

# Izloženost zračenju i mjere zaštite pacijenata u PET/CT dijagnostici

---

**Moro, Petra**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

*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:176:956269>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-18**

*Repository / Repozitorij:*



Sveučilišni odjel zdravstvenih studija  
SVEUČILIŠTE U SPLITU

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



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU

Podružnica

SVEUČILIŠNI ODJEL ZDRAVSTVENIH STUDIJA

PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ

RADIOLOŠKA TEHNOLOGIJA

**Petra Moro**

**IZLOŽENOST ZRAČENJU I MJERE ZAŠTITE  
PACIJENATA U PET/CT DIJAGNOSTICI**

**Završni rad**

Split, 2018.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

Podružnica

SVEUČILIŠNI ODJEL ZDRAVSTVENIH STUDIJA

PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ

RADIOLOŠKA TEHNOLOGIJA

**Petra Moro**

**IZLOŽENOST ZRAČENJU I MJERE ZAŠTITE  
PACIJENATA U PET/CT DIJAGNOSTICI**

**Završni rad/ Bachelor's Thesis**

Mentor:

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

Split, 2018.

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Pozitronska emisijska tomografija (PET).....	1
1.1.1. Princip rada PET/CT sustava .....	3
1.1.2. Upućivanje pacijenta na PET/CT .....	7
1.1.3. Izvođenje PET/CT pretrage.....	8
2. CILJ RADA .....	11
3. IZLOŽENOST ZRAČENJU KOD PET/ CT POSTUPKA .....	12
3.1. Izloženost osoblja.....	12
3.2 Izloženost pacijenata .....	14
3.3. Negativne posljedice ionizirajućeg zračenja .....	17
4. NAČINI ZAŠTITE PACIJENATA OD ZRAČENJA U PET/CT DIJAGNOSTICI.....	18
4.1. Načini smanjenja doze kod PET komponente.....	19
4.2. Načini smanjenja zračenja uzrokovanih CT komponentom.....	20
4.3. „Flow motion“ tehnologija.....	22
5. ZAKLJUČAK .....	23
6. SAŽETAK.....	24
7. LITERATURA.....	26
8. ŽIVOTOPIS .....	28

# 1. UVOD

PET/CT pretraga predstavlja kombinaciju funkcionalnog (pozitronska emisijska tomografija - PET, engl. Positron Emission Tomography) i morfološkog (kompjuterizirana tomografija – CT, engl. computed tomography) oslikavanja. To je iznimno korisna pretraga u liječenju i praćenju onkoloških pacijenata, a koristi se i u neurologiji i kardiologiji. Glavna prednost ove pretrage je veća osjetljivost i točnost pri postavljanju dijagnoze i/ili planiranju i ocjenu učinka terapije, no veliki nedostatak su visoke doze zračenja za pacijente, ali i za osoblje. Važan zadatak profesionalnog osoblja koje radi na ovoj dijagnostici je maksimalno smanjenje doze zračenja za pacijente, sve dok je kvaliteta snimke zadovoljavajuća, odnosno korištenje ALARA principa (As Low As Reasonably Achievable) te što je moguća veća zaštita osoblja.

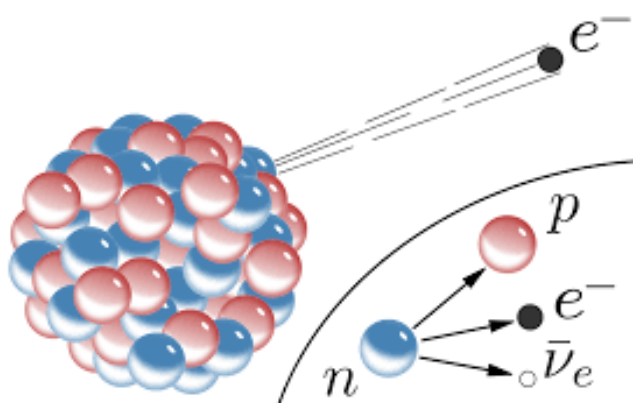
## 1.1. Pozitronska emisijska tomografija (PET)

Pozitronska emisijska tomografija (PET) najosjetljivija je suvremena molekularna slikovna metoda kojom se intravenskom primjenom pozitronskih emitera prikazuju različite metaboličke funkcije stanice. Pozitronski emiteri u prirodi ne postoje, već se dobivaju izlaganjem stabilnih izotopa nekog elementa struji ubrzanih čestica, najčešće protona, u čestičnim akceleratorima ili ciklotronima. Uporaba pozitronskih emitera u medicinske svrhe započela je sredinom prošlog stoljeća, kada je prvom konstruiranom „dvoglavom“ gama kamerom snimljeno ljudsko tijelo u dvodimenzijskoj formi. PET metoda koju danas poznajemo počela se koristiti 1974. godine, kada je konstruirana kamera koja je imala mogućnost snimanja i rekonstrukcije u sve tri ravnine (transverzalna, koronalna, sagitalna).

Pozitronska emisijska tomografija je proces tijekom kojeg  $\beta^+$  raspadom nastaje pozitron koji se anihilira sa slobodnim elektronom te se masa anihiliranog pozitrona pretvara u energiju u obliku dva fotona od 511 keV. Nastali fotoni istodobno se

emitiraju u suprotnim smjerovima pod kutem od 180 stupnjeva, a njihova detekcija omogućava prikaz distribucije pozitronskih emitera u tijelu i time čini osnovu PET-a. Princip detekcije anihilacijskih fotona je pretvaranje energije fotona u scintilacijskom kristalu u svjetlosni foton, koji se u fotomultiplikatorskoj cijevi pretvara u fotoelektron i umnaža da bi nastao električni impuls. S obzirom na visoku energiju ovih fotona potrebni su detektori koji ih učinkovito apsorbiraju, pretvarajući ih u svjetlosne fotone, poželjno je veće valne duljine te koji imaju kraće trajanje scintilacije. Najčešće se koristi kristal bismuth germanata (BGO). Radi povećanja efikasnosti, detektori u PET kamerama su postavljeni u nekoliko prstena.

PET metodom se mogu prikazati razni procesi na staničnom i molekularnom nivou pomoću radiofarmaka obilježenih pozitronskim emiterima (pojačan metabolizam glukoze, pojačana sinteza DNA, aminokiselina, pojačana ekspresija staničnih receptora, itd.) Međutim, kao temeljni problem ističe se nemogućnost anatomskog prikaza mjesta u tkivima i organima u kojima se ti procesi događaju. Upravo zato se u današnje vrijeme PET kombinira s dijagnostičkim postupcima koji daju anatomski prikaz struktura u organizmu, dakle s kompjuteriziranom tomografijom (CT) i magnetskom rezonancom (MR). Tako nastaju fuzijske ili hibridine slike kojima se mjesto pojačanog nakupljanja radiofarmaka može precizno lokalizirati.



Slika 1. Pozitronski raspad.

Izvor: [https://sh.wikipedia.org/wiki/Beta\\_raspad](https://sh.wikipedia.org/wiki/Beta_raspad)

### 1.1.1. Princip rada PET/CT sustava

PET/CT sustav kombinacija je nuklearne medicine i radiologije, odnosno funkcionalne pretrage (PET) i morfološke pretrage (CT).

Korištenjem CT-a uz PET snimanje omogućava se izrada transmisivskih mapa za korekciju prigušenja zračenja u tijelu pomoću kojih se korigira atenuacija pozitronskog emisijskog zračenja. Fotoni koje emitira izvor zračenja u tijelu pacijenta, na svom putu do detektora (izvan tijela pacijenta) doživljava interakciju s materijalom. Pri tome dolazi do različitih procesa međudjelovanja (interakcije), a to su fotoelektrični efekt i Comptonovo raspršenje. Fotoelektrični efekt predstavlja potpunu apsorpciju fotona, on nestaje i ne daje informaciju na detektoru. Kod Comptonovog raspršenja nastaje novi foton manje energije koji pritom mijenja smjer kretanja te kao takav ne daje dijagnostičku informaciju. Prigušenje, kao konačan rezultat navedenih procesa, ovisi o tkivnom koeficijentu prigušenja (veći za tkiva veće gustoće) i duljini puta kroz tkiva. CT-om, dakle, stvaramo atenuacijsku mapu u svrhu korekcije atenuacije, a fuzijom PET-a i CT-a dobiva se bolji anatomski prikaz. Akvizicija korekcijske mape pomoću CT-a znatno kraće traje nego akvizicija korekcijske mape pozitronskim izvorom, a time se znatno smanjuje vrijeme trajanja same pretrage.

Metaboličko oslikavanje u PET/CT dijagnostici temelji se na intravenskoj primjeni radiofarmaka i njegovom nakupljanju u određenim dijelovima tijela.

Radiofarmak je spoj nastao vezanjem radioaktivnog izotopa, nastalog u ciklotronu, i određene molekule koju na taj način radioaktivno obilježavaju. Najčešće korišteni pozitronski emiter u PET/CT dijagnostici je fluor-18. Prednost fluora u odnosu na druge pozitronske emitere je njegovo dulje vrijeme poluživota (110 minuta). Osim njega koriste se i izotopi kisika, ugljika i dušika, no zbog relativno kratkog vremena poluraspada u rutinskom radu se ne koriste.

U PET/CT dijagnostici malignih bolesti najviše se koristi radiofarmak flordeoksiglukoza (FDG). To je spoj radioaktivnog izotopa fluora-18 i glukoze. FDG, kao analog glukoze, ulazi u stanice pomoću transportnih proteina, u stanici se fosforizira te nastaje spoj 2-FDG-6-fosfat koji se dalje ne metabolizira. Tumorske stanice posjeduju gene koji ubrzavaju fosforizaciju FDG te imaju sniženu razinu enzima koji

nastali spoj razgrađuju. Pomoću navedenih mehanizama dolazi do pojačanog nakupljanja FDG-a u tumorskim stanicama, a to se nakupljanje detektira upravo zahvaljujući radioaktivnom izotopu flouora-18. Kod zdravih osoba FDG se distribuira u cijelom tijelu, posebno u mozgu, srcu i u manjoj mjeri u plućima i jetri. Također se malim dijelom veže na vanjske očne mišiće, ždrijelo, crijeva i koštanu srž. Eliminira se putem bubrega, a 20% aktivnosti izluči se urinom tijekom 2 sata od injektiranja.

PET/CT snimanje može se vršiti na slijedeće načine:

1. PET cijelog tijela sa istovremenim snimanjem niskodoznog CT-a cijelog tijela, tzv. „low dose“ CT zbog korekcije atenuacije PET snimke i točne anatomske lokalizacije lezije;
2. PET određene regije tijela (npr. mozak, srce) s istovremenim snimanjem „low dose“ CT-a navedenog dijela tijela radi korekcije atenuacije PET snimke i točne anatomske lokalizacije lezije;
3. Dodatno se, u slučaju kliničke indikacije, uz „low dose“ CT može izvršiti dijagnostički CT s intravenskim kontrastom.

Razlika između prethodno navedenih načina snimanja je prvenstveno u dozi zračenja koju primi pacijent. Ozračenje niskodoznim CT-om („low dose“ CT), uz PET snimanje iznosi oko 5-8 mSv, a dijagnostičkim CT-om u kombinaciji s PET-om oko 25 mSv.

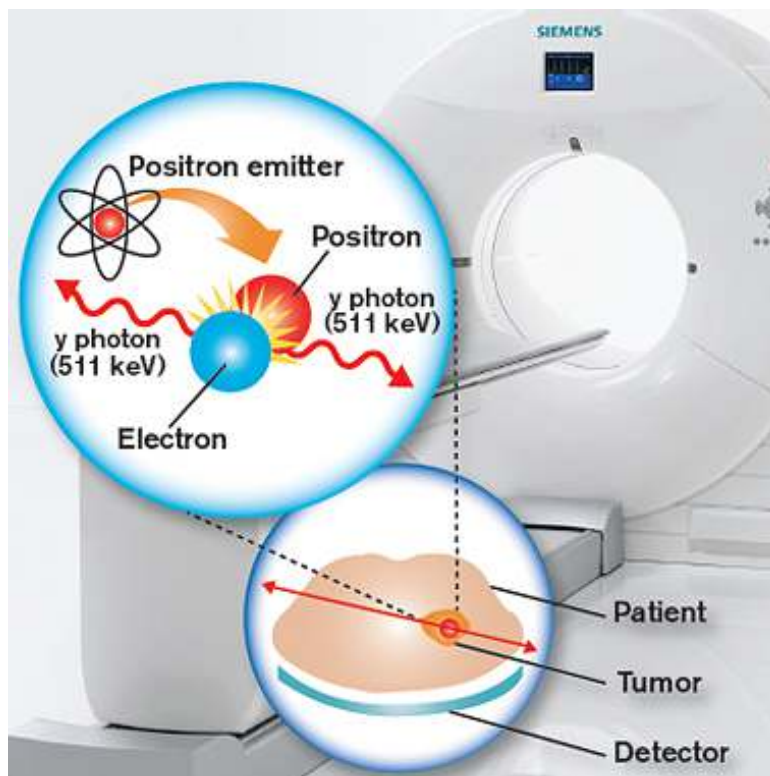
Analiza digitalnih podataka dobivenih snimanjem zahtjeva računalnu jedinicu spojenu sa PET kamerom. FDG potrošnja glukoze u određenoj regiji može se kvantificirati i usporediti sa ostalim dijelovima tijela. Uzimajući u obzir težinu, visinu i površinu tijela pacijentate dozu radiofarmaka uz korekciju za vrijeme poluraspada, izračunava se metabolička aktivnost pojedine regije, koja se izražava u tzv. SUV indeksima (Standard Uptake Values). SUV indeksi izvještavaju se u nalazu i značajni su za praćenje bolesti.





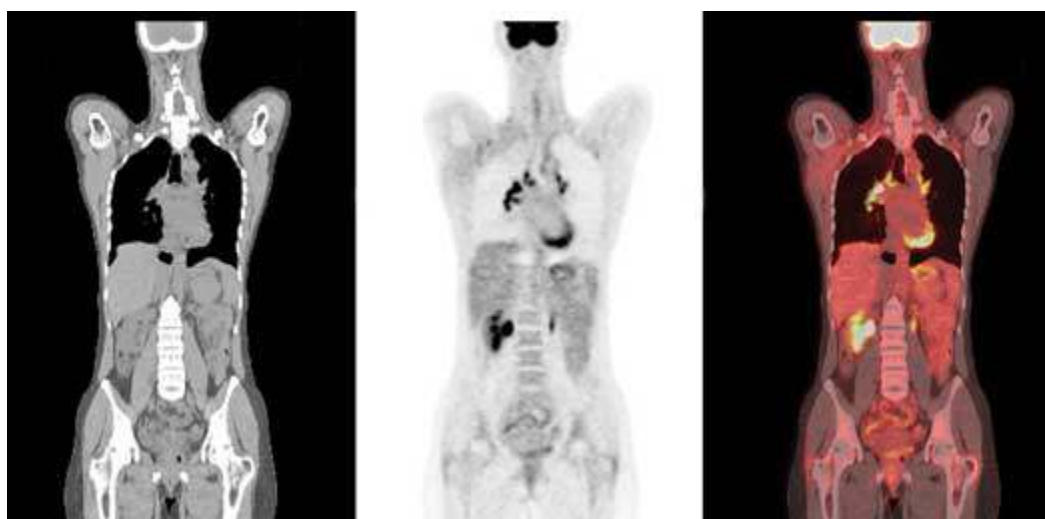
Slika 2. PET/CT uređaj.

Izvor: <http://medikol.hr/nuklearna-medicina-pet-ct/>



Slika 3. Princip rada PET/CT uređaja.

Izvor: web



Slika 4. Primjer CT, PET i PET/CT slike.

Izvor: <http://www.dakota-radiology.com/petct-scan.html>

### **1.1.2. Upućivanje pacijenta na PET/CT**

Pacijente na PET/CT mogu uputiti liječnici različitih specijalnosti: onkolozi, pulmolozi, otorinolaringolozi, ginekolozi, dermatovenerolozi, odnosno liječnici specijalisti koji se bave bolestima za koje su kliničke indikacije za PET/CT dokazano učinkovite.

PET/CT se primarno koristi kod onkoloških pacijenata, tj. primjenjuje se u dijagnostici maligne bolesti, dijagnostici nepoznatog primarnog tumora, kliničkom praćenju pacijenta, procjeni proširenosti bolesti i učinka liječenja, u prognozi i praćenju tijeka i ishoda bolesti, te odgovora na različite medikamentozne, kirurške ili radioterapijske postupke, nakon završenog liječenja u svrhu otkrivanja ostatne bolesti, otkrivanja recidiva, odnosno povrata bolesti i metastaza, te kao pomoć pri određivanju polja zračenja.

Osim kod onkoloških indikacija, PET/CT se koristi i u kardiološkoj indikaciji ishemijske miokarda, kod pojedinih neuroloških oboljenja (epilepsije, demencije, Parkinsonova bolest) te febrilnim stanjima nepoznatog uzroka i upalnim promjenama krvnih žila. Kod ishemijske miokarda PET/CT može biti koristan u određivanju reverzibilnosti ishemijske i hibernacije miokarda u bolesnika s nejasnim nalazima, nakon provedene kompletne dijagnostičke obrade. Kod febrilnih stanja nepoznate etiologije ova pretraga je korisna za isključivanje maligne bolesti, odnosno za lokalizaciju žarišta upale druge etiologije kao uzroka febrilnog stanja. Također, PET/CT može doprinjeti pri obradi pacijenta s arterijskim aneurizmama nakon postavljanja stenta ili kirurškog zahvata kod sumnje na infekciju grafta ili postojanje fistula.

Nakon što je procijenio kliničku opravdanost pretrage, liječnik specijalist ispunjava zahtjev za PET/CT dijagnostički postupak. Zahtjev treba sadržavati određene kliničke podatke o pacijentu kako bi se mogao odrediti primjeren dijagnostički protokol i pravilno interpretirati nalaz:

- uputna dijagnoza
- kliničko pitanje na koje se očekuje odgovor od PET/CT pretrage
- protokol snimanja

- prethodno učinjeni dijagnostički postupci
- provedeni terapijski postupci
- ostale bolesti od kojih se bolesnik liječi

Navedeni klinički podaci o pacijentu od važnosti su za točnu interpretaciju nalaza te reduciranje broja potencijalno lažno pozitivnih ili lažno negativnih nalaza.

Liječnik specijalist nuklearne medicine dužan je imati uvid u kliničke podatke o pacijentu temeljem čega se utvrđuje opravdanost postupka.

### **1.1.3. Izvođenje PET/CT pretrage**

Prije samog izvođenja pretrage pacijenta je potrebno primjereno pripremiti. Pacijent je dužan dostaviti svu potrebnu dokumentaciju, koju medicinsko osoblje provjerava. Važni parametri su visina i težina pacijenta, prema kojima se određuje količina apliciranog radiofarmaka. Uz visinu i težinu potrebno je odrediti i koncentraciju glukoze u krvi te postaviti intravensku kanilu.

Najvažnije je da bolesnici prije pretrage budu najmanje šest sati natašte, jer se glukoza u plazmi natječe s obilježenom fluorodeoksiglukozom za transport i nakupljanje u stanicama, pa ako je razina glukoze kod bolesnika uvećana, manje će obilježene glukoze ući u ciljne organe i time postoji mogućnost lažno negativnih nalaza. Stoga je izuzetno važno izmjeriti koncentraciju glukoze u krvi prije apliciranja radiofarmaka. PET/CT snimanje kod bolesnika s malignim bolestima se izvodi u stadiju gladovanja jer tada nakupljanje u zdravim tkivima nije osobito izraženo (osim u onim organima koji i inače koriste puno glukoze za svoj normalni rad, poput mozga, te onih kojima se fiziološki eliminira obilježena glukoza iz organizma, poput bubrega i mokraćnog mjehura), a u malignim stanicama veliko, čime se postiže kontrast između bolesnog i zdravog tkiva, i time točna interpretacija nalaza.

Radiološki tehnolog ili medicinska sestra dužni su pacijentu ukratko opisati način izvođenja pretrage te ukazati na važnost pacijentove suradnje.

Pacijentu se preporuča mirovati tijekom faze nakupljanja radiofarmaka, a sve upite i nedoumice postaviti prije aplikacije radiofarmaka. Prikupljeni podaci upisuju se u pacijentovu dokumentaciju pretrage, a parametri potrebni za obradu podataka i stvaranje slike (visina, težina, doza, GUK) i u računalo.

Planirana doza radiofarmaka navuče se u špricu u vrućem laboratoriju (eng. hot lab) te se aplicira na posebno odvojenom mjestu, iza zaštitnog paravana. Po završetku aplikacije izmjeri se ostatak doze u šprici i zapiše se injicirana doza.

Faza nakupljanja radiofarmaka za  $^{18}\text{F}$  FDG iznosi 45-60 minuta, nakon čega se snima topogram regije interesa. Slijedi planiranje protokola snimanja s regijama interesa te niskodozni CT i PET akvizicija, a po potrebi učini se i dijagnostički (kontrastni) MSCT određenih regija. Nakon snimanja vrši se rekonstrukcija i analiza dobivenih podataka te ukoliko je kvaliteta studije zadovoljavajuća uz konzultaciju s liječnikom pacijent se otpušta.

Prije samog otpuštanja pacijenta važno ga je upozoriti o važnosti smanjenog kontakta s drugim ljudima, a posebno s trudnicama i djecom.



Slika 5. Izvođenje PET/CT pretrage.

Izvor: web



Slika 6. Namještaj pacijenta za snimanje.

Izvor: <https://us.medical.canon/products/computed-tomography/celesteion/benefits/>

## **2. CILJ RADA**

U cilju određivanja izloženosti pacijenata zračenju kod PET/CT pretrage istražili smo:

1. O čemu ovisi doza ozračenosti pacijenata tijekom PET/CT dijagnostike?
2. Koje su mogućnosti smanjenja doze zračenja za pacijente tijekom PET/CT pretrage?
3. Koja je uloga radiološkog tehnologa u smanjivanju ozračivanja pacijenata u PET/CT dijagnostici?

### **3. IZLOŽENOST ZRAČENJU KOD PET/ CT POSTUPKA**

Izloženost ionizirajućem zračenju kod PET/CT pretrage potječe dijelom od radiofarmaka, a dijelom od CT-a. Kao i kod drugih dijagnostičkih metoda koje koriste ionizirajuće zračenje, istom je izloženo i osoblje i pacijent, no na različite načine, pa se i specifične mjere za smanjenje štetnog djelovanja razlikuju između dviju skupina uključenih u ovaj dijagnostički postupak.

#### **3.1. Izloženost osoblja**

Osim pacijenata ugroženo je i profesionalno osoblje koje je prilikom kontakta s pacijentom i radiofarmakom također izloženo ionizirajućem zračenju. Profesionalno osoblje koje sudjeluje u izvođenju PET/CT pretrage uključuje liječnika, medicinsku sestru i radiološkog tehnologa. Njihova izloženost zračenju prilikom pretrage je znatno manja od izloženosti pacijenta, ali s obzirom na svakodnevno izvođenje ove pretrage na većem broju pacijenata zaštita od zračenja je neophodna.

Fotoni proizvedeni u anihilaciji su prodorno zračenje i ozračuje sve osobe koje se nalaze u blizini pozitronskog radioaktivnog izvora. Tako izloženost zračenju osoblja najčešće potječe od vanjskog gama zračenja. Ostali mogući načini izlaganja su: površinsko radioaktivno onečišćenje koje doprinosi dozi na kožu, doza od zakočenog zračenja stvorenog u materijalu velikog atomskog broja te površinske doze zbog pozitrona koji se emitiraju s površina nezaštićenih radioaktivnih izvora.

Izloženost zračenju kod osoblja najveća je prilikom aplikacije radiofarmaka te kod namještaja pacijenta za snimanje. 59 % doze koju osoblje primi tijekom izvođenja pretrage otpada na izravno rukovanje s radiofarmakom, dok je preostalih 41% od kontakta s pacijentom (3).

Stoga je od iznimne važnosti ove postupke provoditi brzo i efikasno te koristiti zaštitnu odjeću. Osim kod aplikacije radiofarmaka ili namještaja pacijenta, do



izloženosti osoblja ionizirajućem zračenju može doći i kod kontakta s pacijentom nakon pretrage ukoliko se pacijent ne pridržava pravila da izbjegava kontakte s drugim osobama.

Doze zračenja koje osoblje primi trebaju se redovito kontrolirati očitavanjem dozimetra kao i sistematskim pregledima. Granice dozvoljenog ozračenja profesionalnog osoblja, prema preporuci International Commission on Radiation Protection (ICRP), za godinu dana iznose: 20 mSv na cijelo tijelo, 150 mSv na leću oka, 500mSv na ekstremitete, te do 1 mSv na fetus u utrobi majke.



Slika 7. Olovna šprica smanjuje dozu zračenja za osoblje.

Izvor: <https://www.supertechx-ray.com/NuclearMedicine/Pro-TecIIISyringeShields.php>



Slika 8. Transportni spremnik za radiofarmak.

Izvor: web

### 3.2 Izloženost pacijenata

Kako je već ranije rečeno izloženost zračenju kod PET/CT pretrage potječe dijelom od radiofarmaka, a dijelom od CT postupka. Zračenje koje pacijent primi od radiofarmaka potječe dijelom od pozitrona nastalih u pozitronskom raspadu, koji predstavljaju neprodorno zračenje te svoju energiju predaju lokalno. Time se znatno pridonosi apsorbiranoj dozi u tkivima i organima pacijenta. Osim te vrste zračenja veliku ulogu imaju fotoni proizvedeni u anihilaciji, koji predstavljaju prodorno zračenje.

Ekspozicijska doza (doza izloženosti) koju pacijent primi kod PET/CT-a obično se računa na cijelo tijelo, a može se i procijeniti po pojedinim organskim sustavima. Ukupna doza koju će primiti pacijent ovisi o količini apliciranog radiofarmaka. Kod suvremenih PET/CT uređaja potrebna je znatno manja količina radiofarmaka, pa je time i manja doza za pacijenta.

Procjenjene ekspozicijske doze kod pretraga s intravenskom primjenom radiofarmaka izračunate su na eksperimentalnim modelima. Prilikom računanja uzima se u obzir vrsta radiofarmaka, ukupno primljena doza te vremensko zadržavanje u tijelu, odnosno u pojedinom organskom sustavu jer svi ti parametri utječu na kumulativnu dozu zračenja kod pacijenta.

Kod izračuna ekspozicijskih doza koristi se matematička formula gdje se ukupna aktivnost apliciranog radiofarmaka (u Becquerelima) množi s faktorom 0,02 i dobije ukupna ekspozicijska doza po organizmu. Prosječne doze aktivnosti radiofarmaka koje se primjenjuju kod suvremenih PET/CT uređaja iznose od 150 do 300 MBq, što znači da ukupno zračenje po pretrazi iznosi oko 3-7 mSv po pretrazi. Kod djece se primjenjuje veći težinski faktor zračenja (0,05), ali su manje ukupne doze radiofarmaka zbog manje težine, stoga zračenje po pretrazi kod djece iznosi oko 4-8 mSv (1).

U PET dijagnostičkim postupcima specifično je da se za pojedine organske sustave ekspozicijska doza može značajno razlikovati jer ovisi i o fiziološkoj akumulaciji radiofarmaka u pojedinim tkivima i organima. Na fiziološku raspodjelu utječe vrsta primjenjenog radiofarmaka. FDG se pojačano nakuplja u srčanom mišićju, mokraćnom mjehuru i mozgu, pa su zato ti organi najviše izloženi zračenju. Doza koja izražava koliko je zračenja primio pojedini organ ili dio tijela naziva se ekvivalentna doza, a ona predstavlja umnožak apsorbirane (primljene) doze i relativne biološke efikasnosti zračenja (RBE). Relativna biološka efikasnost zračenja različita je za svaku vrstu zračenja. Zbroj ekvivalentnih doza označava tzv. efektivnu dozu, koja predstavlja količinu zračenja primljenu na cijelo tijelo.

Osim PET prikaza uvijek se snima i „low dose“ CT koji isto doprinosi ukupnoj dozi zračenja. Njegova doza iznosi 1 mSv po pretrazi, pa tako ukupna doza koju prime odrasli pacijenti kod PET/CT pretrage iznosi od 5 do 8 mSv.

Kada se uz PET/“low dose“ CT radi i dijagnostički CT sa intravenskim kontrastom, ekspozicijske doze su značajno veće te iznose do oko 25 mSv po pretrazi. To isto znatno ovisi o vrsti uređaja i protokolu snimanja.

Kao što postoje granice dozvoljenom ozračenja osoblja, tako postoje i granice dozvoljenog ozračenja za populaciju. Prema preporuci ICRP-a one za godinu dana iznose: 1 mSv na cijelo tijelo, 15 mSv na leću oka te na ekstremitete 50 mSv. Uspoređujući ove dozvoljene godišnje granice sa dozama koje se prime prilikom PET/CT snimanja, razumljivo je zašto ovu pretragu treba izvoditi s posebnim oprezom i na pacijentima kojima je ona doista od dijagnostičke važnosti.

Organ	Absorbed Dose (mGy/MBq)
Bladder	0.16
Heart	0.062
Brain	0.028
Uterus	0.021

Slika 9. Procjenjene apsorbirane doze na pojedine organe, nastale primjenom radiofarmaka (FDG).

Izvor: International Atomic Energy Agency, International Basic Safety Standards for Protection against ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources

Scan	Effective Dose (mSv)
Brain	2
Chest	8
Abdomen	10
Pelvis	10

Slika 10. Prosječne efektivne doze za pacijenta tijekom CT snimanja.

Izvor: International Atomic Energy Agency, International Basic Safety Standards for Protection against ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources

### **3.3. Negativne posljedice ionizirajućeg zračenja**

Ionizirajuće zračenje je zračenje koje izaziva ionizaciju u dodiru s tkivima. Biološki učinci koje će zračenje izazvati u organizmu ovise o vrsti zračenja, duljini trajanja izlaganja zračenju (oštećenja su obrnuto proporcionalna s vremenom izlaganja), topografskoj raspodjeli doze u organizmu (oštećenja su proporcionalna volumenu ozračenog tijela) te individualnoj osjetljivosti organizma. S obzirom na vrstu oštećenja od ionizirajućeg zračenja, razlikujemo dvije vrste: stohastička (neovisno o veličini doze dolazi do oštećenja) i deterministička (do oštećenja dolazi kada se prijeđe određena doza zračenja). Na zračenje su najosjetljivije mlade osobe, djeca su tri puta više osjetljiva od odraslih, a najviše je osjetljiv fetus. Posebnu pažnju treba obratiti na trudnice jer doze zračenja od 0,1 do 0,5 mSv već uzrokuju teratogena oštećenja ploda. Gonade su vrlo osjetljive na zračenje te je doza od 2 mSv dovoljna za prolazni sterilitet, a doza od 3 mSv može uzrokovati trajni sterilitet. Kada se navedene doze usporede s dozama koje pacijenti prime kod PET/CT pretrage, jasno je da je potrebna velika dijagnostička opravdanost i korist od ove pretrage.

## 4. NAČINI ZAŠTITE PACIJENATA OD ZRAČENJA U PET/CT DIJAGNOSTICI

Ionizirajuće zračenje je vrlo štetno i stoga je potrebno smanjiti izloženost zračenja na najmanju moguću. Kod PET/CT-a primljena doza za pacijenta kreće se oko 5-8 mSv za snimanje s niskodoznim CT-om ili oko 25 mSv za snimanje s dijagnostičkim CT-om. Ovo je potrebno imati na umu već kod upućivanja pacijenta na ovu, kao i druge pretrage koje uključuju ionizacijsko zračenje. Procjena opravdanosti dijagnostičke metode tj. ocjena da korist od pretrage nadmašuje potencijalne rizike mora biti na prvom mjestu kod odabira dijagnostičke metode.

Osim pravilnog upućivanja na pretragu, tj. utvrđivanja dijagnostičke opravdanosti pretrage, važna mjera zaštite od zračenja je pravilno izvođenje pretrage.

Bitno je različita primljena doza za pacijenta prilikom snimanja PET/CT- a korištenjem „low dose“ CT-a ili dijagnostičkog CT-a. Primjenom „low dose“ CT-a ekspozicijska doza iznosi oko 5-8 mSv, dok kod dijagnostičkog iznosi oko 25 mSv. Ekspozicijska doza predstavlja dozu kojoj je pacijent izložen tijekom pretrage, no ona je različita od stvarne doze koju je pacijent primio. Kada se primljena doza (apsorbirana doza) na jedinicu mase pomnoži s težinskim faktorom osjetljivosti od zračenja za pojedine organe i tkiva, dobije se ekvivalentna doza. Ona predstavlja primljenu dozu zračenja na pojedine organe i tkiva. Zbroj ekvivalentnih doza daje efektivnu dozu, primljenu dozu na cijelo tijelo. Efektivna doza za PET/dijagnostički CT kreće se oko 14,1-18,6 mSv, dok se za PET/„low dose“ CT kreće oko 8,5 mSv.

## 4.1. Načini smanjenja doze kod PET komponente

Apsorbirana doza zračenja na pojedini organ također ovisi o: vrsti radiofarmaka, količini apliciranog radiofarmaka, njegovom zadržavanju u organu, veličini i obliku organa te procesima u organu.

Izloženost zračenju za pacijenta izravno je proporcionalna s primljenom aktivnosti radiofarmaka. Primljena aktivnost ovisi o vrsti i materijalu detektora, ponašanju brojača PET skenera, načinu korištenja akvizicije i težini pacijenta. Smanjenjem primljene aktivnosti smanjuje se i doza za pacijenta, ali će biti duže vrijeme snimanja. Preporučena primjenjena aktivnost je 2,5 – 5 MBq/kg (4).

Značajan čimbenik u smanjivanju doze zračenja koju pacijent primi je efikasnost detekcije koja se poboljšava razvojem PET uređaja. Razvoj detektora koji koriste efikasnije kristale, te drugih računalnih tehnologija omogućava dobivanje kvalitetne dijagnostičke informacije uz manje doze radiofarmaka. Primjer je individualizirana ocjena brzine brojenja ekvivalentnog šuma (NERC) koja pružiti uvid u najveću moguću aktivnost kako PET/CT pretražnik ne bi radio iznad vršne točke NERC krivulje. Blizu vrha krivulje je očekivani popravak omjera signala i šuma s povećanjem aktivnosti jako malen. Stoga se može, bez većeg gubitka kvalitete slike, postići značajno smanjenje aktivnosti za pacijenta.

Istraživanja su pokazala da se primjenjena aktivnost može smanjiti primjenom TOF (Time of Flight) tehnika. TOF tehnike zasnivaju se na mjerenju vremenske razlike u detekciji pojedinog fotona jednog anihilacijskog para, unutar određenog vremena i na jednom prevcu odgovora. Ta vremenska razlika i udaljenost mjesta anihilacije od centra vidnog polja izravno su proporcionalni. Aktivnost se na ovaj način može smanjiti za do 30%. Primjenjena aktivnost se, na primjer, može smanjiti sa 5 MBq/kg na 3 MBq/kg, dok se doza za cijelo tijelo može smanjiti sa 2,6 na 1,7  $\mu$ Sv (4).

Osim navedenog načina smanjenja aktivnosti, preporučeno je primjenjenu dozi prilagoditi težini pacijenta. Međutim, kod pacijenata velike tjelesne težine nije moguće postići popravak kvalitete slike povećanjem aktivnosti, te već je povoljnije produljiti vrijeme snimanja.

Kao važan čimbenik eliminacije radiofarmaka iz organizma, a time i smanjenja ukupne doze i doze na specifične organe je poticanje diureze. Stoga je važno napomenuti pacijentu da nakon pretrage uzima što više tekućine kako bi se izlučilo što više radiofarmaka, a ukoliko je potrebno pacijentu se može dati i diuretik.

## **4.2. Načini smanjenja zračenja uzrokovanih CT komponentom**

Primljena doza za pacijenta značajno ovisi i o načinu izvođenja CT snimanja. CT komponenta kod PET/CT pretrage doprinosi 54-81% ukupne doze zračenja za pacijenta (5). Doza zračenja kod CT-a određena je kV i mAs po rotaciji. Izravno je proporcionalna s vrijednosti struje, a eksponencijalno proporcionalna s vrijednosti napona. Vrijednosti struje i napona važno je pravilno odrediti prema građi pacijenta (promjeru i obliku tijela). Kako bi se očuvala kvaliteta slike uz pravilno smanjenje doze za pacijenta preporuča se koristiti automatski kontroliranu ekspoziciju.

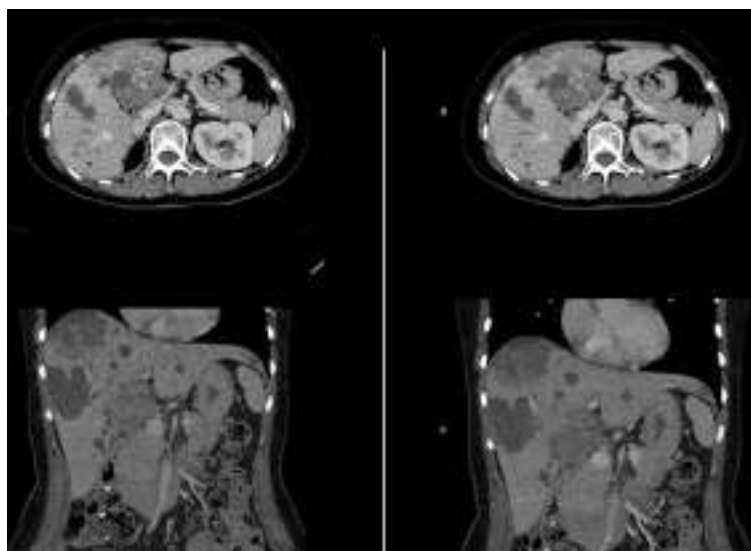
Parametri koji također značajno određuju dozu zračenja kod izvođenja CT snimanja su adekvatna filtracija, kolimacija, debljina snimanog sloja, pitch, duljina snimanja te rekonstrukcijski algoritmi (post processing).

Tradicionalni rekonstrukcijski algoritam kod CT-a, filtriranje povratne projekcije (FBP), danas je zamjenjen iterativnim tehnikama rekonstrukcije slike i time se doza zračenja smanjuje za oko 50%. Važno je istaknuti da se primjenom ovih tehnika ne mijenja kvaliteta slike. Iterativni rekonstrukcijski algoritam, prilagođeno iterativno smanjenje doze (AIRD 3D), je algoritam koji smanjuje šum u 3D rekonstrukcijama i također smanjuje CT dozu zračenja za 32-65 % (5). Korištenjem AIRD 3D algoritma kod niskodoznog CT-a i kod dijagnostičkog (kontrastnog) CT-a razlučivost slike i kontrasta je jednaka, međutim primjenom dijagnostičkog CT-a bolja je prostorna rezolucija u odnosu na niskodozni CT.

Kod kontrolnog snimanja pacijenata smanjenje doze može se postići i na način da se snimanje dijagnostičkog CT-a ograniči samo na jednu ili dvije regije. U dijelu pacijenata, na primjer onih kod kojih se procjenjuje učinak terapije (zračenje jedne



regije) nije potrebno snimati CT cijelog tijela, već se može samo na određeno područje interesa.

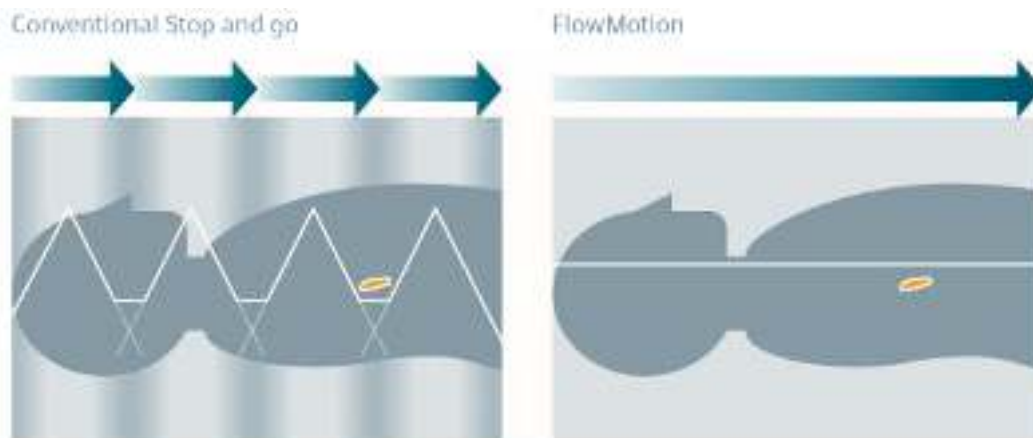


Slika 12. usporedbe kvaliteta slike kod CT-a korištenjem FBP rekonstrukcijskih algoritama (lijevo) i iterativnih tehnika rekonstrukcije slike (desno).

Izvor: <https://www.auntminnieeurope.com/index.aspx?sec=log&itemID=605894>

### 4.3. „Flow motion“ tehnologija

Flow motion tehnologija novi je način PET/CT snimanja. Od klasičnog PET/CT snimanja razlikuje se po tome što nema „stop and go“ načina snimanja, već se planiranje i skeniranje temelji na kontinuiranom prikupljanju podataka putem PET-a s jednim kontinuiranim gibanjem pacijenta. Neprekidno kretanje ležaja pacijenta eliminira potrebu za preklapanjem položaja kreveta i međusobni prelazak kreveta između statičnih akvizicija. Za ovaj način snimanja važno je da se odvija dvostruko brže od klasičnog, a doza zračenja smanjuje se do 50%.



Slika 13. Klasični način snimanja „stop and go“ i „flow motion“ način snimanja.  
Izvor: <https://usa.healthcare.siemens.com/molecular-imaging/biography-mct-flow-for-radiation-therapy>

## 5. ZAKLJUČAK

Zračenje kod PET/CT pretrage potječe dijelom od radiofarmaka te dijelom od CT snimanja. Doza zračenja može se značajno razlikovati što ovisi o apliciranoj dozi radiofarmaka te o načinu izvođenja CT snimanja.

Mjere smanjivanja doze zračenja za pacijente započinju pravilnim odabirom dijagnostičkog postupka koja uključuje procjenu opravdanosti pretrage, pravilno upućivanje i pripremu te pravilno izvođenje pretrage.

Poželjno je primijeniti što je moguće manje doze radiofarmaka, odabir odgovarajućeg CT protokola i regije oslikavanja s kojim će se postići tražena dijagnostička informacija.

Radiološki tehnolog ima značajnu ulogu u smanjivanju izloženosti zračenja pacijenata u PET/CT dijagnostici ispravnom pripremom i aplikacijom odgovarajuće doze radiofarmaka te pravilnim izvođenjem pretrage. Pri izvođenju pretrage važno je dobro odrediti regije oslikavanja, pravilno odrediti vrijednosti napona i struje te tradicionalne rekonstrukcijske algoritme zamijeniti iterativnim tehnikama rekonstrukcije slike. Po završetku važno je uputiti pacijenta o načinu pospješivanja izlučivanja radiofarmaka iz organizma (poticanjem diureze).

## 6. SAŽETAK

PET/CT pretraga predstavlja kombinaciju PET snimanja i kompjuterizirane tomografije. PET snimanje vrši se po principu pozitronske emisije prilikom radioaktivnog raspada radioizotopa. PET predstavlja funkcionalno snimanje te se iz tog razloga kombinira s kompjuteriziranom tomografijom, kako bi se bolje prikazala anatomija. PET/CT je iznimno korisna pretraga u liječenju i praćenju onkoloških pacijenata, a koristi se i u neurologiji i kardiologiji. Glavna prednost ove pretrage je to što služi u postavljanju dijagnoze te planiranju i djelovanju terapije, no veliki nedostatak su visoke doze zračenja za pacijente, ali i za osoblje. Osoblje je dužno smanjiti dozu zračenja za pacijente što je moguće više. Smanjenje doze može se postići na više načina prilikom planiranja i izvođenja samog snimanja, ali isto tako važno je pravilno upućivanje na pretragu, tj. dijagnostička korist pretrage za pacijenta.

## **ABSTRACT**

PET / CT scan is a combination of PET scan and CT. PET capture is performed according to the positron emission principle when radioisotope radioactive breakdown occurs. PET is a functional recording and is for this reason combined in with CT to better visualize anatomy. PET / CT is an extremely useful research in the treatment and monitoring of oncological patients, and is also used in neurology and cardiology. The main advantage of this procedure is that it is used to diagnose and planning therapy, but there is a great lack of high radiation dose for patients as well as for staff. The staff is obliged to reduce the radiation dose to patients as much as possible. Dose reduction can be achieved in several ways in planning and performing the scan, but it is also important to properly refer to the diagnostic procedure and the diagnostic benefit as well.

## 7. LITERATURA

- 1) Antonija Balenović, Mirko Šamija, Klinička primjena PET/CT dijagnostike u onkologiji, Zrinski d.d., Zagreb, 2011.
- 2) Stipan Janković, Frane Mihanović, Uvod u radiologiju, Sveučilište u Splitu, Split, 2014.
- 3) Marković V, Punda A, Eterović D. Pozitronska emisijska tomografija (skripta). Medicinski fakultet Sveučilišta u Splitu, Katedra za nuklearnu medicinu. Dostupno na: [http://neuron.mefst.hr/docs/katedre/nuklearna\\_medicina/nastavni\\_materijali/PE\\_T\\_i\\_PET-CT.pdf](http://neuron.mefst.hr/docs/katedre/nuklearna_medicina/nastavni_materijali/PE_T_i_PET-CT.pdf)
- 4) Ahmed Alenei, Trends in radiation protection of PET CT imaging
- 5) International Atomic Energy Agency, International Basic Safety Standards for Protection against ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources
- 6) Gunnar Brix, PhD1; Ursula Lechel, MS1; Gerhard Glatting, PhD2; Sibylle I. Ziegler, PhD3; Wolfgang Muñzing, PhD4; Stefan P. Müller, MD5; and Thomas Beyer, PhD5, Radiation Exposure of Patients Undergoing Whole-Body Dual-Modality 18F-FDG PET/CT Examinations
- 7) Biograph mCT Flow: PET Technical and Clinical Advances with FlowMotion Technology, <https://www.healthcare.siemens.com/molecular-imaging/pet-ct/biograph-mct-flow>
- 8) Philip Ward, AuntMinnieEurope.com staff writer, Munich CT study confirms value of iterative reconstruction, 2011.

- 9) Devaki Shilpa S Surasi, Pradeep Bhambhvani, Jon A Baldwin, Samuel E Almodovar, Janis O'Malley, F-FDG PET and PET/CT patient preparation: a review of the literature
- 10) <http://medikol.hr/>
- 11) <https://www.eanm.org/publications/technologists-guide/principles-practice-petct-part-1/>
- 12) Stipan Janković, Frane Mihanović i suradnici, Radiološki uređaji i oprema u radiologiji, radioterapiji i nuklearnoj medicini, Sveučilište u Splitu, Split, 2015.
- 13) Antonija Balenović, Mirko Šamija, Renata Dobrila-Dintinjana, Svjetlana Grbac-Ivanković, PET/CT klinička primjena, Sveučilište u Rijeci, 2013.
- 14) Esmā A.Akin, Drew A.Torgian,MD, Patrick M. Colletti, MD, Don C. Yoo, MD, Optimizing Oncologic FDG-PET/CT Scans to Decrease Radiation Exposure

## 8. ŽIVOTOPIS

### OPĆI PODACI:

Ime i prezime: Petra Moro  
Datum rođenja: 30. prosinca 1996.  
Adresa: Papandopulova 23, 21000 Split  
Mobitel: 095 860 28 21  
E-mail: petramoro2@gmail.com

### OBRAZOVANJE:

2015.-2018. Sveučilišni odjel zdravstvenih studija, smjer Radiološka tehnologija  
2011.-2015. Zdravstvena škola Split, smjer zdravstveno-laboratorijski tehničar  
2003.-2011. Osnovna škola Trstenik Split

### STRANI JEZICI:

Aktivno znanje engleskog jezika, pasivno znanje talijanskog jezika.

### RAD NA RAČUNALU:

Vješto korištenje Microsoft Office alata (Word, Excel, Power Point)

### VOZAČKA DOZVOLA

B kategorija