

IZPOSTAVLJENOST IONIZIRAJOČIM SEVANJEM V MEDICINI IN UČINKI NA ZDRAVJE

Urban Zdešar

UVOD

Ljudje smo vsak dan izpostavljeni raznim sevanjem. Ena od oblik sevanja, ki ji rečemo ionizirajoče, je sevanje z dovolj visoko energijo, da lahko povzroči ionizacijo atomov. Takšne spremembe na atomski in molekularni ravni pa lahko nadalje povzročijo poškodbe celic in tkiv. Obsevanost oziroma škodo zaradi nje običajno opišemo z efektivno dozo. V osnovi gre za fizikalno količino (absorbirana doza), pri kateri upoštevamo še biološko učinkovitost posamezne vrste sevanja in relativno občutljivost posameznih obsevanih tkiv ali organov. Zato efektivna doza in s tem tveganje za obsevanega posameznika ni neposredno merljiva količina, mogoče jo je le bolj ali manj natančno oceniti.

Glede na način nastanka oziroma naravo vira sevanja ionizirajoče sevanje pogosto delimo na naravno in umetno. Naravno sevanje je povsod na Zemlji. Obsevani smo zaradi radioaktivnih izotopov v lastnem telesu, zaradi radioaktivnih snovi v zemeljski skorji in zaradi sevanja iz vesolja (imenujemo ga tudi kozmično sevanje). Za večino prebivalcev je obsevanost zaradi naravnih virov sevanja največji vir obsevanosti. Prejeto povprečno dozo zaradi naravnega ozadja v Sloveniji ocenjujejo na 2,5 mSv do 2,8 mSv (1). Poleg iz naravnih pa ionizirajoče sevanje izhaja tudi iz virov, ki jih je človek izdelal sam; tem pravimo umetni viri sevanja. Zelo pogosto se umetni viri sevanja uporabljajo v medicini, tako za odkrivanje bolezni in poškodb (diagnostika) kot za zdravljenje nekaterih bolezni (terapija).

Obsevanost ljudi je zaradi uporabe ionizirajočega sevanja v zdravstvu in zobozdravstvu danes precej večja, kot je obsevanost zaradi katere koli druge človekove dejavnosti. Ocenjujejo, da se v državah z razvitim zdravstvenim sistemom v povprečju opravi več kot en radiološki poseg na prebivalca na leto (2). Povprečna efektivna doza zaradi medicinske uporabe ionizirajočega sevanja je ocenjena na okrog 0,6 mSv (2), pri čemer je v najrazvitejših državah precej večja. Tako za ZDA, ki vsaj na področju diagnostične radiologije velja za najrazvitejšo državo na svetu, ocenjujejo, da medicinsko sevanje prispeva že skoraj polovico k povprečni efektivni dozi prebivalstva (3).

Ionizirajoče sevanje se v medicini uporablja na treh področjih: (i) v diagnostični in intervencijski radiologiji, (ii) v nuklearni medicini in (iii) v radioterapiji. Daleč najpogostejši radiološki posegi (tako s skupnim imenom imenujemo

medicinske postopke, ki vključujejo izpostavljenost pacientov ionizirajočemu sevanju) so razne rentgenske preiskave, večinoma namenjene diagnosticiranju raznih bolezni in poškodb. To področje imenujemo **diagnostična radiologija** in vključuje običajna rentgenska slikanja (npr. slikanja pljuč, skeleta, zob itd.), slikanja dojke (mamografijo), razne dinamične dia-skopske preiskave (npr. preiskave prebavil in sečil) in preiskave z uporabo računalniške rekonstrukcije slik (računalniška tomografija). Poleg tega med diagnostično radiologijo prištevamo tudi razne intervencijske posege, pri katerih s pomočjo rentgenskega sevanja uporabljamo majhne inštrumente, uvedene v človekovo telo skozi žilne katetre.

Pri **nuklearnomedicinskih posegih** se uporabljajo odprti viri sevanja – radiofarmaki. Gre za posebna zdravila, na katere so kemično vezani radioaktivni izotopi, ki se po injiciranju (ali zaužitju) nabirajo v raznih telesnih organih ali patoloških tkivih, sorazmerno z delovanjem izbranih organov. Zato z nuklearnomedicinskimi preiskavami prikazujemo ne le morfologijo, ampak tudi funkcijo organov ali bolnih tkiv v telesu.

Radioterapija je zdravljenje z ionizirajočim sevanjem, najpogosteje rakavih bolnikov. Za obsevanje se uporabljajo različni viri sevanja, ki v zelo visokih dozah uniči rakave celice. Danes se najpogosteje uporablja obsevanje z linearnimi pospeševalniki (teleradioterapija), lahko pa se radioaktivni viri sevanja tudi vnesejo neposredno v tumor (brahiradioterapija). V prispevku se bomo omejili na področje diagnostične radiologije, ki je po številu opravljenih posegov daleč največje.

SISTEM VARSTVA PACIENTOV PRED SEVANJEM

Škodljivih posledic ionizirajočega sevanja so se ljudje začeli zavedati kmalu po samem odkritju sevanja. Najprej posledic visokih doz, ki povzročijo deterministične učinke (sevalne poškodbe), kasneje pa tudi kasnih posledic (imenujemo jih tudi stohastični učinki), med katerimi je najpogostejši rak. Logična posledica je bil razvoj sistema varstva pred sevanjem ali radiološke zaščite. Glavni namen tega sistema je zagotoviti učinkovito zaščito ljudi brez pretiranega omejevanja koristne uporabe sevanja. Učinkovito varstvo pred sevanjem tako pomeni predvsem preprečevanje nepotrebne ali neproduktivne obsevanosti, kar dosegamo z doslednim upoštevanjem treh osnovnih načel:

- ionizirajoče sevanje uporabljamo, le če skupna korist zaradi uporabe presega škodo zaradi izpostavljenosti sevanju – **načelo upravičenosti**;
- zaščita pred sevanjem mora biti urejena tako, da so prejete doze tako nizke in število izpostavljenih posameznikov tako majhno, kot je le mogoče, da se še doseže namen uporabe sevanja ob upoštevanju gospodarskih in socialnih dejavnikov – **načelo optimizacije zaščite**;

- kadar izpostavljeni posamezniki nimajo neposredne koristi zaradi uporabe sevanja (npr. kadar je posameznik izpostavljen sevanju pri svojem delu ali v prostem času), mora tisti, ki sevanje uporablja, poskrbeti, da so prejete doze teh posameznikov pod določenimi mejnimi vrednostmi – **načelo individualnih doznih omejitev**.

Zaradi svojevrstnosti področja se medicinska obsevanost oziroma radiološka zaščita pacientov obravnavata ločeno od obsevanosti prebivalstva in od obsevanosti na delovnih mestih. Bistvena razlika je, da načela omejevanja individualnih doz pri medicinski obsevanosti ne uveljavljamo, ker je korist za pacienta, če je postopek upravičen, precej večja od možne škode. Zato sta načeli upravičenosti in optimizacije pri medicinski uporabi ionizirajočega sevanja še toliko pomembnejši.

Odločitev o upravičenosti radiološkega posega je prvi korak pri varstvu pred sevanjem. Poseg je dopusten, le če je zanj jasna klinična indikacija in če je mogoče pričakovati, da bo korist zaradi posega večja od škode zaradi prejete doze. Zato bi morala tako napotni zdravnik (ki napoti pacienta na radiološki poseg) kot zdravnik, ki je odgovoren za poseg (običajno zdravnik specialist radiolog), poznati značilne doze pri posameznih posegih.

Naslednji korak pa je optimizacija posega. Dozo, ki jo med posegom prejme pacient, lahko razdelimo na neogibni del, ki ga upravičuje korist za pacienta, ter neupravičeni del. Včasih je neupravičen kar celotni poseg, na primer zaradi neutemeljene indikacije ali nepotrebnega ponavljanja že opravljenih preiskav. Kadar pa je poseg upravičen, vendar zaradi uporabe neustrezne opreme ali tehnike oziroma nestrokovne uporabe sicer dobre tehnike ni optimiziran, je neupravičen le del prejete doze. Optimizacija pomeni poiskati tisto najmanjšo dozo, pri kateri še dosežemo namen posega. Vsako nadaljnje zmanjševanje doze bi bilo pacientu samo v škodo, saj bi zmanjšalo kakovost diagnostičnih informacij in s tem ogrozilo pravilnost diagnoze.

Neupravičeni del doze je lahko zelo velik. Čeprav nekoliko presenetljivo, povsod po svetu ugotavljajo, da se vrednosti prejetih doz pri isti preiskavi od ustanove do ustanove oziroma od oddelka do oddelka zelo razlikujejo. Tako so za enak poseg lahko doze tudi do nekaj desetkrat različne. Takih razlik ni mogoče zagovarjati, ampak je treba vzroke identificirati in jih preprečiti. Poznavanje doz je tako tudi osnova za optimizacijo.

UČINKI SEVANJA NA ZDRAVJE

Ko govorimo o učinkih sevanja na človeka, moramo predvsem razlikovati učinke zaradi visokih doz od učinkov nizkih doz. Prve razmeroma dobro poznamo, medtem ko je pri drugih še precej odprtih vprašanj.

Pri obsevanju z visokimi dozami je najpomembnejši učinek na ravni celic njihova smrt (celica umre ali se vsaj ni več sposobna razmnoževati). Tkiva navadno brez večjih težav uspešno preživijo izgubo določenega števila celic in izgubljene celice preprosto nadomestijo z novimi. Če pa je delež umrlih celic dovolj velik, tkivo delno ali popolnoma izgubi svojo funkcijo. Dozo, nad katero je izguba celic tako velika, da vpliva na delovanje tkiva, imenujemo dozni prag in je značilna za **deterministične učinke sevanja**. Nad pragom je resnost poškodb odvisna od prejete doze. Deterministične učinke lahko brez obotavljanja pripišemo sevanju, pojavijo pa se razmeroma kmalu po obsevanju.

Druga vrsta posledic, ki jih lahko povzroči ionizirajoče sevanje, so **stohastični** ali **naključni učinki**. Najpomembnejši med njimi je razvoj raka – karcinogeneza. Naključne jih imenujemo zato, ker ne moremo zagotovo reči, da so ravno posledica izpostavljenosti sevanju. Za bolnika, na primer, ki je 20 let po znatni izpostavljenosti sevanju zbolel za rakom pljuč, ne moremo trditi, da je njegova bolezen ravno posledica obsevanja, saj za rakom pljuč zbolijo tudi ljudje, ki niso bili dodatno izpostavljeni, ali ne zbolijo tisti, ki so bili izpostavljeni. Za stohastične učinke je značilno, da nimajo doznega praga in se lahko pojavijo pri še tako nizki dozi. Z naraščanjem doze ne narašča resnost stohastičnih učinkov, ampak le verjetnost, da bo do učinkov prišlo.

Ker ne poznamo natančno vseh mehanizmov karcinogeneze, pri ocenjevanju tveganja uporabljamo računske modele. Z njimi poskušamo čim boljše opisati naravno dogajanje, vendar je zaradi množice parametrov, ki v naravi nastopajo, nesmiselno pričakovati zanesljivo napovedovanje. Tega se moramo pri uporabi rezultatov modelov vedno zavedati.

Za oceno tveganja se večinoma uporabljajo modeli, ki jih predlaga Mednarodna komisija za radiološko zaščito – ICRP (*International Commission on Radiological Protection*). Po linearnem modelu tveganja, ki se najpogosteje uporablja, se tveganje zaradi obsevanosti linearno večja s prejeto efektivno dozo. Koeficient tveganja je ocenjen na okrog 5 % na 1000 mSv prejete doze (4). To pomeni, da bi okrog 5 % ljudi, ki bi prejeli efektivno dozo 1000 mSv, umrlo od raka, ki je posledica obsevanosti. Vendar je 1000 mSv zelo velika doza; večinoma imamo opravka z dozami, ki so veliko manjše. Iz naravnega ozadja v celem življenju dobimo okrog 200 mSv. Kakšne so običajne prejete doze v diagnostični radiologiji, so bomo ogledali v nadaljevanju.

DIAGNOSTIČNA RADIOLOGIJA

Obsevanost pacientov je pri različnih posegih diagnostične radiologije zelo različna. Pri nekaterih posegih so prejete doze zelo nizke (npr. pri rentgenskem slikanju zob, slikanju drobnega skeleta, pri rentgenskem merjenju

kostne gostote itd.). Nekoliko višje doze so običajne za slikanja predelov hrbtenice, trebuha in medenice ter za posege, pri katerih se uporablja dia-skopija (npr. preiskave prebavil in sečil). Pri računalniški tomografiji in nekaterih posegih intervencijske radiologije pa so doze običajno še višje.

Poleg tega se celo pri isti preiskavi prejete doze precej razlikujejo od ustanove do ustanove oziroma od oddelka do oddelka. In nenazadnje, prejeta doza je precej odvisna tudi od pacienta samega oziroma od njegovih antropomorfnih lastnosti. Pri večjih pacientih so za enako kakovost diagnostičnih informacij potrebni večji ekspozicijski parametri, s tem pa je večja tudi njihova prejeta doza. Kadar govorimo o obsevanosti pacientov, se moramo vseh navedenih dejstev zavedati in zato povprečne doze, ki jih bomo navajali v nadaljevanju, vzeti tudi nekoliko zadržkom.

Konvencionalna rentgenska slikanja

Običajna rentgenska slikanja so najpogostejši posegi diagnostične radiologije. Ker gre za splošno znane posege, jih ne nameravamo posebej opisovati, v tabeli 1 navajamo le ocenjene značilne doze za nekatera slikanja.

Tabela 1: Povprečne efektivne doze prejete pri nekaterih rentgenskih slikanjih

<i>Slikani predel telesa</i>	<i>Projekcija</i>	<i>E (mSv)</i>
Prsni organi (pljuča)	PA	0,02
	LAT	0,06
Prsni predel hrbtenice	AP	0,19
	LAT	0,20
Ledveni predel hrbtenice	AP	0,25
	LAT	0,47
Ledveno-trtični prehod	LAT	0,50
Medenica	AP	0,54
Kolk	AP	0,31

V tabeli niso navedene doze za slikanja zob in drobnega skeleta, saj je ocenjena efektivna doza pri tem pod 0,01 mSv in s tem na ravni doze, ki jo prejmemo zaradi naravnega ozadja v dnevu ali dveh.

Mamografija

Mamografija je radiološka preiskava, s katero poskušamo v slikanih dojkah odkriti majhne spremembe (še netipne lezije in zelo majhne mikrokalcinacije), ki so lahko začetne faze raka dojk. Zato se za mamografijo uporabljajo posebni rentgenski aparati, ki se v nekaterih lastnostih bistveno razlikujejo od rentgenskih aparatov za ostala rentgenska slikanja.

Pri mamografiji razlikujemo klinično slikanje, ki ga opravimo ob katerem koli kliničnem znaku obolenosti dojke, od presejalne mamografije, pri kateri slikamo dojke brez kliničnih znakov bolezni. Gre za eno redkih preiskav (pri nas trenutno edino), pri kateri se uporablja ionizirajoče sevanje pri posameznikih, ki nimajo znakov bolezni. Preventivno slikanje dojk upravičuje uspešnost odkrivanja in tudi zdravljenja zgodnjih sprememb, ki jih ni mogoče ugotoviti na noben drug način. Organizirano presejanje (*screening*) se je v več državah pokazalo kot zelo uspešno za zgodnje odkrivanje raka dojk, ki ob pravilni nadaljnji obravnavi uspešno zmanjša umrljivost zaradi te bolezni. Zato je tudi Slovenija leta 2008 začela izvajati program preventivnega slikanja dojk DORA.

Mamografija je nekoliko posebna tudi zaradi tega, ker pri preiskavi obsevamo praktično le en organ – dojko. Rak dojke se praktično vedno začne v žlezem tkivu dojke, zato je za oceno tveganja pomembna doza, ki jo prejme to tkivo. Sestava in velikost dojk je pri različnih ženskah zelo različna, hkrati pa se sestava dojke zelo spreminja s starostjo ženske, saj žlezno tkivo postopoma nadomešča maščevje. Zato za oceno obsevanosti pri mamografiji uporabljamo modelsko količino povprečno žlezno dozo. Iz povprečne žlezne doze ocenjena efektivna doza pri mamografskem slikanju v Sloveniji znaša nekaj manj kot 0,4 mSv.

Računalniška tomografija

Računalniška tomografija (CT – *Computed Tomography*) se je začela uporabljati v klinični praksi leta 1972. Nova diagnostična metoda je zelo spremenila rentgensko diagnostiko, saj je omogočila prikaz prereзов človekovega telesa. Hkrati je zagotovila zelo veliko kontrastno ločljivost in s tem dobro preglednost tkiv, katerih struktura je slabo kontrastna.

Hitri napredek računalniške tomografije od začetkov do danes je posledica hitrega tehnološkega razvoja na področju detektorjev, predvsem pa napredka zmogljivosti računalnikov. Zelo pomemben del naprave za računalniško tomografijo je namreč programska oprema, ki omogoča obdelavo in prikaz zajetih podatkov, prilagojen diagnostičnim zahtevam. Zato je postala računalniška tomografija nepogrešljiv del medicinske diagnostike in število CT-posegov povsod po svetu strmo narašča. Ne gre pozabiti tudi na drugo plat

medalje. Računalniška tomografija je diagnostična metoda, ki razmeroma bolj (vsaj v primerjavi s konvencionalno projekcijsko radiologijo) sevalno obremenjuje paciente. Zaradi vrste možnosti, ki jih omogoča, je optimizacija pri izvedbi posameznega posega zelo pomembna. Optimizacija pomeni izbiro takšnih ekspozicijskih parametrov, da so izpolnjene diagnostične zahteve, zaradi katerih se poseg izvaja, pacient pa je obsevan le toliko, kot je nujno.

Po ocenah strokovnjakov Evropske unije danes računalniška tomografija prispeva od 30 do 60 % h kolektivni dozi zaradi diagnostične radiologije (5). Zato je računalniška tomografija dobila tudi posebno mesto v zakonodaji in jo obravnavamo kot metodo, pri kateri je obsevanost pacientov med večjimi.

Povprečne učinkovite doze pri treh najpogostejših posegih z računalniško tomografijo so zbrane v tabeli 2.

Tabela 2: Povprečne učinkovite doze, prejete pri treh najpogostejših posegih z računalniško tomografijo v Sloveniji (ocena je za leto 2008)

<i>Preiskava</i>	<i>E (mSv)</i>
CT Glave	2,0
CT Prsnega koša*	5,1
CT Trebuha*	6,8

** CT-preiskave prsnega koša in trebuha se pogosto izvajajo z uporabo kontrastnih sredstev. Takrat potekajo v več (2 do 4) fazah. V tabeli navedena vrednost učinkovite doze velja za eno fazo, pri več fazah pa je ustrezno večja*

Intervencijska radiologija in kardiologija

Intervencijska radiologija in intervencijska radiološka kardiologija sta veji radiologije, ki s pomočjo ionizirajočega sevanja omogočata uporabo majhnih inštrumentov, uvedenih v človekovo telo večinoma skozi žilne katetre. Intervencijski radiološki posegi se razvijajo zelo hitro, k čemur je močno pripomogel hiter razvoj tehnike – radiološke opreme na eni in raznih pripomočkov, ki jih je mogoče uporabiti transluminalno, na drugi strani. Hkrati z naraščanjem števila indikacij za posege se tudi manjša število zapletov, zato ti posegi pogosto nadomeščajo kirurško zdravljenje.

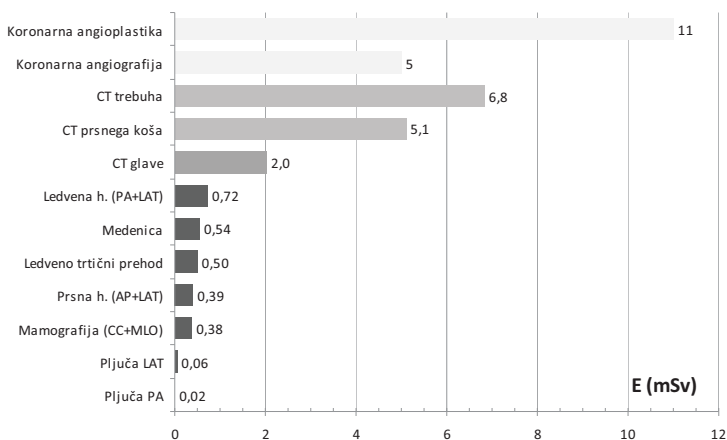
Pri zapletenih posegih pa je včasih neizogibna dolgotrajna uporaba rentgenskega sevanja, s pomočjo katerega se poseg spremlja in dokumentira. Posledica tega je lahko razmeroma visoka obsevanost pacienta. To zlasti

velja za dozo na koži, na mestu vstopa sevanja v telo. Če doza na koži oziroma delu kože preseže določeni prag, se pojavi sevalna poškodba. Glede na poročila o povzročeni poškodbah kože, ki jih je mogoče najti v literaturi ali na svetovnem spletu, so poškodbe pogostejše pri intervencijski kardiologiji, kjer sta najpogostejši dve vrsti posegov, in sicer diagnostika ožilja srca (koronarna angiografija – CA) in znotrajžilno zdravljenje (angioplastika – PTCA). Tudi na področju intervencijske radiologije so nekateri posegi takšni, da je obsevanost pacientov v nekaterih primerih dovolj velika, da lahko povzroči sevalne poškodbe kože. Takšni posegi so znotrajžilna zdravljenja sprememb na aorti, krvavitev iz prebavil in zdravljenje znotraj lobanjskih anevrizem in arteriovenskih anomalij, med bolj sevalno obremenjujoče pa štejejo tudi transjugularni portosistemiški obvodi (TIPS).

Povprečno obsevanost pacientov je pri intervencijskih posegih še zlasti težko oceniti, saj so posegi med seboj po zapletenosti zelo različni. Pri nas smo zaenkrat dovolj podatkov zbrali le za področje intervencijske kardiologije, pa še to le za dva najpogostejša posega. Tako ocenjena povprečna efektivna doza pri koronarni angiografiji znaša okrog 5 mSv in pri koronarni angioplastiki (ene koronarne žile) okrog 11 mSv.

ZAKLJUČEK

Ljudje smo izpostavljeni naravnim in umetnim virom ionizirajočega sevanja. Med umetnimi viri daleč največji delež k dozi prispeva medicinska uporaba sevanja, predvsem uporaba rentgenskih aparatov v diagnostični radiologiji.



Slika 1. Povprečne efektivne doze za nekaj najpogostejših radioloških posegov. Sivi pas na grafu ponazarja povprečno naravno ozadje enega leta v Sloveniji (2,5 mSv)

Prejete doze pacientov so zelo različne. Najbolj so odvisne od vrste opravljene preiskave, potem pa še od pacienta samega (predvsem od posameznikovih antropomorfnih značilnosti), od radiološke opreme (rentgenskega aparata in druge opreme) in načina njene uporabe. Zato so, čeprav nekoliko presenetljivo, doze tudi za enak poseg lahko na različnih oddelkih zelo različne. Prav zaradi tega je zelo pomembno, da poznamo značilne prejete doze prav na vsakem od rentgenskih aparatov in jih, kadar je to mogoče, brez škode za kakovost preiskave, poskušamo zniževati.

Ocenjene povprečne efektivne doze za nekaj najpogostejših radioloških posegov diagnostične radiologije so na grafu na sliki 1. Ocena je narejena iz podatkov in meritev, ki smo jih zbrali sodelavci Zavoda za varstvo pri delu od leta 2005 do 2008.

Kljub temu, da so prejete doze pri nekaterih posegih razmeroma visoke, je treba poudariti, da je korist za pacienta, če je poseg upravičen in optimiziran, veliko večja, kot je škoda zaradi prejete doze. Zato je varstvo pacientov pred sevanji predvsem izogibanje tistemu delu doze, ki se ji je mogoče izogniti brez škode za pacienta (največkrat nepotrebne napatitve na posege ali pa slabo izvedeni posegi).

LITERATURA

1. Poročilo o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti v Republiki Sloveniji leta 2010. Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost; Ljubljana, 2010.
2. United Nations. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific committee on the effects of atomic radiation. UNSCEAR 2008 Report to General Assembly with scientific annexes. New York, 2010.
3. National council on radiation protection and measurements. Ionizing radiation exposure of the population of the United States. NCRP Report No. 160. Bethesda, 2009.
4. International commission on radiological protection. The 2007 recommendations of the International commission on radiological protection. ICRP Publication 103, 2007.
5. European Commission. European guidance on estimating population doses from medical X-ray procedures. Annex 1. Review of recent national surveys of population exposure from medical X-rays in Europe. Radiation protection No. 154, 2008.