sa dozom u Kuwaitu vidimo da su primljene doze slične i da zadovoljavaju ICRP-ove smjernice za osobe koje rade s izvorom ionizirajućeg zračenja (ukupna godišnja primljena doza zračenja ne smije biti veća od 20mSv) .

6. ZAKLJUČAK

Postoje razlike u radijacijskom opterećenju radioloških tehnologa u nuklearnoj medicini. U Kliničkom zavodu za nuklearnu medicinu došli smo do zaključka da s povećanjem broja pacijenata a samim time i postupaka dolazi do povećanja doze zračenja.

U zabilježenim dozama postoje razlike između dubinske (Hp10) i površinske (Hp7) doze. Očekivana površinska (Hp7) doza po postupku je $0.39 \mu\text{Sv}$, a očekivana dubinska (Hp10) doza po postupku je $0.33 \mu\text{Sv}$. Srednja očekivana doza po radiološkom tehnologu za površinsku (Hp7) dozu jednaka $5,34 \mu\text{Sv}$, a za dubinsku (Hp10) dozu je $4,56 \mu\text{Sv}$.

U Kliničkom zavodu za nuklearnu medicinu KBC Split veće je radijacijsko opterećenje radioloških tehnologa u smjeni 2 u odnosu na smjenu 1. Postoji različito radijacijsko opterećenje između radioloških tehnologa u jednoj smjeni što je također vjerojatno posljedica različitog broja i vrste odrađenih radnih postupaka.

U odnosu na djelatnike Kliničkog zavoda za nuklearnu medicinu KBC Split, djelatnici PET/CT Centra Split prime manju dozu zračenja na godišnjoj bazi.

Usporedbom dobivenih doza zračenja sa literaturnim podacima utvrdili smo da su primljene doze zračenja kod djelatnika slične.

Doze zračenja na Kliničkom zavodu za nuklearnu medicinu KBC Split zadovoljavaju ICRP-ove propise dozvoljenih doza zračenja profesionalnog osoblja izloženog ionizirajućim izvorima.

Doza zračenja na Kliničkom zavodu za nuklearnu medicinu KBC Split bi se možda mogla smanjiti drugačijom organizacijom posla između radioloških tehnologa. Nabavom novijih zaštitnih sredstava, nabavom uređaja za automatsko navlačenje doza te izgradnjom odvojene čekaonice za pacijente kojima je injiciran radiofarmak.

7. SAŽETAK

U nuklearnoj medicini djelatnici su izloženi zračenju koje je potrebno stalno nadzirati uz istraživanje mogućnosti za smanjivanje istog.

Tijekom desetodnevnog istraživanja, ispitanici (radiološki tehnolozi) su za vrijeme rada na svom radnom odjelu nosili ED dozimetre. Na kraju radnog vremena očitane doze koje su dozimetri zabilježili bile su zapisane u tablicu.

U radu smo ispitali radijacijsko opterećenje radioloških tehnologa u nuklearnoj medicini. Rezultati pokazuju da je najmanje opterećenje u smjeni 1 na Kliničkom zavodu za nuklearnu medicinu KBC Split. Doza zračenja ovisi o broju postupaka, mjerama zaštite ali i o vremenu ukupne izloženosti zračenju. Manja je doza zračenja u PET/CT Centru u odnosu na Klinički zavod za nuklearnu medicinu KBC Split. Slična je doza zračenja između Kliničkog zavoda za nuklearnu medicinu KBC Split i literaturnih podataka za Kuwait.

Potrebno je stalno tražiti način i unapređivati čimbenike rada kako bi se izloženost zračenju kod djelatnika smanjila.

8. SUMMARY

RADIATION LOAD OF RADIOLOGIC TECHNOLOGISTS IN NUCLEAR MEDICINE DIAGNOSTICS

In nuclear medicine workers are exposed to radiation that needs to be monitored continuously to research the possibilities for reducing the same.

During the ten-day survey, respondents (radiological technologists), wore ED dosimeters on their work suits during their work hours. At the end of the day, they wrote down in the table the recorded dose by ED dosimeters.

In this paper we examined radiation exposure of radiological technologists in nuclear medicine. Results show that the lowest exposure is in shift 1 in Department of Nuclear Medicine, University Hospital Split. The dose of radiation depends on the number of procedures, safety measures but also on the time of total exposure. Smaller dose of radiation is in PET / CT Centre in relation to the Department of Nuclear Medicine, University Hospital Split. Dose of radiation is similar between the Department of Nuclear Medicine, University Hospital Split and literature data for Kuwait.

It is necessary to constantly seek ways and promote the factors of work so the radiation exposure of the staff can be reduced.

9. LITERATURA

1. <http://hrcak.srce.hr/23906> (06.06.2015.)
2. [http://www.medri.uniri.hr/katedre/Fizika/novosti/dokumenti/Microsoft%20Word%20-%20Radioaktivnost Primjena%20u%20medicini povjeren.pdf](http://www.medri.uniri.hr/katedre/Fizika/novosti/dokumenti/Microsoft%20Word%20-%20Radioaktivnost%20Primjena%20u%20medicini%20povjeren.pdf) (13.06.2015.)
3. https://hr.wikipedia.org/wiki/Gama_kamera (13.06.2015.)
4. [http://sharepoint.zvu.hr/katedre/325/Nastavni%20matrijali/SKRIPTA%20%20za%20vje%C5%BEbe%205%20semestar%20Studija%20radiolo%C5%A1ke%20tehnologije II.pdf](http://sharepoint.zvu.hr/katedre/325/Nastavni%20matrijali/SKRIPTA%20%20za%20vje%C5%BEbe%205%20semestar%20Studija%20radiolo%C5%A1ke%20tehnologije%20II.pdf) (15.06.2015.)
5. <http://www.poliklinika-lacic.hr/djelatnosti/nuklearna-medicina> (18.06.2015.)
6. Ivančević D. i sur., Klinička nuklearna medicina. U: Dodig D, Usić Z, Ivančević D (ur). Klinička nuklearna medicina .Medicinska naklada Zagreb, 1999;str 4-9,50-52,69-71,76-83,85-88,99-106,115-117,135-138,143-145,170-171
7. <http://www.kbd.hr/odjeli/centar-za-nuklearnu-medicinu/odsjek-za-dijagnostiku-in-vivo/perfuzijska-scintigrafija-miokarda/> (20.06.2015.)
8. Kusić Z, Jukić T, Dabelić N, Franceschi M. Dijagnostičke i terapijske smjernice za diferencirani karcinom štitnjače hrvatskog društva za štitnjaču. Liječn Vjesn
9. Tomić-Brzac H. Ultrazvuk u praćenju bolesnika s rakom štitnjače. Acta Clin Croat 2007; 46 (suppl 2), 66-68
10. Medvedec M, Dodig D. Has come the day to do away with thyroid remnant ablation targeting 300 gray (Gy)?. J Nucl Med 2007;48(suppl 2):16P
11. www.lični-dozimetri.ppt (13.06.2015)
12. Horvatić L, Utjecaj radnih mjesta i postupaka na profesionalnu izloženost ionizacijskom zračenju u PET/CT dijagnostici. SOZS, Split, 2014. Završni rad
13. Al-Abdulsalam A, Brindhaban. Occupational Radiation Exposure among the Staff of Departments of Nuclear Medicine and Diagnostic Radiology in Kuwait

10. ŽIVOTOPIS

Osobni podatci :

Ime i prezime : Petra Zubanović

Datum, godina i mjesto rođenja : 15.11.1993., Split

Državljanstvo : Hrvatsko

Adresa : Juraja Dobrile 16

Mobilni telefon : 095 198 63 06

Email : zubanovicpetra@gmail.com

Obrazovanje i osposobljavanje:

2000.-2008. Osnovna škola Split 3, Split

2008.-2012. Prva gimnazija- klasični smjer, Split

2012.-2015. Sveučilišni odjel zdravstvenih studija Split, smjer radiološka tehnologija

Vještine:

Strani jezici : Engleski (pismo i govor)

Njemački (osnovno)

Vozačka dozvola: kategorija B

Rad na računalu: Korištenje interneta i MS Office paket