

Utjecaj radnih mjesta i postupaka na profesionalnu izloženost ionizacijskom zračenju u PET/CT dijagnostici

Horvatić, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2014

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:176:470514>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-08**

Repository / Repozitorij:



Sveučilišni odjel zdravstvenih studija
SVEUČILIŠTE U SPLITU

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



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU

Podružnica

SVEUČILIŠNI ODJEL ZDRAVSTVENIH STUDIJA

PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ

RADIOLOŠKA TEHNOLOGIJA

Luka Horvatić

**UTJECAJ RADNIH MJESTA I POSTUPAKA NA
PROFESIONALNU IZLOŽENOST IONIZACIJSKOM
ZRAČENJU U PET/CT DIJAGNOSTICI**

Završni rad

Split, 2014.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

Podružnica

SVEUČILIŠNI ODJEL ZDRAVSTVENIH STUDIJA

PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ

RADIOLOŠKA TEHNOLOGIJA

Luka Horvatić

**UTJECAJ RADNIH MJESTA I POSTUPAKA NA
PROFESIONALNU IZLOŽENOST IONIZACIJSKOM
ZRAČENJU U PET/CT DIJAGNOSTICI**

Završni rad

Mentor:

Mr.sc. Darijo Radović, viši predavač

Split, 2014.

Sadržaj :

1. UVOD	2
1.1. Osnove nuklearne fizike	3
1.1.1. Građa i sile atoma	3
1.1.2. Izotopi	4
1.1.3. Radioaktivni raspadi atoma	4
1.2. Pozitronska emisijska tomografija	5
1.2.1. PET/CT uređaj	5
1.2.2. Princip rada PET-a.....	6
1.2.3. Građa PET/ CT uređaja	7
1.2.4. Proces nastanka slike	8
1.3. Protokol snimanja u PET/CT dijagnostici	9
1.3.1. Radiofarmak (FDG-fluorodeoski glukoza)	9
1.3.2. Tijek pretrage	11
1.4. Zaštita od ionizirajućeg zračenja	13
2. CILJ RADA	16
3. IZVORI PODATAKA I METODE	17
4. REZULTATI	18
5. RASPRAVA	25
6. ZAKLJUČAK	27
7. SAŽETAK	28
8. SUMMARY	29
9. LITERATURA	30
10. ŽIVOTOPIS	31

1. Uvod

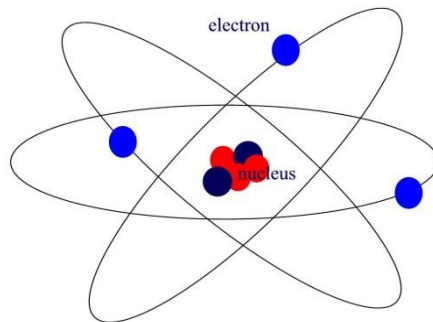
Nuklearna medicina je grana medicine u kojoj se u terapijske i dijagnostičke svrhe koriste izvori ionizirajućeg zračenja tj. radionuklidi. Oni se unose u organizam intravenski, peroralno ili na neki drugi način i to u obliku spojeva tzv. radiofarmaka. Da bi bolje razumjeli nuklearnu medicinu i princip rada uređaja koji zauzimaju mjesto u navedenoj grani medicine, trebamo se vratiti na osnove fizike, odnosno na samu građu i svojstvo atoma jer atom je polazna jedinica za znanje o funkcioniranju PET/CT uređaja. PET/CT uređaj je tomografska i molekularna slikovna metoda koja nam daje podatke o anatomskim i biokemijskim funkcijama u našem tijelu. Neinvazivna je dijagnostička metoda gdje se uz pomoć radiofarmaka (FDG), dobije slika koja nam govori o metaboličkim procesima unutar pacijentovog tijela. PET/CT koristi ionizirajuće zračenje u oba modaliteta i PET i CT, te je zaštiti potrebno posvetiti puno pažnje. U ovom radu analizirat ćemo izloženost zračenju djelatnika prema radnim mjestima u PET/CT dijagnostici. Spoznaja o izloženosti zračenju i načinu zaštite, važan je dio svakodnevnog rada odjela u PET/CT dijagnostici, u kojoj je radiološki tehnolog važan dio dijagnostičkog tima. (1)

1.1. Osnove nuklearne fizike

1.1.1. Građa i sile atoma

Atom je osnovna građevna jedinica tvari koji se sastoji od:

- 1) atomske jezgre (protoni i neutroni čine 99.98 % mase cijelog atoma)
- 2) elektronskog omotača (elektroni se nalaze u ljuskama, masa je zanemariva)



Atomic Planetary Model

Slika 1. Model atoma.

(http://www1.union.edu/newmanj/Physics100/Light%20Production/producing_light.htm)

Atomska jezgra sadrži pozitivno nabijene protone i neutrone koji zajedno čine nukleone.

Jezgra je definirana s :

- 1) atomskim, protonskim ili rednim brojem (Z)

$Z = N(p) = N(e) \rightarrow$ redni broj atoma je jednak broju elektrona i protona u atomu.

- 2) nukleonskim ili masenim brojem (A)

$A = N(p) + N(n) \rightarrow$ maseni broj atoma je jednak zbroju protona i neutrona koji su smješteni u jezgri.

Elektronski omotač je građen od elektrona koji su negativno nabijeni. Raspoređeni su u orbitalama ili ljuskama. Orbitale su različitih veličina i ne sadržavaju isti broj elektrona jer broj elektrona eksponencijalno raste s brojem orbitale, što znači da najviše elektrona sadržava najudaljenija orbitala. Svojstvo atoma da popuni najudaljeniju orbitalu se naziva afinitet prema elektronu. (16)

1.1.2. Izotopi

Atomi istog elementa koji imaju isti broj protona i elektrona, a različit broj neutrona se nazivaju izotopi. Imaju ista kemijska, ali različita fizička svojstva što znači da im se razlikuje masa jezgre, a time i sama masa atoma. Izotopi mogu biti stabilni i nestabilni. Izotopna stabilnost je uvjetovana omjerom neutrona i protona. Ako im je broj isti, izotop je stabilan. Atom kemijskog elementa kojima je poznat redni ili protonski broj i broj nukleona ($N(p)+N(e)$) je nuklid. Poznato je 3100 različitih nuklida od kojih je oko 2700 umjetnih i oko 350 prirodnih. Većina ih je nestabilnih te se nazivaju radionuklidima. (16)

1.1.3. Radioaktivni raspad

Radioaktivnost je spontano emitiranje alfa i beta čestica uz emitiranje gama elektromagnetskih valova. U procesu radioaktivnosti kemijski elementi prelaze iz jednih u druge, gdje se oslobađa kinetička energija u obliku emitiranih čestica ili elektromagnetskih valova. Jezgra svakog kemijskog elementa ima svoje karakteristično vrijeme poluraspada. Vrijeme poluraspada je vrijeme koje je potrebno da se raspadne polovica od početnog broja jezgara.

Tri su osnovne vrste radioaktivnog raspada :

a) α raspad

Atomska jezgra se pretvara u drugu uz emitiranje α čestica. Maseni i redni broj se mijenjaju, a time i kemijska svojstva jer jezgra koja se raspada i jezgra koja je nastala raspadom su različiti kemijski elementi.

b) β raspad

Izazvan je utjecajem slabe nuklearne sile pri čemu jezgra zrači elektron i pozitron. Dolazi do promjene protonskog broja odnosno stvaranja novog elementa, a maseni broj je isti.

c) γ raspad

Drukčiji je od α i β raspada. Jezgra prelazi iz pobuđenog stanja u stabilno stanje uz emitiranje gama čestica ili fotona. (16)

1.2. Pozitronska emisijska tomografija

1.2.1. PET/CT uređaj

PET/CT uređaj je slikovna metoda koja u jednom genteriju kombinira PET detektor (engl. positron emission tomography) i x-ray detektor, odnosno CT (engl. computed tomography). Slike koje se dobiju od svakog uređaja zasebno, se međusobno kombiniraju pri čemu dobijemo traženu sliku koja govori puno o aktivnostima i procesima koji se događaju u pacijentovom tijelu. PET je odgovoran za naša znanja o metaboličkim i biokemijskim procesima tijela, dok nam CT pokazuje anatomsku građu tijela. (1)

PET ili pozitronska emisijska tomografija (engl. positron emission tomography) je najosjetljivija molekularna slikovna metoda današnjice kojom se pomoću intravenski primjenjenih pozitronskih emitera mogu prikazati različite metaboličke stanične funkcije. Najosjetljivija je molekularna slikovna metoda, te je standardna metoda u praćenju bolesnika s različitim tumorima. Naziv PET datira još od 1974. godine kad je konstruirana kamera koja je imala mogućnost rekonstrukcije tomograma u sve 3 ravnine. (10)



Slika 2. PET/CT uređaj.

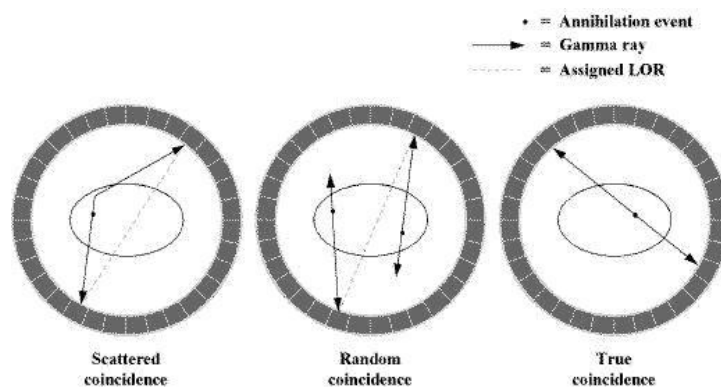
(http://www3.gehealthcare.com.sg/en-gb/products/categories/pet-ct/pet-ct_scanners/optima_pet-ct_560)

PET/CT uređaj je karakterističan i razlikuje se od svih digitalnih i konvencionalnih radioloških uređaja po tome što prikazuje metaboličke procese. Mogućnost promatranja metaboličkih procesa značajno povećava osjetljivost pretrage jer se funkcionalne promjene u tkivima događaju prije morfoloških. (6)

PET/CT kamere se najviše koriste u onkologiji za preciznije planiranje radioterapije u onkoloških bolesnika i zbog svojih prednosti prepoznavanja i razlikovanja tumora od normalnog i zdravog tkiva. Primjenjuju se u neurologiji za epilepsije i demencije, u kardiologiji za dijagnostiku različitih bolesti srca i kod otkrivanja različitih upala. (13)

1.2.2. Princip rada PET-a

PET je molekularna slikovna metoda koja mjeri distribuciju radiofarmaka „in vivo“, odnosno prati njegov put kroz tijelo gdje se on smjesti između organa ili u njih same. Radiofarmak se sastoji od radioaktivnih atoma koji emitiraju pozitron, gdje se on nakon par milimetara prijeđenih u tkivu „sudara“ s elektronom. Tad se oni anihiliraju, odnosno pretvore u 2 fotona od kojih svaki ima energiju od 511 keV i koji se emitiraju u gotovo suprotnim smjerovima. PET se bazira na istovremenoj detekciji tih dvaju fotona, a PET skener se sastoji od slojeva prstenastih detektora koji okružuju pacijenta za vrijeme snimanja. Zadatak detektora je prikupiti milijune i milijune pravih koincidencija koje nam omogućavaju prikupljanje informacija o distribuciji radiofarmaka unutar tijela. Nažalost, svi „sudari“ fotona ne daju pravi signal, već mogu nastati lažni signali koji mogu biti produkt slučajne i raspršene koincidencije. Šum se stvara od fotona koji su raspršeni prije detekcije ili se stvara od slučajne detekcije od dva nepovezana fotona, čime dovodi do slučajne i raspršene koincidencije koje PET kamera odbacuje jer registrira samo prave koincidencije. (11)



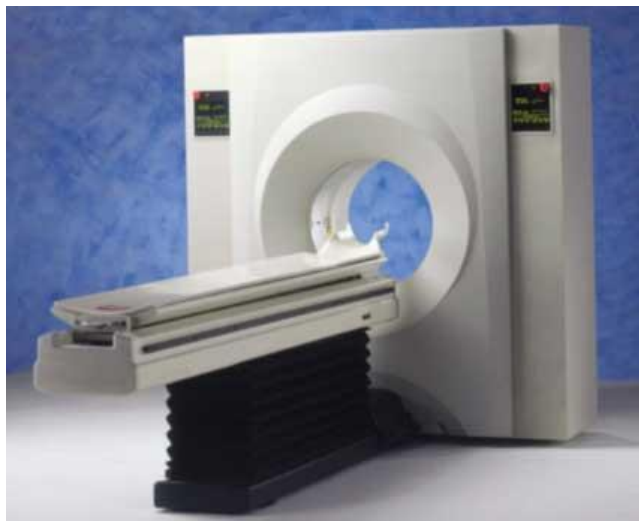
Slika 3. Primjeri raspršene, slučajne i prave koincidencije.

(http://depts.washington.edu/nucmed/IRL/pet_intro/intro_src/section2.html)

1.2.3. Građa PET/CT uređaja

PET/CT uređaj se sastoji od PET prstena i CT prstena. PET skener je veliki, okrugli uređaj gdje se u samoj sredini nalazi otvor u kojoj je smješten pacijent, slično kao i u CT-u i MR-u. Unutar PET skenera se nalaze višestruki prsteni detektora, koji registriraju emisiju fotona od radiofarmaka koji se nalaze unutar tijela pacijenta.

Detektori koji su smješteni unutar PET skenera su građeni od fotomultiplikatorskih cijevi koje su građene od fotokatode, niza dinoda i anode. Uobičajeno je da PET kamera ima višestruki prsten detektora radi bolje efikasnosti samog uređaja. PET nema kolimator i rezolucija ovisi o veličini detektora. Što su detektori manji, to je rezolucija uređaja bolja. (1)



Slika 4. PET skener.

(http://www.csulb.edu/~cwallis/482/petscan/pet_lab.html)

CT uređaj je dijagnostički uređaj koji predstavlja računalnu rekonstrukciju aksijalnog tomografskog sloja na osnovu mnogostrukog mjerenja apsorpcijskih vrijednosti X - zraka. CT uređaj se sastoji od gentryja u kojem je smještena rendgenska cijev i detektora X – zraka koji su smješteni nasuprot cijevi. Tijekom snimanja pacijent leži na stolu i oko njega se sinkronizirano okreću rendgenska cijev i detektori. X zraka prolazeći kroz tijelo pacijenta, izaziva fluorescenciju detektora pri čemu se stvara odgovarajući električni potencijal odnosno analogni impuls. Analogni impuls putuje do AD (analogno- digitalnog) pretvarača gdje se analogni signal pretvara u digitalni. Digitalni signal putuje do upravljačke konzole gdje se vrši njegova obrada. Upravljačka konzola je također sastavni dio PET/CT uređaja koja se nalazi u prostoriji gdje radiološki tehnolozi upravljaju radom samog uređaja. Na monitoru upravljačke konzole se

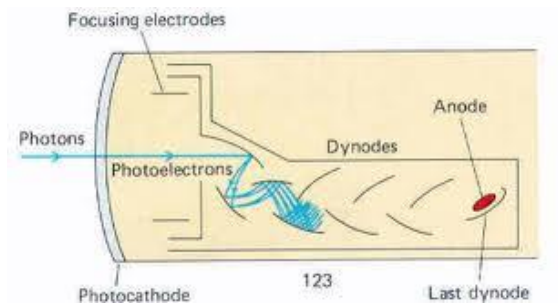
prikazuje slika koju možemo dodatno obraditi, poboljšati i spremiti. Dio upravljačke konzole je i mikrofonski preko kojeg se vrši komunikacija radiološkog tehnologa s pacijentom. (10)

1.2.4. Proces nastanka slike

Prije pretrage, pacijentu se aplicira radiofarmak intravenskim putem. Nakon određenog vremena, pacijent se polegne na stol te pretraga započne s CT-om koji je bitan u ovoj pretrazi jer prikazuje anatomske strukture i služi za korekciju atenuacije. Pretraga se nastavlja s PET skeniranjem koji prikazuje metaboličke procese u tijelu. Slike koje su nastale se međusobno kombiniraju pomoću kompjutorskih algoritama, stvarajući PET/CT sliku koja se prikaže na upravljačkoj konzoli koju radiološki tehnolog može pohraniti ili dodatno obraditi.

Nastajanje slike u PET/CT dijagnostici najviše ovisi o procesu luminiscencije. To je proces u kojem se energija zračenja pretvara u energiju svjetlosti pomoću scintilacijskih kristala. Scintilacijski kristali su određeni materijali, koji primajući ionizirajuće zračenje dovode svoje vlastite atome do potrebe da ih pobude u viša energijska stanja, a oni se iz tog stanja vraćaju emitiranjem vidljive svjetlosti.

Fotomultiplikatorske cijevi (engl. Photomultiplier tubes) čine detektore koji su smješteni unutar PET skenera. Građene su od scintilacijskog kristala, fotokatode, niza dinoda i anode. Gama zrake se emitira iz pacijentovog tijela gdje dolazi u kontakt s detektorom, odnosno scintilacijskim kristalom fotomultiplikatorske cijevi. Tu se događa proces luminiscencije, gdje se gama zraka pretvori u foton vidljive svjetlosti. Najčešći scintilacijski kristal za detekciju gama zraka jest anorganski kristal natrij-jodida s 5 % -nim dodatkom talija. Kristali moraju imati osobinu efikasnog zaustavljanja fotona i pretvaranja ionizacijskih fotona u fotone svjetla, da bi uređaj stvorio savršenu sliku. Stvoreni foton prelazi u fotomultiplicirajuću cijev gdje prvo prolazi kroz fotokatodu, čiji je zadatak emitiranje fotoelektrona koji dolazi do sustava dinoda, gdje od jednog fotoelektrona nastaju tisuće njih koje se na svakoj dinodi dodatno multipliciraju. Zadnja etapa je njihovo nakupljanje na anodi gdje se stvara napon.



Slika 5. Shematski prikaz fotomultiplicirajuće cijevi

(<http://www.astro.virginia.edu/class/oconnell/astr511/lec11-f03.html>)

Napon stvara signal koji se detektira i procesira do sklopova za analizu signala. Sklop emitira signal koji je proporcionalan energiji γ fotona kojeg su detektori registrirali, s tim da je analizator visine pulseva (engl. Puls height analyser) također u vezi s sklopom gdje se prihvaćaju primljeni pulsevi samo određene energije koji budu prikazani na displeju. Pulsevi koji ne zadovoljavaju s razinom svoje energije budu odbačeni. (8)

1.3. Protokol snimanja

Protokol kojeg se treba pridržavati i priprema pacijenta prije snimanja je obveza medicinskog osoblja koje je zaposleno u PET/CT dijagnostici. Zaposlenici čine medicinski tim koji zajedno s timskim radom, bolje i efikasnije rješavaju probleme koji su pred njima.

Medicinski tim čine :

- 1) Liječnici (specijalist nuklearne medicine i specijalist radiologije)
- 2) Dva radiološka tehnologa (jedan za primjenu radiofarmaka, a drugi za snimanje)
- 3) Medicinske sestre

1.3.1. Radiofarmak (FDG – fluorodeoksiglukoza)

Priprema ga radiološki tehnolog u vrućem laboratoriju (HOT). Dijagnostički se koristi za otkrivanje tumora, hiberniranog miokarda te za otkrivanje temporalne epilepsije. Bezbojna je do blijedo žuto bistra otopina. Djelatna tvar je fluor 18, koja se otkriva pomoću PET-a i prikazuje kao slika, dok su ostali sastojci natrijev klorid i voda za injekcije. Fluor 18 ima vrijeme poluraspada od 110 min i emitira pozitronsko zračenje maksimalne energije od 634

keV, nakon kojeg se događa emisija dvaju fotona čija je maksimalna energija 511 keV. FDG se pakira u višedoznu bočicu od 15 ml i prenosi se u olovnom spremniku.



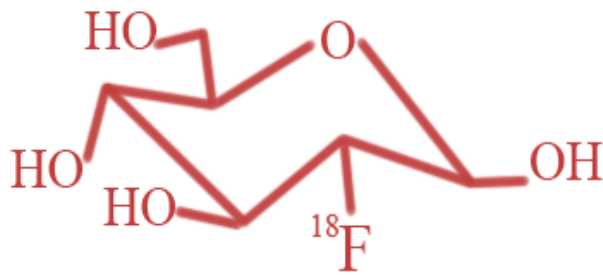
Slika 6. Olovni spremnik u kojoj se prenosi FDG.

Čuva se na temperaturi od 25 °C i aplicira se intravenski. Dozu koju pacijent prima određuje liječnik specijalist (nuklearne medicine) prije pretrage. Preporučena radioaktivnost za odrasle je od 100-400 MBq (MBq – mega bekerel), a dozu za djecu je potrebno izračunati jer ovisi o njihovoj težini. Nuspojave koje uzrokuje FDG su nepoznate jer jedina opasnost dolazi od izlaganja zračenju.

Kontraindikacije za primjenu FDG-a su :

- 1) Trudnoća
- 2) Alergija na bilo koji sastojak unutar FDG-a
- 3) Dojenje

Oprezni trebamo biti kad pacijent boluje od šećerne bolesti. Kontrola razine glukoze u krvi prije pretrage je obavezna jer pacijent ne smije imati razinu šećera u krvi veću od 10 mmol/l. U suprotnom, ako je razina šećera veća od dopuštene, pretraga neće biti vjerodostojna zbog prevelike količine glukoze koja se skuplja u različitim dijelovima tijela, pogotovo u mišićima i mozgu. (9)



F-18 FDG

Slika 7. Kemijski spoj FDG-a.

(<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:FDG.png>)

1.3.2. Tijek pretrage

Liječnik specijalist, treba ispuniti zahtjev za PET/CT pretragu gdje se navodi protokol snimanja (PET „low dose“ CT s dodatnim dijagnostičkim CT-om ili PET „low dose“ CT), uputna dijagnoza i prethodne pretrage na kojima je pacijent bio. Odobrava zahtjev za pretragom i razgovara s pacijentom, gdje mu govori kako se pripremiti prije pretrage i što treba donijeti na nju. (5)

Priprema koju pacijent treba obaviti prije pretrage se sastoji od :

- 1) Izbjegavanja bilo kakve fizičke aktivnosti na dan pretrage
- 2) Izbjegavanja duhanskih proizvoda, alkohola i napitaka s visokom razinom šećera dan prije pretrage
- 3) Ne smije jesti minimalno 4 sata prije pretrage
- 4) Potrebno je uzimati velike količine vode (hidracija) da ne bi došlo do oštećenja bubrega koje može izazvati radiološko kontrastno sredstvo

Kad pacijent dođe u centar PET/CT dijagnostike, prvo što treba napraviti je prijaviti se medicinskoj sestri na šalteru. Ona uzima njegove podatke (razina šećera u krvi, visina, težina), bilježi vrijeme zadnjeg obroka i lijekove koje pacijent uzima te postavlja venski put. Podatke koja je ona upisala u kompjutorsku jedinicu i formular (PET/CT upitnik), pošalje liječniku specijalistu koji se prikažu na njegovoj radnoj stanici. Liječnik pomoću podataka o pacijentovoj

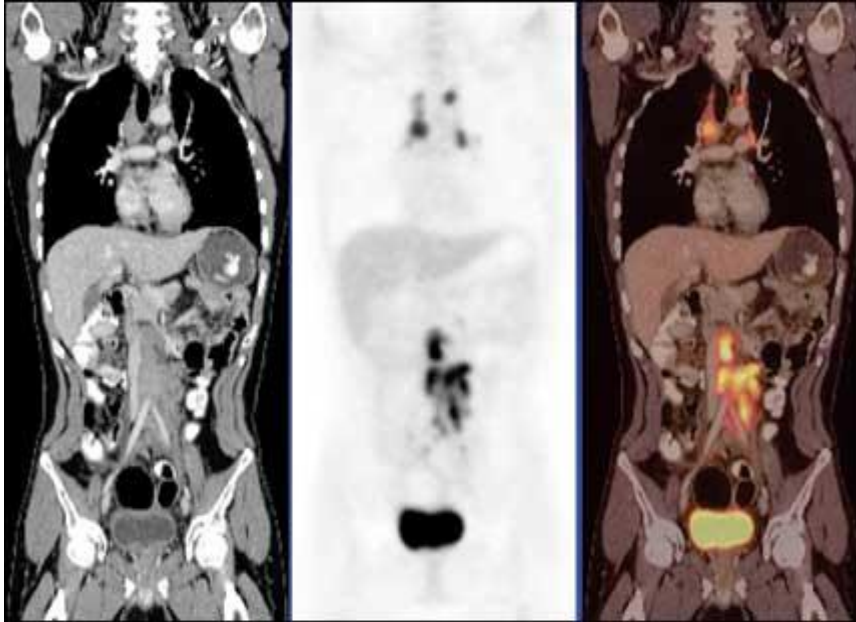
težini i visini, odredi dozu i vrstu radiofarmaka koja će pacijentu biti aplicirana. Nakon razgovora s liječnikom pacijent se vraća do med. sestre koja ga upoznaje s pretragom, objašnjavajući mu s čim će se sve susresti. Dok pacijent čeka, inženjer u vrućem laboratoriju priprema njegov radiofarmak. HOT ili vrući laboratorij je prostorija u kojoj se priprema radioaktivni izotop. Obzirom na kratko vrijeme poluživota F 18, potreban je uhodan medicinski tim da bi proces tekao kontinuirano jer u suprotnom dolazi do nepotrebnog gubitka vremena koje smanjuje raspoloživu dozu radiofarmaka. Radiološki tehnolog smjesti FDG unutar uređaja za automatsko navlačenje (FDG gdje se pripremi injekcija) koji automatski na osnovu zadanih parametara u injekciju navuče dozu za jednog pacijenta.



Slika 8. Uređaj za automatsko navlačenje FDG-a.

Najčešća doza za jednog pacijenta je između 6-8 mCi (mili Curie). Kad je injekcija pripremljena, medicinska sestra pozove pacijenta da uđe i aplicira mu FDG nakon čega se smješta u posebnu prostoriju „uptake room“. U toj prostoriji pacijent boravi 1 h jer toliko vremena treba FDG-u da se akumulira u tijelu. Opuštanje je potrebno, jer se razina glukoze maksimalno smanjuje i ne ometa pretragu. U suprotnom, zbog povećeg straha ili uzbuđenosti, u pacijentovom tijelu će se povećati razina glukoze u mišićima što uvelike ometa pretragu i čini je nevaljanom. Nakon 1 h, radiološki tehnolog koji radi na konzoli pozove pacijenta na pretragu te ga polegne na stol s rukama podignutim iznad glave kako bi ga stabilizirao i kako ne bi došlo do mogućih artefakata u području toraksa i abdomena. Kada namjesti pacijenta, radiološki tehnolog se vrati u svoju radnu sobu gdje može započeti pretragu s „low dose“ CT skenom koji služi kao topogram (orijentir) i za korekciju atenuacije, a prije toga je unio podatke o težini i visini koji su važni za SUV (engl. Standard uptake value) vrijednosti. Tijekom pretrage koja traje oko 20-25 minuta, ispunjava svoj dio obrasca u kojem opisuje koji je protokol koristio,

vrijeme početka i kraja pretrage, vrijednost „uptake“, debljinu sloja i kontrast koji je dao pacijentu. (10) Najčešća veličina polja snimanja je od vrha glave do 2/3 natkoljenice.



Slika 9. Rezultat uspješne suradnje inženjera i pacijenta → kvalitetna PET/CT slika.

(<http://www.dh.org/about-pet-ct>)

1.4. Zaštita od ionizirajućeg zračenja

Tijekom PET/CT dijagnostike zaposlenici su izloženi ionizacijskom zračenju, x zračenju CT uređaja za vrijeme snimanja, te gama zračenju radioaktivnog izotopa. Zračenju iz izotopa djelatnici su izloženi za vrijeme pripreme i injiciranja radiofarmaka (iz bočice i injekcije s radiofarmakom), te od pacijenta koji je izvor zračenja od injiciranja pa do napuštanja prostorija centra. Zbog toga je i izloženost zračenju na pojedinim radnim mjestima različita, obzirom na moguće izvore (injekcija ili pacijent) i duljinu izlaganja.

Princip zaštite od zračenja → ALARA (engl. „as low as resonably achievable“) u PET/CT dijagnostici je najvažniji kao i u svim ostalim dijagnostikama s izvorima ionizirajućeg zračenja. Bitno je biti što kraće i što dalje od izvora ionizirajućeg zračenja, u ovom slučaju pacijenta, a treba posebno naglasiti da budemo što dalje jer intezitet zračenja opada s kvadratom udaljenosti. Uz osnovna načela kojih se treba pridržavati, zakonski je obvezno nositi dozimetre

koji mjere primljene doze zračenja. U PET/CT dijagnostici, zaštita je na jako visokoj razini jer je radiološki tehnolog u vrućem laboratoriju jako dobro zaštićen jer FDG kovčeg kao i uređaj za automatsko navlačenje FGD-a su izgrađeni od olova što daje maksimalnu sigurnost. Ako je moguće, medicinska sestra aplicira FDG pacijentu preko zaštitne olovne pregrade da bi dozu smanjila na minimum. Olovna vrata i olovno staklo su najčešća zaštitna sredstva od X –zraka koje se emitiraju iz uređaja i gama zraka koje se emitiraju iz pacijenta.

Obzirom da je zračenje nevidljivo ljudskim osjetilima, za mjerenje detekcije se koriste uređaji za detekciju i mjerenju zračenja kao što su ionizacijske komore, Gieger Mullerov brojač te osobni dozimetri (TLD, filmski i ED). (14)

Ionizacijske komore služe za mjerenje apsorbirane doze u zraku i zračenje mjeri na principu ionizacije plina. Plin ima ulogu mjerne tvari, a komora u sebi sadrži dvije elektrode (katoda i anoda). Tijekom prolaska kroz komoru, zračenje ionizira plin gdje se stvaraju pozitivni i negativni ioni. Pozitivni ioni putuju prema katodi (negativna elektroda), a negativni ioni prema anodi (pozitivna elektroda). Kretanjem iona se stvara naboj gdje se iz naboja stvara mjerni puls. Ionizacijskom komorom možemo mjeriti energiju X zraka, beta čestica i gama zraka.

Gieger Muller-ov brojač je plinski detektor koji može razlikovati alfa čestice od beta čestica i gama zraka. Radi na principu ionizacijske komore, odnosno na temelju ionizacije plina čiji je princip već opisan. Oni ne broje dozu, već broje impulse i zato služe za detekciju zračenja, dok je ionizacijskim komorama primarno odrediti kolika je opasnost od zračenja. (14)



Slika 10. Gieger Mullerov brojač

(<http://www.amt-metriks.ba/cms/index.php?mjeraci-radioaktivnost>)

Dozimetri su uređaji koji mjere količinu ionizacijskog zračenja koje se apsorbiralo u tkivu čovjeka ili su to uređaji koji mjere energiju koje je zračenje predalo nekoj tvari. Najčešće se koriste:

- 1) Filmski dozimetar
- 2) Termoluminiscentni dozimetar
- 3) Elektronski dozimetar

1) Filmski dozimetar („Film Badge“)

Kod filmskog dozimetra ionizirajuće zračenje pada na filmsku ploču koja se zacrni i to zacrnjenje filmske ploče je proporcionalno apsorbiranoj dozi zračenja. Sadrži različite filtre koji nam daju informacije o različitim energijama zračenja. Najjednostavniji su i najjeftiniji, ali sve je više istisnut od strane TLD dozimetara.

2) Termoluminiscentni dozimetar („TLD“)

Rad TLD dozimetara se bazira na pojavi termoluminiscencije. Kristali poput litijevog fluorida koji čine TLD dozimetar su izloženi ionizirajućem zračenju. U svojoj vlastitoj kristalnoj strukturi oni sačuvaju apsorbiranu energiju zračenja, koja se pri odgovarajućim uvjetima zagrijavanja može osloboditi u vidu svjetlosti i detektirati. Intenzitet emisije svjetlosti je proporcionalan energiji koju je kristal apsorbirao tijekom samog ozračivanja. TLD dozimetar je osjetljiviji od filmskog.

3) Elektronski dozimetar

Digitalni je dozimetar koji osim što mjeri akumuliranu dozu, bilježi brzinu i trajanje izloženosti djelatnika vrlo niskom raspršenom zračenju. U odnosu na TLD i filmske dozimetre čiji je nedostatak odgođeno dobivanje rezultata, elektronski dozimetar izravno očitava primljenu dozu, čime omogućava bolju zaštitu i drukčiji uvid u opterećenje djelatnika raspršenom zračenju. (14)

2. CILJ RADA

Obzirom na različitu izloženost zračenju djelatnika u PET/CT dijagnostici, te u cilju pronalaženja načina za smanjivanje izloženosti ovim radom smo željeli :

- 1) Utvrditi da li postoje razlike u izloženosti zračenju ovisno o radnim mjestima.
- 2) Utvrditi da li dnevni broj pacijenata utječe na izloženost zračenju.
- 3) Da li postoje razlike u površinskoj (Hp7) i dubinskoj dozi (Hp10).
- 4) Proanalizirati koji postupci na pojedinim radnim mjestima najviše doprinose primljenim dozama.
- 5) Utvrditi moguća poboljšanja i preporuke za radne postupke koji će doprinijeti smanjivanju izloženosti zračenju.

3. IZVORI PODATAKA I METODE

U istraživanju koje je provedeno, ispitanici su zaposlenici PET/CT centra, a to su medicinske sestre i radiološki tehnolozi koji su tijekom svog radnog vremena nosili ED dozimetre, koji su pratili doze zračenja koja se apsorbirala u različitim dubinama njihovog tkiva (Hp 7 i Hp 10). Istraživanje je trajalo u vremenskom razdoblju od 10 dana gdje su medicinske sestre i radiološki tehnolozi zapisali dozu zračenja koju su primili za vrijeme svog rada u jednom danu. Doze koju su primili tijekom 10 dana se razlikuju i ovise o mjestu na kojem su radili tog dana. Na kraju svakog radnog dana očitali smo izmjerene vrijednosti (Hp 7 i Hp 10), koje su zapisane u tablicama.

Hp je veličina koju mjeri dozimetar. H od Hp se općenito koristi za objašnjenje ekvivalentne doze, a jedinica je Sievert dok P od Hp- a uobičajeno znači osobna ekvivalentna doza. Točna definicija Hp 10 jest da je to doza koja je jednaka količini zračenja koja se nalazi na dubini od 10 mm unutar ljudskog tijela. Slično je i sa jedinicom od Hp 7 koja označava količinu zračenja koja se nalazi na dubini od 0.07 mm unutar ljudskog tijela.

Također smo analizirali podatke o primljenim dozama zaposlenika u duljem vremenskom razdoblju. Podatke smo dobili iz mjesečnih izvješća ovlaštenog stručnog servisa koji su očitani na TLD dozimetrima, koje svi izloženi djelatnici obavezno nose na prednjem dijelu uniforme.

4. REZULTATI

U promatranom periodu od 10 dana snimljeno je 90 pacijenata, dnevno prosječno 9 pacijenata, koji su na pretragu upućeni zbog onkoloških bolesti. S ED dozimetrima su očitane primljene doze (jedinica je mikro Sievert) za radna mjesta medicinske sestre, radiološkog tehnologa u vrućem laboratoriju (HOT) i tehnologa na konzoli.

Mjerenje doze na ED dozimetru prema danima i prema radnim mjestima, dana su u tablicama i grafikonima.

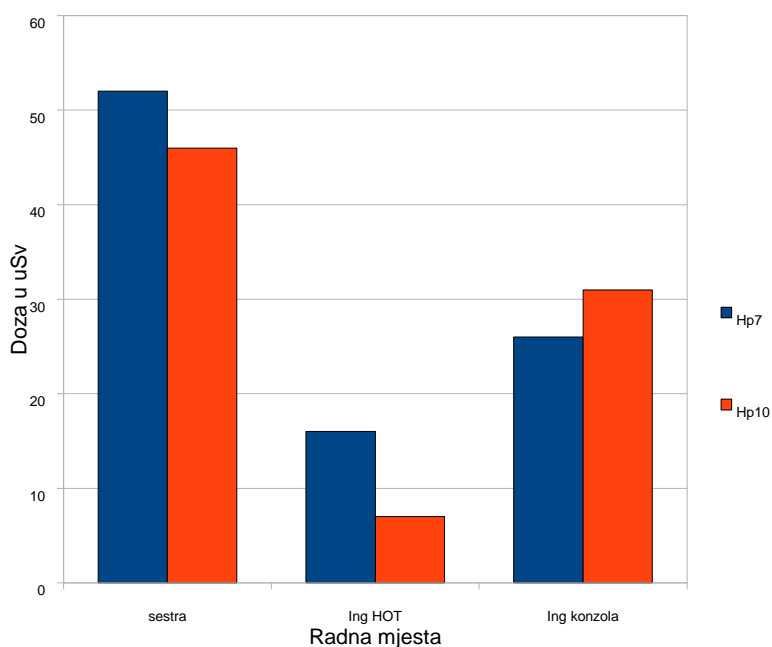
Tablica 1. Doze zračenja (Hp 10 i Hp 7) u uSv prema radnim mjestima po danima.

Radno mjesto	Dan 1		Dan 2		Dan 3		Dan 4		Dan 5	
	Hp7	Hp10	Hp7	Hp10	Hp7	Hp10	Hp7	Hp10	Hp7	Hp10
Medicinska sestra	7	5	6	6	8	5	3	4	6	5
Radiološki tehnolog (HOT)	4	1	2	0	1	0	2	1	0	0
Radiološki tehnolog (konzola)	4	5	3	4	3	3	1	2	4	3
Broj pacijenata	8		9		9		9		9	

Radno mjesto	Dan 6		Dan 7		Dan 8		Dan 9		Dan 10	
	Hp7	Hp10	Hp7	Hp10	Hp7	Hp10	Hp7	Hp10	Hp7	Hp10
Medicinska sestra	7	5	2	3	4	4	4	5	5	4
Radiološki tehnolog (HOT)	0	1	4	2	1	0	1	0	1	2
Radiološki tehnolog (konzola)	1	3	2	3	5	3	0	2	3	3
Broj pacijenata	10		9		9		9		8	

Tablica 2. Ukupne doze (Hp 7 i Hp 10) u uSv prema radnim mjestima.

Radno mjesto	Ukupno	
	Hp7	Hp10
Medicinska sestra	52	46
Radiološki tehnolog (HOT)	16	7
Radiološki tehnolog (konzola)	26	31

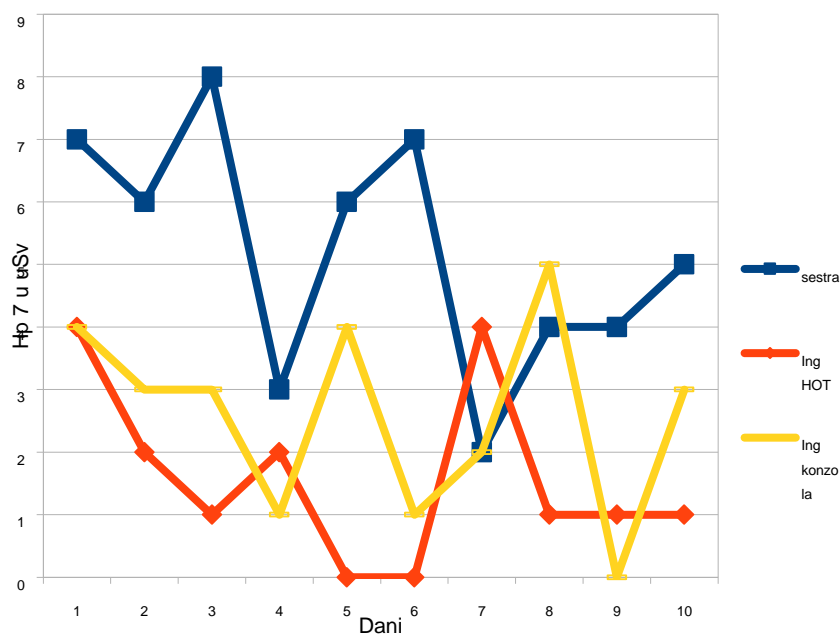


Grafikon 1. Primljene doze kod ispitanika (Hp 7 i Hp 10) u uSv tijekom desetodnevnog istraživanja

Iz tablice 2 i grafikona 1 možemo vidjeti da smo najveću dozu zabilježili na radnom mjestu medicinske sestree.

Tablica 3. Primljene doze (Hp 7) u uSv prema radnim mjestima tijekom 10 dana s dnevnim brojem pacijenata

Dan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medicinska sestra	7	6	8	3	6	7	2	4	4	5
Radiološki tehnolog (HOT)	4	2	1	2	0	0	4	1	1	1
Radiološki tehnolog (konzola)	4	3	3	1	4	1	2	5	0	3
Broj pacijenata	8	9	9	9	9	10	9	9	9	8

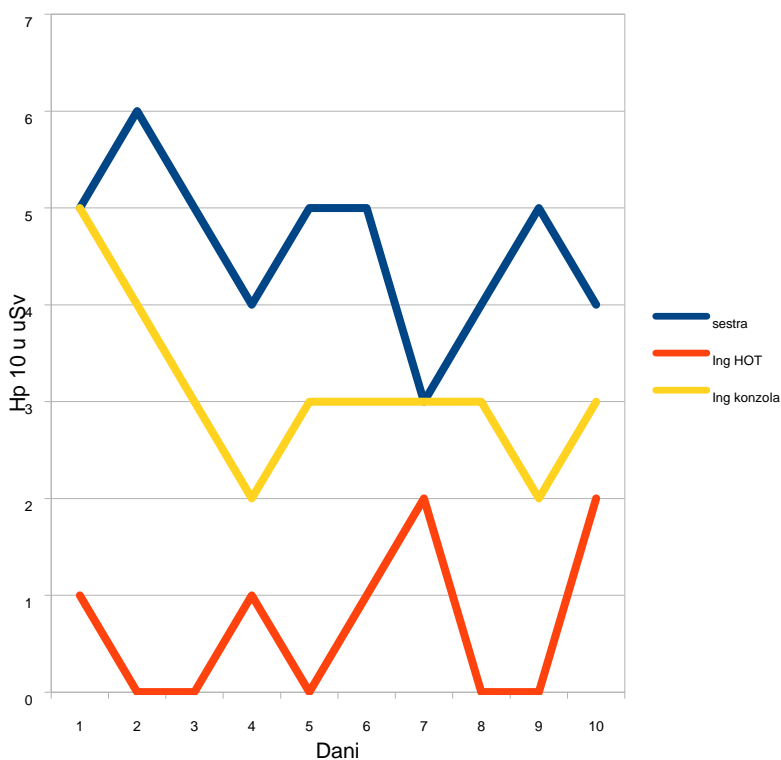


Grafikon 2. Krivulja primljenih doza (Hp 7) u uSv prema radnim mjestima tijekom 10 dana

Tablica 3 i grafikon 2 prikazuju kretanje zabilježene površinske doze (Hp7) prema danima iz kojih je vidljivo da medicinska sestra prima najveću površinsku dozu nakon kojeg je slijede radiološki tehnolog na konzoli i tehnolog u vrućem laboratoriju.

Tablica 4. Primljene doze (Hp 10) u uSv prema radnim mjestima tijekom 10 dana s dnevnim brojem pacijenata

Dan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medicinska sestra	5	6	5	4	5	5	3	4	5	4
Radiološki tehnolog (HOT)	1	0	0	1	0	1	2	0	0	2
Radiološki tehnolog (konzola)	5	4	3	2	3	3	3	3	2	3
Broj pacijenata	8	9	9	9	9	10	9	9	9	8



Grafikon 3. Krivulja primljenih doza (Hp 10) u uSv prema radnim mjestima tijekom 10 dana.

Tablica 4 i grafikon 3 prikazuju kretanje zabilježene dubinske doze (Hp 10) prema danima iz kojih se može očitati da najveću dubinsku dozu prima medicinska sestra, potom radiološki tehnolog na konzoli, a najmanje tehnolog u vrućem laboratoriju.

Prema izvješću osobne dozimetrije zračenja ovlaštenog servisa, napravljene su tablice koje prikazuju primljene doze zaposlenika u dužem vremenskom razdoblju.

Tablica 5. Primljene doze (uSv) zaposlenika prema radnim mjestima u 2012.g., te petogodišnjem i četrnaestogodišnjem razdoblju.

Korisnik	Doza/status	Ukupno u 2012.g.	Ukupno u 5g. razdoblju	Ukupno od 01.01.2000.
Viša medicinska sestra	<85	0	1490	1490
Med. sestra	<85	0	550	550
Radiološki tehnolog	<85	0	290	290
Radiološki tehnolog	<85	0	490	1370
Radiološki tehnolog	<85	0	109	229
Radiološki tehnolog	<85	70	490	700
Dr.med.,nukl. med.	<85	0	200	2130
Dr. med. radiologije	<85	0	0	670

Tablica 6. Primljene doze (uSv) zaposlenika prema radnim mjestima u 2013. g., te petogodišnjem i četrnaestogodišnjem razdoblju.

Korisnik	Doza/status	Ukupno u 2013.g.	Ukupno u 5g. razdoblju	Ukupno od 01.01.2000.
Viša medicinska sestra	<85	0	1490	1490
Med. sestra	<85	0	550	550
Radiološki tehnolog	<85	0	290	290
Radiološki tehnolog	<85	0	490	1370
Radiološki tehnolog	<85	0	109	229
Radiološki tehnolog	<85	0	490	700
Dr.med.,nukl. med	<85	0	200	2130
Dr.med., radiologije	<85	0	0	670

Tablica 7. Prilježene doze (uSv) zaposlenika prema radnim mjestima u 2014.g., te petogodišnjem i četnaestogodišnjem razdoblju.

Korisnik	Doza/status	Ukupno u 2014.g.	Ukupno u 5g.razd.	Ukupno od 01.01.2000.
Viša medicinska sestra	<85	110	1600	1600
Med. sestra	<85	0	550	550
Radiološki tehnolog	<85	0	490	1370
Radiološki tehnolog	<85	0	109	229
Radiološki tehnolog	<85	0	560	560
Radiološki tehnolog	<85	0	200	200
Dr.med.,nukl. med.	<85	0	200	2130
Dr.med., radiologije	<85	0	0	670

Tablice 5,6 i 7 prikazuju da je tijekom 3 godine (2012., 2013., i 2014.), TLD dozimetar registrirao samo dozu za jednu medicinsku sestru od 110 uSv, te dozu za jednog radiološkog tehnologa od 70 uSv. Najveću prilježenu dozu tijekom petogodišnjeg razdoblja ima medicinska sestra od 1600 uSv, a u četnaestogodišnjem periodu dr. med., nukl. med od 2130 uSv.

5. RASPRAVA

Svrha istraživanja je utvrditi tko je od ispitanika primio najviše ionizirajućeg zračenja i objasniti zašto su doze na određenim radnim mjestima veće ili manje.

Rezultati koje smo dobili u istraživanju su pokazali da medicinska sestra prima najviše ionizirajućeg zračenja. Nakon medicinske sestre po količini primljene doze zračenja je radiološki tehnolog na konzoli, dok doza tehnologa u vrućem laboratoriju je najmanja.

Najviše zračenja prima medicinska sestra zbog količine vremena kojeg provodi s pacijentom. Također mu aplicira radioaktivni izotop (FDG) intravenskim putem, čime si povećava količinu zračenja koja se apsorbira u njenom tijelu. S obzirom da je prosječan broj pacijenata bio 9, a njeno vrijeme koje provede s jednim pacijentom oko 10 min, možemo zaključiti da dnevno 90 minuta provede s pacijentima kojima je aplicirana različita doza FDG koja ovisi o težini i visini bolesnika. Iz navedenih brojeva, prosječno vrijeme od 90 minuta dnevno koje medicinska sestra provede s pacijentima nije malo, što nam govori da je vrijeme najvažniji čimbenik za primljenu dozu zračenja.

Radiološki tehnolog prima manju dozu zračenja od pacijenta, ali zato njegovu dozu povećava ionizirajuće zračenje iz CT uređaja. Treba namjestiti pacijenta da bi pretraga bila valjanja i da ne bi bilo neželjenih artefakata koji se mogu stvoriti na slici u području toraksa i abdomena. Čest je slučaj da je pacijent starije dobi i ne može se sam kretati, te mu treba pomoć. Ovim postupcima, vrijeme koje radiološki tehnolog provede s pacijentom raste, čime se povećava doza ionizirajućeg zračenja kojem se izlaže.

Radiološki tehnolog u vrućem laboratoriju (HOT) priprema radiofarmak i ne dolazi u kontakt s pacijentom koji je glavni izvor zračenja. Doza koju prima u laboratoriju je najmanja zbog zaštite koja je na jako visokoj razini. Sve u čemu se nalazi FDG ili dolazi u kontakt s FDG-om je napravljeno od olova, čime je zaštita primarna i najvažnija. Time se smanjuje izlaganje radnog osoblja nepotrebnom zračenju od radioaktivnog izotopa.

Broj pacijenata sigurno utječe na izloženost zračenju što nije slučaj u ovom vremenski ograničenom istraživanju, ali bi bilo vidljivo kada bi radili istraživanje u mjesečnim intervalima s većim oscilacijama broja pacijenata.

Stoga su bolji pokazatelj utjecaja broja pacijenata, mjesečna i godišnja izvješća o primljenim dozama. No, način izvještavanja u kojem se očitane doze manje od 85 uSv (mikroSievert) registriraju kao 0 uSv, ograničava primjenu ovih izvješća. Zbog tog, u 2012. g., 2013. g. i 2014. g., doze zaposlenika su 0 uSv, osim radiološkog tehnologa u 2012.g. kojem je doza 70 uSv i medicinske sestre kojoj je doza 110 uSv u 2014. godini.

Tijekom prošlih 5 godina medicinska sestra je primila najveću dozu zračenja od 1600 uSv, nakon kojeg je slijede radiološki tehnolozi s prosjekom od 400 uSv. Rezultate ovlaštenog servisa možemo usporediti s rezultatima desetodnevnog istraživanja gdje je medicinska sestra primila najveću dozu od 52 uSv, nakon kojeg je slijede radiološki tehnolozi na konzoli s dozom od 31 uSv i tehnolog u vrućem laboratoriju s dozom od 16 uSv. Naravno, razlika u dozama je jako velika, zbog velikih razlika u vremenskim periodima u kojima su provedena istraživanja. Stoga, na temelju rezultata, medicinska sestra se najviše izlaže zračenju te potom radiološki tehnolozi.

Tijekom prošlih 14 godina najveću dozu zračenja je primio dr. med., nukl. medicine od 2130 uSv. Obzirom da je PET/CT dijagnostika u Hrvatskoj uvedena tek prije 10 godina, liječnici, medicinske sestre i radiološki tehnolozi su prije rada u PET/CT centru obnašali svoje dužnosti u drugim radiološkim dijagnostikama s izvorima ionizirajućeg zračenja kao što su nuklearna medicina i rendgenski odjel, gdje se također njihova doza bilježila pomoću dozimetra. Iz tog razloga, u tablici vidimo da od 01.01. 2000.g. dr. med. ima najveću primljenu dozu, nakon kojeg ga slijedi medicinska sestra te radiološki tehnolozi.

Tijekom 3 godine (2012.,2013. i 2014.) nitko od zaposlenika nije primio dozu veću od 20 mSv (miliSievert) koja je maksimalno dopuštena godišnja doza propisana zakonom. Doza koju su zaposlenici primili u prethodnih 5 godina, također ne prelazi granicu od 100 mSv što je zakonski propisano najveća doza koju zaposlenik može primiti u razdoblju od 5 uzastopnih godina.

6. ZAKLJUČAK

Postoje razlike u izloženosti zračenju ovisno o radnim mjestima. Najviše ionizirajućeg zračenja prima medicinska sestra. Nakon nje po količini primljenog zračenja je radiološki tehnolog na konzoli, dok najmanje zračenja prima tehnolog u vrućem laboratoriju (HOT-u).

Broj pacijenata vjerojatno utječe na izloženost zračenju, ali ograničeno vrijeme istraživanja nije moglo dati valjane rezultate zbog minimalne oscilacije broja pacijenata. Razlike u dubinskoj (Hp10) i površinskoj dozi (Hp 7) postoje, no nisu značajne.

Medicinska sestra aplicira pacijentu radioaktivni izotop (FDG) i tim se postupkom izlaže ionizirajućem zračenju koje dolazi iz tijela pacijenta. Radiološki tehnolog u vrućem laboratoriju prima dozu zračenja od radiofarmaka kojeg priprema za pacijenta, dok tehnolog na konzoli prima zračenje od pacijenta i CT uređaja.

U PET/CT dijagnostici, s pacijentom treba biti što kraće i po mogućnosti što dalje. Zaštita pacijenta i zaposlenika od zračenja treba biti primarna i najvažnija. Također, radni postupci se mogu poboljšati s modernijim uređajima koji smanjuju raspršeno zračenje i omogućavaju bolju zaštitu radnog osoblja i pacijenta.

7. SAŽETAK

U PET/CT dijagnostici djelatnici su izloženi zračenju, te doze ovise o radnim postupcima, vrsti pretrage, vremenu izlaganja i zaštiti koja se koristi.

Tijekom desetodnevnog istraživanja, ispitanici (medicinska sestra i radiološki tehnolozi) su na svom radnom odjelu nosili ED dozimetre koju su bilježili doze zračenja. Na kraju svakog radnog dana, doza koju su dozimetri zabilježili je očitana, a rezultati su bili zabilježeni u tablici.

U radu smo ispitali razlike u radijacijskom opterećenju između pojedinih radnih mjesta, te smo shvatili da je radno mjesto medicinske sestre pod najvećim radijacijskim opterećenjem, nakon kojeg je slijede radiološki tehnolog na konzoli, te potom radno mjesto tehnologa na pripremi radiofarmaka.

Doza izloženosti ovisi o broju pretraga, mjerama zaštite ali i iskustvu djelatnika tj. njihovoj sposobnosti i spretnosti kojom mogu skratiti vrijeme izloženosti zračenju. Usprkos tome, potrebno je stalno voditi način da se izloženost zračenju kod djelatnika smanji.

8. SUMMARY

In the PET / CT diagnosis, workers are exposed to radiation and that dose depends on operating procedures, radiological searches, exposure time and protection which is used.

During the ten-day survey respondents (nurses and radiology technologists) carried on their work clothes ED dosimeters which recorded the radiation dose. At the end of the each working day, dosimeter was scanned and recorded doses were written in the table.

We examined the differences in the radiation on individual working places and we realized that the medical nurse receives highest radiation dose, after which are following radiologic technologist at the console, and then technologists in preparation of radiopharmaceuticals.

The dose of exposure depends on the number of searches, but experience of employees can too. Their abilities and skills can shorten the time of exposure to radiation. Nevertheless, it is necessary to keep constantly decreasing the radiation exposure.

9. LITERATURA

1. Townsend DW. Positron emission tomography/computed tomography. *Semin Nucl Med* 2008;38:152-66
2. International Commission of Radiation Protection. Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals. ICRP Publication 80. London: Pergamon Press; 1997
3. Lassmann M, Biassoni L, Monsieurs M, Franzius C. The new EANM pediatric dosage card: additional notes with respect to F-18. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2008;35:1666-8
4. Smith TAD. FDG uptake, tumour characteristics and response to therapy: a review. *Nucl Med Commun* 1998;19:97-105
5. Beyer T, Antoch G, Muller S, Egelhof T, Freudenberg LS, Debatin J, et al. Acquisition protocol considerations for combined PET-CT imaging. *J Nucl Med* 2004;45 Suppl 1:25S-35S
6. Weber WA. PET for response assessment in oncology: radiotherapy and chemotherapy. *Br J Radiol* 2005;78:42-9
7. Weber WA. Chaperoning drug development with PET. *J Nucl Med* 2006;47:735
8. Mawlawi O, Townsend DW. Multimodality imaging: an update on PET-CT technology. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2009;36 Suppl 1:S15-S29.
9. Fletcher JW, Djulbegovic B, Soares HP et al. Recommendations on the use of F-18-FDG PET in oncology. *J Nucl Med* 2008;49:480-508
10. Klinička primjena PET/CT dijagnostike u onkologiji, Antonija Balenović i Mirko Šamija
11. http://www.eanm.org/publications/news/news_intro.php?navId=31&PHPSESSID=m v50vs9jg7sn61k78um478sia (05.07.2014.)
12. <http://www.radiologyinfo.org/en/info.cfm?pg=pet> (17.07.2014.)
13. http://www.eanm.org/publications/guidelines/gl_Principles_and_Practice_of_PET-CT_Part_1.pdf?PHPSESSID=nuitlv8ecp3jt8q446bbnsjb94 (10.07.2014.)
14. <http://www.scribd.com/doc/87701581/Mjerenje-ioniziraju%C4%87eg zra%C4%8Denja> (22.08.2014.)
15. www.ekoteh.hr. (15.08.2014.)
16. www.izvorienergije.com/atom.html (06.06.2014.)

10. ŽIVOTOPIS

Osobni podatci :

Ime i prezime : Luka Horvatović

Datum, godina i mjesto rođenja : 17.04.1993., Šibenik

Državljanstvo : Hrvatsko

Adresa : Put kroz Meterize 42, Šibenik

Mobilni telefon : 098 642 765

Email : lukahorv1704@gmail.com

Obrazovanje i osposobljavanje :

1999. - 2007. Osnovna škola Petra Krešimira IV, Šibenik

2007. – 2011. Medicinska i kemijska škola, Šibenik

2011. – 2014. Sveučilišni odjel zdravstvenih studija Split, smjer radiološka tehnologija

Vještine :

Strani jezici : Engleski (pismo i govor)

Vozačka kategorija B

Rad na računalu : Korištenje interneta i MS Office paketa