

Strokovni članek

IZPOSTAVLJENOST RADIOLOŠKIH INŽENIRJEV – OCENA VARSTVA IZPOSTAVLJENIH DELAVCEV V NUKLEARNI MEDICINI

Professional Article

EXPOSURE OF NUCLEAR MEDICINE TECHNOLOGISTS - RADIATION PROTECTION ASSESSMENT OF EXPOSED WORKERS IN NUCLEAR MEDICINE

Laura Lukavačkić,

Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Oddelek za radiološko tehnologijo, Zdravstvena pot 5, 1000 Ljubljana, laura.lukavackic@gmail.com

doc. dr. Damijan Škrk, univ. dipl. fiz.,

Uprava Republike Slovenije za varstvo pred sevanji, Ajdovščina 4, 1000 Ljubljana damijan.skrk@gov.si

POVZETEK

Uvod: Ocena varstva izpostavljenih delavcev pred sevanji je dokument, ki ga izdelamo pred začetkom izvajanja sevalne dejavnosti v določeni organizaciji ali podjetju.

Namen: Predstaviti izpostavljenost radioloških inženirjev ionizirajočim sevanjem na Kliniki za nuklearno medicino v UKC Ljubljana.

Metode: Tekst se osredotoča na izmerjene in analizirane podatke o dozah radioloških inženirjev na KNM med leti 2004 in 2009 ter jih primerja z zakonsko določenimi doznimi mejami.

Rezultati in razprava: Efektivni letni dozi radioloških inženirjev po Oceni varstva izpostavljenih delavcev zaradi sevanja gama oziroma pozitronskih sevalcev znašata 2, 4 mSv oziroma 0, 45 mSv in ne presegata zakonsko določene dozne meje 20 mSv na leto. Doza zaradi kontaminacije z radionuklidi je zanemarljiva zaradi osebne zaščitne opreme in zaščite prostorov.

Zaključek: Na podlagi pridobljenih podatkov sva ugotovila, da so izmerjene doze med letoma 2004 in 2009 primerljive z dozami v Oceni varstva izpostavljenih delavcev in ne presegajo zakonsko določenih doznih mej.

Ključne besede: ocena varstva izpostavljenih delavcev, nuklearna medicina, varstvo pred ionizirajočimi sevanji, efektivna in ekvivalentna doza, kontaminacija.

ABSTRACT

Introduction: Exposure assessment of radiation workers is a document which is produced before starting radiation practice. It is stipulated by the Act on Radiation Protection and Nuclear Safety and by related legislation. The legislation arranges requirements for prevention of deterministic effects and limits probability of stochastic effects of ionising radiation.

Purpose: To present the exposure of radiation workers at the Department of Nuclear Medicine at the University Medical Centre Ljubljana.

Methods: The text focuses on preliminary assessed and measured doses to workers at the Department of Nuclear Medicine in the period from 2004 to 2009 and compares them to the dose limits.

Results and discussion: According to the Exposure assessment the effective annual gamma and positron dose to radiation workers is 2. 4 mSv and 0. 45 mSv respectively, and does not exceed the regulatory limit of 20 mSv. The dose due to radioactive contamination is negligible, because of personal protective equipment and space shielding.

Conclusion: On the basis of acquired data it has been established that the measured doses in the period between 2004 and 2009 are comparable to the doses estimated by the exposure assessment and do not exceed the dose limits.

Key words: Exposure assessment of radiation workers, nuclear medicine, radiation protection, effective and equivalent dose, contamination.

UVOD

Ocena varstva izpostavljenih delavcev pred sevanji je dokument, ki se ga izdelava pred začetkom izvajanja posamezne sevalne dejavnosti v določeni organizaciji ali podjetju. Članek obravnava Oceno varstva izpostavljenih delavcev pred sevanji (v nadaljevanju ocena varstva) izdelano na Kliniki za nuklearno medicino v UKC Ljubljana (KNM), katere namen je preprečitev determinističnih in omejitev verjetnosti za stohastične učinke ionizirajočega sevanja. Njena naloga je predvideti, kakšna je izpostavljenost virom sevanja v nuklearni medicini, oceniti efektivne doze, ekvivalentne doze na roke in očesne leče (Dörschel in Schuricht, 1996), potencialna sevalna tveganja in določiti zaščitna sredstva, ki zaposlene v nuklearni medicini ščitijo pred zunanjim sevanji in potencialno kontaminacijo.

Pripravo obravnavanega dokumenta predpisuje Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV, 2002), ki v 23. in 24. členu določa, da mora izdelavo ocene varstva zagotoviti delodajalec pri izvajanju sevalne dejavnosti zaradi varstva izpostavljenih delavcev,

praktikantov in študentov. Z njo predhodno oceni naravo in velikost sevalnega tveganja ter izdelava načrt optimizacije varstva pred ionizirajočimi sevanji v vseh delovnih pogojih sevalne dejavnosti (ZVISJV, 2002).

Strukturo in vsebino Ocene varstva pa določa 10. člen Pravilnika o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji. Zajemati mora splošne podatke o sevalni dejavnosti in izvajalcu, podatke o virih sevanja in prostorih, kjer se uporabljajo, ukrepe varstva delavcev in prebivalstva pred sevanji, izpostavljenost zaradi izvajanja dejavnosti, potencialno izpostavljenost, načrt optimizacije varstva in strokovno mnenje (Pravilnik o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji, 2003).

NAMEN

Članek obravnava izpostavljenost radioloških inženirjev ionizirajočim sevanjem na KNM, načine izpostavljenosti ionizirajočim sevanjem, njihovo predvideno dozo, ščitenje pred sevanji in osebno varovalno ter zaščitno opremo za zmanjšanje dozne obremenitve.

METODE

Temeljno gradivo, iz katerega članek črpa podatke, so dostopne verzije in revizije Ocene varstva izpostavljenih delavcev in Poročilo o pregledu ocene varstva izpostavljenih delavcev. Obravnavam že izmerjene in analizirane podatke o dozah radioloških inženirjev na KNM med letoma 2004 in 2009 ter jih primerjam s predpisanimi mejnimi dozami. S strokovno literaturo pojasnim terminologijo s področja sevalne dejavnosti. V članku so vključena tudi opažanja in izkušnje, pridobljene med klinično prakso, ki jo je na KNM opravljala avtorica.

REZULTATI IN RAZPRAVA

Na KNM uporabljajo odprte radioaktivne vire sevanja za diagnostične in terapevtske dejavnosti. V diagnostiki največ uporabljajo izotopa Tc-99m in F-18, v terapiji pa I-131 (Grmek, 2004; Grmek in Tomše, 2009). Izotopi so vezani na posamezno nosilno molekulo oziroma farmak, ki dostavi radionuklid do preiskovanega organa. Radiofarmak ne sme imeti farmakološkega učinka oziroma ne sme vplivati na delovanje organa.

Radiofarmak se pacientu glede na preiskovani organ lahko aplicira per os ali intravensko. Intravenska aplikacija se izvede ročno ali s pomočjo avtomatskega aplikatorja, nato se pacienta namesti na slikovno napravo, ki zaznava primarne ali sekundarne delce, ki jih izseva radionuklid v pacientovem telesu. Izbira naprave je odvisna od apliciranega radionuklida. Na KNM za izotop Tc-99m uporabljajo planarno in SPECT gama kamero, preiskave z izotopom F-18 pa opravljajo s pozitronsko emisijsko tomografijo (PET). Omenjena izotopa sta primerna zaradi dostopnega načina pridobivanja in ustreznih fizikalnih lastnosti.

Glavni vir sevanja v nuklearni medicini je pacient z apliciranim radiofarmakom, ki največ prispeva k izpostavljenosti radiološkega inženirja. Radiološki inženir je v neposrednem stiku s pacientom med aplikacijo radiofarmaka in med njegovim nameščanjem na slikovno napravo ter ob koncu preiskave, ko mu pomaga napravo zapustiti. Deloma k izpostavljenosti prispeva tudi uporaba zaprtih kalibracijskih virov za umerjanje slikovnih naprav in za zagotavljanje kakovosti slikovnih preiskav v nuklearni medicini: ploskovni vir Co-57, točkasta vira Co-57 in Ba-133 ter mešani vir sevalcev gama za umerjanje merilnega sistema »whole-body counter« (Grmek, 2004).

V opisanih primerih so radiološki inženirji izpostavljeni zunanjemu sevanju. V primeru kontaminacije delovnega okolja, kjer obstaja verjetnost vnosa radionuklidov v telo – inhalacije ali/in ingestije (Grmek, 2004; Shapiro, 1972), pa govorimo o notranjem obsevanju. Ob upoštevanju delovnih postopkov je kontaminacija malo verjetna in zanemarljiva. Ocena varstva samo v primeru dela s F-18 dopušča možnost občasne kontaminacije zaradi izločkov pacienta (Grmek in Tomše, 2009).

Dejavniki, ki vplivajo na dozno obremenitev radioloških inženirjev

Stopnjo dozne obremenitve radioloških inženirjev določa radionuklid, apliciran v pacientovo telo. Fizikalne lastnosti, kot so vrsta sevanja, energija delcev in fotonov, aktivnost in razpolovni čas določajo dozo, ki bi jo radiološki inženirji v različnih delovnih razmerah lahko prejeli (Delacroix in Guerre, 2002).

Tc-99m, najbolj uporabljen radionuklid v nuklearni medicini, je sevalec gama z razpolovno dobo 6 ur. V primerjavi z ostalimi izotopi v nuklearni medicini ima nizko energijo sevanja 140keV (Bé in Chisté, 2004). Priporočena aplicirana aktivnost je od 250 MBq do 700 MBq, odvisno od preiskovanega organa.

F-18 razpada z razpolovnim časom 110 min z izsevanjem pozitrona (delec beta) najvišje energije 634 keV. V snovi se pozitroni zaustavijo in anihilirajo z elektroni v atomih. Nastaneta dva fotona gama z energijo 511 keV (<http://www.nndc.bnl.gov/>). Aktivnost, aplicirana pacientu, znaša 370 MBq.

Otrokom se v obeh primerih aplicirajo ustrezno nižje aktivnosti, skladno s priporočili Evropskega združenja za nuklearno medicino (Grmek in Tomše, 2009).

K dozni obremenitvi radioloških inženirjev pa lahko prispevajo tudi slikovne naprave in sicer SPECT-CT in PET-CT, ki omogočajo slikanje z računalniško tomografijo (CT), ki navadno sledi scintigrafskem delu preiskave. Možno pa je izvesti tudi samostojno računalniško tomografsko slikanje.

Če uporabljamo CT kot del scintigrafije, se preiskava izvede s t. i. low dose CT. Nastale slike se ne uporabljajo za diagnosticiranje, ampak služijo kot anatomska orientacija, kje natančno se radiofarmak kopiči in za korekcijo atenuacije.

Ekspozicijski parametri so ustrezno znižani na raven, ki še omogoča optimalne slikovne podatke ob občutno nižji dozi pacientu (Grmek in Tomše, 2009). Med potekom preiskave se v diagnostičnem prostoru nahaja samo pacient, radiološki inženirji se nahajajo v nadzornem prostoru (Zdešar, 2011), ki je ustrezno zaščiten pred sevanjem, o čemer bomo podrobneje pisali v nadaljevanju.

Ukrepi varstva pred sevanji

Ocena varstva opisuje zaščitne ukrepe pred ionizirajočimi sevanji. Osnovni ukrep je delitev prostorov v nadzorovano in opazovano območje. Pravilnik o obveznostih izvajalca sevalne dejavnosti in imetnika vira ionizirajočih sevanj v 4. členu navaja, da so nadzorovana območja tista, kjer lahko letna efektivna doza za posameznega delavca preseže 6 mSv, letna ekvivalentna doza za očne leče preseže 45 mSv in letna ekvivalentna doza za dlani, roke, podlakti ali kožo preseže 150 mSv. V nadzorovanem območju je povprečna hitrost doze v 8 urah lahko večja od ali enaka $3 \mu\text{Sv/h}$, največja trenutna hitrost doze večja od ali enaka $60 \mu\text{Sv/h}$ in kjer obstaja nevarnost razširjanja radioaktivnih snovi, ki bi povzročile kontaminacijo nad predpisanimi mejami (2004).

V nadzorovano območje poleg vročega laboratorija za pripravo odmerkov radiofarmakov in skladišča radioaktivnih odpadkov sodijo tudi prostori za scintigrafske slikovne preiskave (Grmek, 2004; Grmek in Tomše, 2009; Zdešar, 2011). Območja so označena s posebnimi opozorili.



Slika 1: Opozorilo na vstopu v nadzorovano območje (Grmek, 2004)

V nadzorovanih območjih je predvidena uporaba ustrezne osebne varovalne opreme in zaščitnih sredstev ter izvajanje posegov skladno s protokoli dela, ki zmanjšujejo izpostavljenost in verjetnost kontaminacije radioloških inženirjev in delovnih prostorov. Med osebno varovalno opremo sodijo npr. plašč iz svinčene gume ter očala,

delovna obleka, obutev, maska in gumijaste rokavice. Zaščita prostorov pa je potrebna tam, kjer se pripravljajo radiofarmaki in kjer se izvajajo scintigrafske preiskave (Grmek, 2004; Grmek in Tomše, 2009). Odvisna je od vrste in energije sevanja.

Osebna varovalna oprema in zaščitna sredstva

Za zaščito pred radiofarmaki ki vsebujejo Tc-99m, se uporabljajo svinčeni vsebniki, ki omogočajo varen transport radioaktivnih snovi. Svinčeni ščitniki se uporabljajo tudi med aplikacijo radiofarmaka (Grmek, 2004).



Slika 2: Svinčena zaščita za brizgo z radiofarmakom (Grmek, 2004)

Svinčeni plašči debeline 0,25 mm do 0,5 mm ekvivalenta svinca se uporabljajo samo v primeru aplikacij višjih aktivnosti Tc-99m (Grmek, 2009).



Slika 3: Svinčeni plašč (Grmek, 2004)

Med preiskavami s Tc-99m se radiološki inženirji ščitijo z zaščitnimi paravani ekvivalentne debeline 2 mm svinca, po možnosti pa še s svinčeno opeko ali pločevino (Grmek, 2004).



Slika 4: Svinčeni paravan za zaščito pred sevanjem iz pacienta (Grmek, 2004)

Poleg svinčene zaščite so pri delu s pozitronskim sevalcem F-18 med pripravo radiofarmakov potrebna še dodatna plastična in steklena zaščitna sredstva (Delacroix in Guerre, 2002). V praksi se uporablja 1,7 mm debela plastična zaščita (Grmek in Tomše, 2009) v kombinaciji s svinčeno zaščito. Plastična zaščita absorbira beta delce, svinčena pa ščiti pred anihiliranimi fotoni.

^{18}F -FDG dostavijo na KNM v zaščitnem vsebniku, ki se neposredno premesti v avtomatski aplikator. S tem se izognemo potencialno največjim hitrostim doze za radiološke inženirje pri potencialni ročni aplikaciji radiofarmaka (Grmek in Tomše, 2009).



Slika 5: Avtomatski aplikator (Grmek in Tomše, 2009)

Poleg omenjene zaščitne opreme sta pomembna dejavnika varstva pred ionizirajočimi sevanji tudi razdalja med virom sevanja in radiološkim inženirjem ter čas njegovega zadrževanja ob viru sevanja. Hitrost doze pada s kvadratom razdalje od vira sevanja, zato se zadržujemo na čim večji razdalji oziroma v neposredni bližini vira čim krajši čas.

Neposrednemu stiku s pacientom se radiološki inženir ne more popolnoma izogniti, saj je ob njem med aplikacijo radiofarmaka, med nameščanjem na slikovno napravo ter ob koncu preiskave, ko pomaga pacientu napravo zapustiti.

Zaščita prostorov

Stene in vrata so v prostorih s planarnimi gama kamerami in SPECT-CT dodatno zaščitene z 2 mm debelo svinčeno pločevino. S svinčeno pločevino je zaščiten tudi pregradna stena med tem prostorom in komandnim mestom. Komunikacijsko okno med komandnim mestom in prostorom z napravo je iz svinčenega stekla. Dodaten varnostni sistem v prostoru, kjer je SPECT-CT so varnostna stikala na vratih, ki preprečujejo ekspozicijo CT-ja, če so vrata odprta (Zdešar, 2011).



Slika 6: Zaščitno steklo v nadzornem prostoru SPECT-CT (Grmek, 2004)

Z namenom oslabitve vplivov rentgenske svetlobe in pozitronskih sevalcev so stene prostora, v katerem je naprava PET-CT, opremljene z 18 do 25 cm debelo betonsko zaščito, za njo pa se nahaja 8 mm do 16 mm debela svinčena zaščita (Grmek in Tomše, 2009). Vrata so zaščitena s svinčeno pločevino. Zaščita za rentgensko svetlobo CT naprave je nameščena na okna diagnostičnega prostora. Dodaten varnostni sistem so varnostna stikala na vratih, ki preprečujejo ekspozicijo CT-ja, če so vrata odprta (Zdešar, 2011).

Ugotavljanje izpostavljenosti ionizirajočim sevanjem

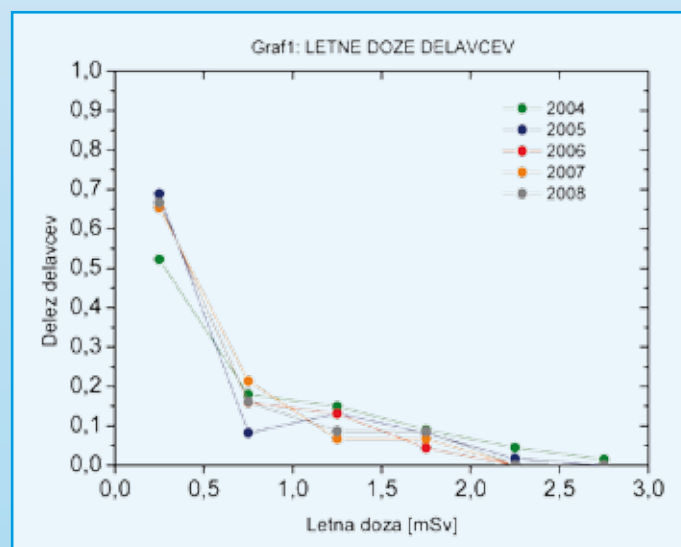
Redno spremljanje izpostavljenosti ionizirajočim sevanjem določa 29. člen ZVISJV (2002), ki delodajalcu nalaga, da »mora zagotoviti, da se redno ugotavlja izpostavljenost delavcev in meri sevanje na delovnem mestu«

Pravilnik o obveznostih izvajalca sevalne dejavnosti in imetnika vira ionizirajočih sevanj (2004) v 17. členu določa, da se meritve individualne izpostavljenosti zaradi zunanega obsevanja izvajajo s pasivnimi dozimetri, ki jih delavci praviloma nosijo pripete na gornjem delu telesa v višini prsnice. Dozna obremenitev na najbolj izpostavljene organe pa se ugotavlja z dozimetri na zapestnicah, prstanih, očalih in drugih mestih. Pri PET-CT preiskavah je potrebno nositi še dodaten elektronski dozimeter, ki opozarja na preseženo mejno hitrost doze. Ta je nastavljena na 100 $\mu\text{Sv/h}$. Presežena dnevna mejna prejeta doza je nastavljena na 50 μSv (Grmek in Tomše, 2009).

Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (2004) pa v 6. členu določa dozne meje za izpostavljene delavce. Mejna efektivna doza znaša 20 mSv na leto, mejna ekvivalentna doza na kožo, roke, podlahti, stopala in gležnje je 500 mSv na leto, na očne leče pa 150 mSv na leto ne glede na velikost efektivne doze, ki jo prejme izpostavljeni delavec. Mesečna dozna ograda na KNM pa znaša 0,5 mSv/mesec (Grmek in Tomše, 2009).

V Oceni varstva je predvideno, da radiološki inženirji na KNM letno prejmejo dozo 2,4 mSv na celo telo. Ocenjena dnevna efektivna doza znaša okoli 10 μSv in sicer 2 μSv prispeva aplikacija radiofarmaka, 7,2 μSv slikovna preiskava in 1 μSv izvajanje kontrole kakovosti slikovne naprave (Grmek, 2004). Letna efektivna doza, ki jo v okviru SPECT-CT prispeva CT naprava je na letni ravni nižja od 0,05 mSv. Mesečna efektivna doza pa znaša okoli 3,3 μSv (Zdešar, 2011).

Poročilo o pregledu ocene varstva izpostavljenih delavcev ne ugotavlja porasta prejetih efektivnih doz pri osebju, kljub temu, da se je število zahtevnejših nuklearno medicinskih preiskav povečalo. Kot je razvidno iz grafa 1 je med letoma 2004 in 2008 50% do 70% delavcev prejelo letno efektivno dozo nižjo od 0,5 mSv, 10% delavcev pa višjo od 2 mSv (Grmek in Tomše, 2009).



Graf 1: Letne doze izpostavljenih delavcev

Radiološki inženirji, ki izvajajo posege na PET-CT so dodatno izpostavljeni. Sevalno najzahtevnejša dela so odklapanje pacienta z avtomatskega aplikacijskega sistema ter nameščanje pacienta na PET-CT napravo. Radiološki inženir se med odklapanjem pacienta pri njem zadržuje 2 minuti. V tem času so izpostavljeni hitrostim doze, ki znaša okoli 35 $\mu\text{Sv/h}$. Čas zadrževanja pri pacientu med nameščanjem na napravo in po končani preiskavi, ko ga pospremi z nje pa je okoli 4 minute. Pri tem je izpostavljen hitrostim doz okoli 20 $\mu\text{Sv/h}$ (Grmek in Tomše, 2009).

Tako po Oceni varstva radiološki inženir na posamezno PET-CT preiskavo prejme efektivno dozo 1,8 μSv . Med nadzorom pacienta pred slikanjem prejme 0,4 μSv , 1,3 μSv prejme med namestitvijo in odpustom pacienta, 0,1 μSv pa med slikanjem pacienta. Letna efektivna doza znaša 450 μSv (Grmek in Tomše, 2009). Mesečna efektivna doza, ki jo v okviru PET-CT prispeva CT naprava, je manjša od 1 μSv in tako na letni ravni zanemarljiva (Zdešar, 2011).

Ocena varstva pri aplikaciji radiodiagnostika predvideva možnost površinske radioaktivne kontaminacije delavčeve kože na glavi, lasišča in obleke. Ta se meri z merilniki kontaminacije, iz specifične površinske aktivnosti posameznih radionuklidov se nato ekvivalentno dozo na

kožo določi z računskimi modeli (SV 8, 2004). Mejna vrednost kontaminacije ne sme presegati 80 Bq na 100 cm² za sevalce beta in gama (SV 2, 2004).

Izpostavljenost zaradi vnosa radionuklidov v telo se glede na vrsto in naravo radionuklidov in način vnosa določi z računskimi modeli (SV, 2004) na podlagi meritev, ki se opravijo s sistemom »whole-body counter« (Grmek, 2004). Zakonodaja določa mejne vrednosti notranje kontaminacije z Tc-99m 1, 1GBq/leto (inhalacija) in 0, 9 GBq/leto (ingestija) (UV 2, 2004:). Mesečni vnos Tc-99m v telo z inhalacijo po Oceni varstva znaša največ 10kBq, letni pa največ 110 kBq. Ta aktivnost ustreza efektivni dozi 2 μSv na leto (Grmek, 2004). V primeru večje kontaminacije z radionuklidom F-18 (nekaj 100 MBq) pa je predvidena efektivna doza nižja od 1 mSv. Vendar pa do vnosa izotopa v organizem zaradi uporabe zaščitne opreme naj ne bi prišlo (Grmek in Tomše, 2009).

ZAKLJUČEK

V članku sva na podlagi Ocene varstva izpostavljenih delavcev obravnavala dozno obremenitev radioloških inženirjev na KNM. Glavni dejavnik izpostavljenosti ionizirajočim sevanjem so radionuklidi, aplicirani v pacientovo telo. Radiološki inženir je izpostavljen sevanju iz pacienta, možna pa je tudi kontaminacija z radionuklidi, do katere lahko pride med aplikacijo ali preko pacientovih izločkov.

Pred zunanjimi vplivi ionizirajočih sevanj se radiološki inženirji ščitijo z osebno varovalno opremo in zaščitnimi sredstvi, ki sevanje oslabijo. Pred kontaminacijo pa jih varuje zaščitna obleka, obutev, maska, zaščitne rokavice in očala.

Radionuklidi oddajajo različne vrste sevanja, zato se za različne radionuklide uporabljajo različna zaščitna sredstva. Medtem ko se za vire sevanja gama uporabljajo svinčene zaščite, se pri pripravi pozitronskih radiofarmakov v kombinaciji s svinčenimi ščiti uporabljajo dodatna plastična zaščitna sredstva, ki zaustavljajo delce beta.

Poleg osebne zaščitne opreme je potrebna tudi zaščita prostorov. V prostorih s planarnimi gama kamerami in SPECT-CT so stene in vrata zaščitene s svinčeno zaščito, v prostorih PET-CT pa je poleg svinčene potrebna še betonska zaščita.

Merjenje osebne izpostavljenosti ionizirajočim sevanjem se izvaja s pomočjo osebnih termoluminiscenčnih dozimetров. Prejeta doza se odčitava mesečno. Zakonsko določena letna omejitev za izpostavljene delavce znaša za efektivno dozo 20 mSv, za ekvivalentno dozo na kožo, roke, podlahti, stopala in gležnje 500, na očesne leče pa 150.

Iz Ocene varstva izhaja, da prejete doze ne bi smele presegati zakonskih omejitev. Ocenjena letna efektivna doza radioloških inženirjev pri delu z viri sevanja gama znaša 2, 4 mSv in pri delu na PET-CT napravi pa 0, 45 mSv. Doza zaradi uporabe CT naprave pri SPECT-CT in PET-CT preiskavah je na letni ravni zanemarljiva. Prav tako naj bi bila zaradi uporabe zaščitnih sredstev zanemarljiva doza zaradi kontaminacije z radionuklidi.

Poročilo o pregledu ocene varstva izpostavljenih delavcev, kjer so analizirane dejansko prejete doze navaja, da je med leti 2004 in 2009 tri četrtine zaposlenih na KNM prejelo letno efektivno dozo nižjo od 0, 5 mSv, desetina zaposlenih pa je prejela dozo višjo od 2 mSv. Iz tega lahko zaključiva da so izmerjene doze za to obdobje primerljive z ocenjenimi in ne presegajo zakonskih omejitev.

LITERATURA

Bé M M, Chisté V (2004). Monographie BIPM-5: Table of radionuclides. Sévres: Bureau International des Poids et Mesures, 183 – 186.

Delacroix D, Guerre JP (2002). Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook 2nd Edition. France: Nuclear Technology Publishing 98 (2): 10 – 17.

Dörschel B, Schuricht V (1996). The Physics of Radiation Protection. England: Nuclear Technology Publishing, 95 – 96.

Evaluated Nuclear Structure Data File. National Nuclear Data Center: Brookhaven National Laboratory. <http://www.nndc.bnl.gov/chart/decaysearchdirect.jsp?nuc=18F&unc=nds<14.5.2011>>.

Grmek M (2002). Ocena varstva izpostavljenih delavcev pred sevanji. Klinika za nuklearno medicino, Univerzitetni klinični center Ljubljana.

Pravilnik o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji (2003). UR list RS 5 (115): 8 – 9.

Pravilnik o obveznostih izvajalca sevalne dejavnosti in imetnika vira ionizirajočih sevanj (2004). UR list RS 8 (13): 12.

Shapiro J (1972). Radiation protection: A Guide for Scientists and Physicians. Massachusetts: Harvard University Press, 59 – 60.

Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (2004). UR list RS 2 (49): 9 – 10.

Tomše P, Grmek M (2009). Ocena varstva izpostavljenih delavcev pred sevanji: Pozitronska emisijska tomografija (PET) in preiskave na sistemu Siemens Biograph mCT. Klinika za nuklearno medicino, Univerzitetni klinični center Ljubljana.

Tomše P, Grmek M (2009). Poročilo o pregledu ocene varstva izpostavljenih delavcev. Klinika za nuklearno medicino, Univerzitetni klinični center Ljubljana.

Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (2002). UR List RS 7 (67): 7603 – 7610.

Zdešar U (2011). Ocena varstva izpostavljenih delavcev pri izvajanju računalniške tomografije. Zavod za varstvo pri delu, Ljubljana.