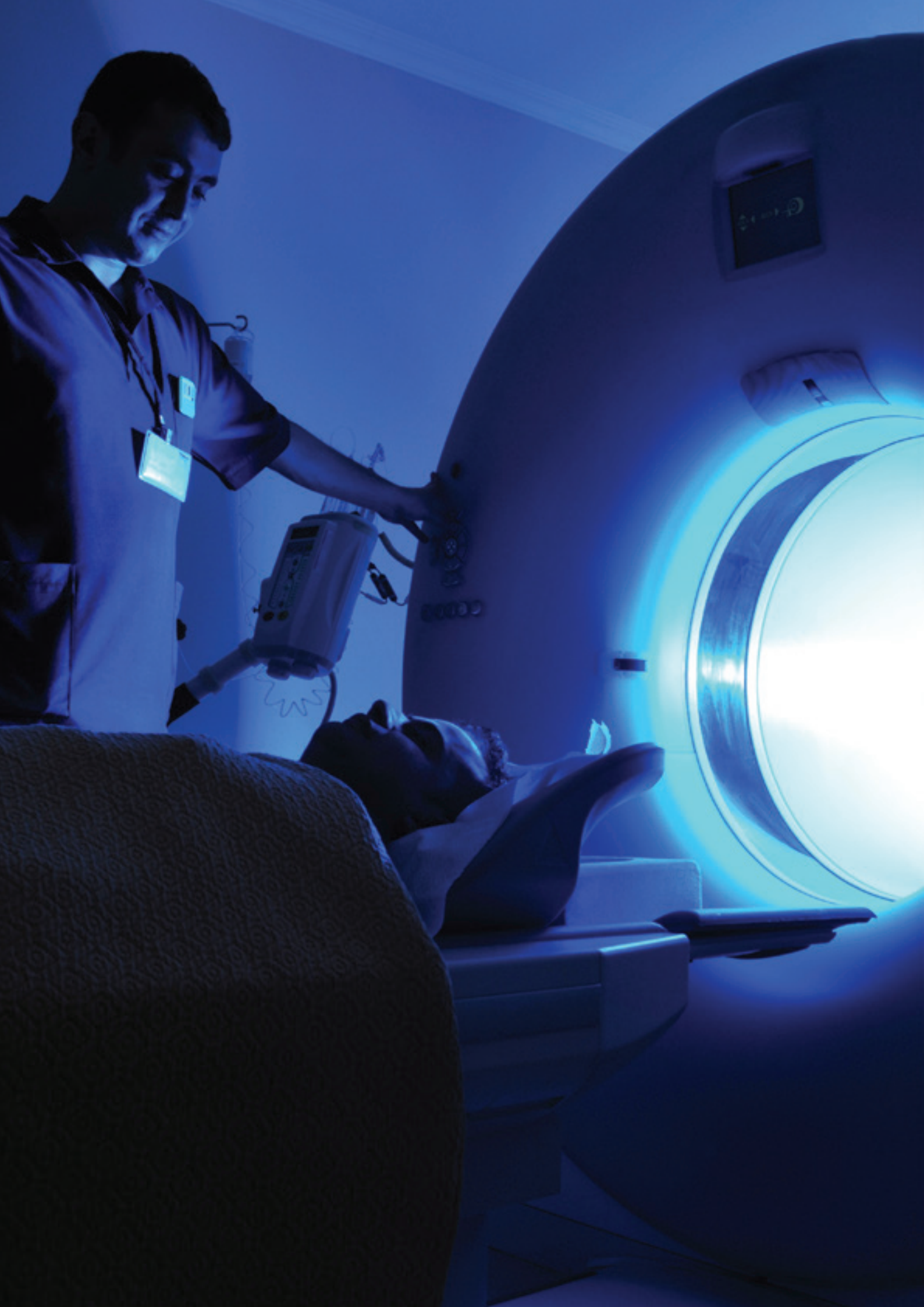




Izpostavljenost pacientov ionizirajočemu sevanju v diagnostični radiologiji

Avtor:

mag. Urban Zdešar, univ. dipl. fiz.

Ljudje smo vsakodnevno izpostavljeni različnim vrstam sevanja. Ena izmed njih je ionizirajoče sevanje, pri kateri imajo fotoni dovolj visoko energijo, da lahko povzročijo ionizacijo atomov v snovi. Takšne spremembe na atomskem oziroma molekularnem nivoju pa v živih organizmih lahko povzročijo poškodbe na celični in tkivni ravni. Obsevanost ljudi oziroma škodo, ki jo obsevanost povzroči, običajno opišemo z efektivno dozo. V osnovi gre za fizikalno količino (absorbirana doza), pri kateri z utežnimi faktorji upoštevamo še biološko učinkovitost posamezne vrste sevanja in relativno občutljivost posameznih obsevanih tkiv oziroma organov. Zato efektivna doza in s tem tveganje za obsevanega posameznika ni neposredno merljiva količina, mogoče jo je le bolj ali manj natančno oceniti.

Ionizirajoče sevanje, glede na način nastanka oziroma naravo vira sevanja, pogosto delimo na naravno in umetno. Naravno sevanje je prisotno povsod na zemlji in je posledica radioaktivnih izotopov v našem telesu ter radioaktivnih snovi v zemeljski skorji; med naravno sevanje pa štejemo tudi kozmično sevanje, ki do nas prihaja iz vesolja. Za večino ljudi je obsevanost zaradi naravnega sevanja največji vir obsevanosti. Prejeto povprečno dozo zaradi naravnega ozadja v Sloveniji ocenjujejo na od 2,5 mSv do 2,8 mSv ⁽¹⁾. Poleg naravnih virov ionizirajočega sevanja človek uporablja tudi vire, ki jih je izdelal sam in jim zato rečemo umetni viri sevanja. Umetni viri sevanja se zelo pogosto uporabljajo v medicini, tako za odkrivanje bolezni in poškodb (diagnostika) kot tudi za zdravljenje nekaterih bolezni, zlasti raka (terapija).

Obsevanost ljudi zaradi uporabe ionizirajočega sevanja v zdravstvu in zobozdravstvu je danes precej večja, kot je obsevanost zaradi katerekoli druge človekove dejavnosti. Ocenjujejo, da se v državah z razvitim zdravstvenim sistemom v povprečju opravi več kot en radiološki poseg na prebivalca letno ⁽²⁾. Povprečna efektivna doza zaradi medicinske uporabe ionizirajočega sevanja je ocenjena na okrog 0,7 mSv ⁽³⁾, pri čemer je v najrazvitejših državah precej višja. V ZDA, ki vsaj na področju diagnostične radiologije velja za najrazvitejšo državo na svetu tako ocenjujejo, da medicinsko sevanje prispeva k povprečni efektivni dozi prebivalstva že skoraj polovico ⁽⁴⁾.

Radiološki posegi, kakor s skupnim imenom imenujemo medicinske postopke, ki vključujejo izpostavljenost pacientov ionizirajočemu sevanju, se izvajajo na treh

področjih. V diagnostični in intervencijski radiologiji, nuklearni medicini in radioterapiji. Daleč najpogostejši radiološki posegi so različna rentgenska slikanja, večinoma namenjena diagnosticiranju različnih bolezni in poškodb. To področje imenujemo **diagnostična radiologija** in poleg običajnih rentgenskih slikanj (npr. slikanja pljuč, skeleta, zob itd.) vključuje še slikanja dojke (mamografijo), različne dinamične diaskopske preiskave (npr. preiskave prebavil in sečil) ter računalniško tomografijo. Med diagnostično radiologijo pa običajno štejemo tudi različne **intervencijske posege**. Gre za diagnostiko in zdravljenje žilnih in drugih obolenj na minimalno invaziven način, z majhnimi inštrumenti, uvedenimi v človekovo telo skozi žilne katetre. Pri teh posegih se rentgensko sevanje uporablja za vodenje in dokumentacijo posega. Pri **nuklearno medicinskih 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 različnih telesnih organih ali patoloških tkivih sorazmerno z delovanjem teh organov. Zato z nuklearno medicinskimi preiskavami prikazujemo ne le morfolologijo, ampak tudi funkcijo organov ali bolnih tkiv v telesu. **Radioterapija** pa je zdravljenje z ionizirajočim sevanjem, ki se najpogostejše uporablja pri zdravljenju raka. Z obsevanjem z zelo visoko dozo sevanja uničijo rakave celice. Danes v radioterapiji najpogostejše uporabljamo linearne pospeševalnike (tele-radioterapija), lahko pa se radioaktivni viri sevanja vnesejo neposredno v tumor (brahi-radioterapija). V prispevku se bomo omejili na področje diagnostične radiologije, ki je po številu izvedenih posegov daleč največje.

1. UČINKI SEVANJA NA ZDRAVJE

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

Pri obsevanju z visokimi dozami je najpomembnejši učinek smrt obsevanih celic (celica umre ali se vsaj ni več sposobna razmnoževati). Izgubo določenega števila celic tkiva navadno brez večjih težav uspešno kompenzirajo 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 bo izguba celic tako velika, da bo to vplivalo 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 ko se pojavijo, ne moremo zagotovo reči, da so ravno posledica izpostavljenosti sevanju. Tako npr. za bolnika, 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 bolje opisati naravno dogajanje, vendar je zaradi množice parametrov, ki v naravi nastopajo, ni mogoče pričakovati, da bi z modeli tveganje zanesljivo napovedali. 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 povečuje s prejeto efektivno dozo. Koeficient tveganja je ocenjen na okrog 5 % na 1.000 mSv prejete doze ⁽⁵⁾. To pomeni, da bi okrog 5 % ljudi, ki bi prejeli efektivno dozo 1.000 mSv, umrlo od raka, ki je posledica obsevanosti. Vendar je 1.000 mSv zelo velika doza; večinoma imamo opravka z dozami, ki so veliko nižje. Zaradi naravnega ozadja na primer v celem življenju dobimo okrog 200 mSv doze.

2. SISTEM VARSTVA PACIENTOV PRED SEVANJEM

Po odkritju dejstva, da ima ionizirajoče sevanje škodljive učinke na zdravje ljudi, je prišlo do razvoja 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 in število izpostavljenih posameznikov tako nizko, kot je to mogoče doseči ob upoštevanju namena uporabe sevanja ter 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**.

Za medicinsko obsevanost je značilno, da je korist za pacienta, če je postopek upravičen, precej večja od možne škode. Zato načela omejevanja individualnih doz pri medicinski obsevanosti ne uveljavljamo in sta načeli upravičenosti in optimizacije pri medicinski uporabi ionizirajočega sevanja še toliko pomembnejši.

Odločitev o upravičenosti radiološkega posega je prvi in najpomembnejši korak varstva pred sevanjem. Radiološki poseg se lahko izvede le, če zanj obstaja jasna klinična indikacija in če je mogoče pričakovati, da bo korist zaradi izvedenega posega večja od škode zaradi prejete doze. Zato bi morala tako napotni zdravnik (zdravnik, ki napoti pacienta na radiološki poseg) kot tudi zdravnik, ki je odgovoren za poseg (v diagnostični radiologiji je to običajno zdravnik specialista 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 je upravičen s koristjo za pacienta, ter neupravičeni del. Včasih je neupravičen kar celotni poseg, na primer zaradi neutemeljene indikacije ali nepotrebne ponavljanja že opravljenih preiskav. Kadar pa je poseg sam 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 postavitve 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 potrebno vzroke identificirati in jih preprečevati. Poznavanje doz je tako tudi osnova za optimizacijo.

3. DIAGNOSTIČNA RADIOLOGIJA

Obsevanost pacientov je pri različnih posegih v diagnostični radiologiji zelo različna. Pri nekaterih posegih so prejete doze zelo nizke (npr. pri rentgenskem slikanju zob ali slikanju drobnega skeleta). Nekoliko višje doze so običajne za slikanja različnih predelov hrbtenice, trebuha in medenice ter za posege, pri katerih se uporablja diaskopija (npr. preiskave prebavil in sečil). Pri računalniški tomografiji in posegih intervencijske radiologije pa so doze običajno še višje. Prejeta doza je v veliki meri odvisna tudi od pacienta samega. Pri večjih pacientih so za doseganje enake kakovosti diagnostičnih informacij (slik) potrebni višji ekspozicijski parametri, s tem pa je večja tudi njihova prejeta doza.

Kot smo že omenili, pa se tudi pri isti preiskavi prejete doze lahko precej razlikujejo od ustanove do ustanove oziroma od oddelka do oddelka. Kadar govorimo o obsevanosti pacientov, se moramo vseh navedenih dejstev zavedati in zato povprečne doze, ki jih bomo navajali v nadaljevanju, vzeti tudi nekoliko z rezervo.

3.1. Konvencionalna rentgenska slikanja

Običajna rentgenska slikanja so najpogostejši posegi v diagnostični radiologiji. Ker gre za splošno znane posege, jih ni potrebno posebej opisovati; v tabeli 1 navajamo ocenjene značilne učinkovite doze za nekatera slikanja ⁽³⁾. V tabeli niso navedene doze za slikanja zob in drobnega skeleta, saj je ocenjena učinkovita doza pri tem pod 0,01 mSv in s tem na ravni doze, ki jo prejmemo zaradi naravnega ozadja v dnevu ali dveh.

Slikani predel telesa	E (mSv)
Prsni organi (pljuča)	0,05
Vratna hrbtenica	0,06
Prsna hrbtenica	0,36
Ledvena hrbtenica	0,76
Trebuh	0,42
Medenica s kolki	0,51

3.2. Mamografija

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

Mamografijo uporabljamo lahko kot diagnostični poseg, ki se izvede ob prisotnosti kateregakoli kliničnega znaka obolevnosti dojke ali pa tudi presejalno. Pri presejalni mamografiji slikamo dojke žensk brez kakršnih koli kliničnih znakov bolezni. Gre za eno redkih rentgenskih preiskav (pri nas trenutno edino), pri katerih se uporablja ionizirajoče sevanje pri posameznikih, ki nimajo znakov bolezni. Preventivno slikanje dojk je upravičeno z uspešnostjo 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 uspešna metoda zgodnjega odkrivanja raka dojk, ki ob pravilni nadaljnji obravnavi znatno zniža smrtnost zaradi te bolezni. V Sloveniji presejalno mamografijo izvajamo v programu DORA od leta 2008, na mamografsko slikanje pa so vsaki dve leti vabljeni ženske med 50. in 69. letom starosti. V zadnjih letih na letni ravni v programu DORA slikamo okrog 100.000 žensk, pri čemer odkrijemo preko 600 rakov ⁽⁶⁾.

Mamografija je nekoliko posebna tudi zaradi dejstva, da pri slikanju obsevamo praktično le en organ – dojko. Ker se rak dojke vedno začne v žlezem tkivu dojke, 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 spreminja tudi s starostjo ženske. Za oceno obsevanosti pri mamografiji uporabljamo modelsko količino povprečne žlezne doze. Modelska jo imenujemo, ker temelji na modelih dojk različnih velikosti in z različno vsebnostjo žleznega tkiva. Iz povprečne žlezne doze ocenjena učinkovita doza pri mamografskem slikanju v Sloveniji znaša nekaj manj kot 0,4 mSv.

Tabela 1: Značilne učinkovite doze prejete pri nekaterih rentgenskih slikanjih



3.3. Računalniška tomografija

Računalniška tomografija (CT – Computed Tomography) se je v radiologiji začela uporabljati leta 1972. Takrat nova diagnostična metoda je zelo spremenila rentgensko diagnostiko, saj je omogočala prikaz prereзов človekovega telesa. Velika prednost računalniške tomografije je njena zelo visoka kontrastna ločljivost in s tem dobra preglednost tkiv, z majhnim lastnim kontrastom.

Hiter napredek računalniške tomografije od začetkov do danes je posledica hitrega tehnološkega razvoja na področju detektorjev in napredka pri zmogljivosti računalnikov. Zelo pomemben del CT naprave namreč predstavlja programska oprema, ki omogoča obdelavo in prikaz zajetih podatkov. Zato je računalniška tomografija nepogrešljiv del medicinske diagnostike in število CT posegov povsod po svetu strmo narašča. Pri tej pa ne gre pozabiti tudi na drugo plat medalje. Prejete doze pri računalniški tomografiji so, vsaj v primerjavi s konvencionalno projekcijsko radiologijo, tipično precej višje. Zato je optimizacija pri izvedbi posameznega CT posega zelo pomembna.

Računalniška tomografija prispeva znaten delež k skupni dozi zaradi diagnostične radiologije (7, 8), po zadnji oceni za Slovenijo računalniška tomografija prispeva kar okrog dve tretjini k skupni dozi ⁽³⁾. Zato je računalniška tomografija dobila tudi posebno mesto v zakonodaji in jo obravnavamo kot diagnostiko s pričakovano višjo obsevanostjo pacientov. Je pa pri računalniški tomografiji v zadnjih letih opaziti trend padanja obsevanosti, ki je posledica tehnološkega napredka ⁽⁸⁾. Moderne CT naprave imajo namreč več sistemov in programske opreme, ki bolj natančno prilagaja ekspozicijske parametre pacientu in zahtevam po kakovosti slik, s čimer je mogoče obsevanost pacientov znatno znižati. Ocenjene učinkovite doze pri treh najpogostejših posegih z računalniško tomografijo so prikazane v tabeli 2 in so povzete po podatkih zbranih s pomočjo aplikacija ORQA, ki smo jo na ZVD razvili za sledenje dozam pacientov. Gre za podatke zbrane na vzorcu prek 52.000 posegov izvedenih v letu 2018.

Preiskava	E (mSv)
CT Glave	1,8
CT Prsnega koša s kontrastnim sredstvom	5,3
CT Trebuha s kontrastnim sredstvom	12,9

Tabela 2: Ocenjene učinkovite doze prejete pri treh najpogostejših posegih z računalniško tomografijo v Sloveniji (ocena je za leto 2018)

3.4. Intervencijska radiologija in kardiologija

Intervencijska radiologija oziroma kardiologija je veja radiologije, ki s pomočjo ionizirajočega sevanja omogoča uporabo majhnih inštrumentov, uvedenih v človekovo telo večinoma skozi žilne katetre. Danes se intervencijska radiologija razvija zelo hitro, k čemur je močno pripomogel hiter razvoj tehnologije – radiološke opreme na eni strani in različnih pripomočkov, ki jih je mogoče uporabiti transluminalno na drugi strani. Hkrati z naraščanjem števila indikacij za posege se tudi zmanjšuje število zapletov, zato ti posegi pogosto učinkovito nadomeščajo kirurško zdravljenje.

Vendar je zlasti pri bolj zapletenih posegih potrebna dolgotrajna uporaba rentgenskega , s pomočjo katerega se poseg spremlja in dokumentira. Posledica tega pa je lahko razmeroma visoka obsevanost pacienta. Pri intervencijskih posegih je poleg učinkovite doze pomembna tudi doza na koži pacienta, na mestu, kjer sevanje vstopa v telo. Če doza na koži oziroma delu kože preseže določen prag, se lahko pojavi sevalna poškodba. Glede na poročila o povzročenih poškodbah kože, ki jih je mogoče najti v literaturi ali na svetovnem spletu, so poškodbe pogostejše pri intervencijski kardiologiji, zlasti v primerih znotrajžilnega zdravljenja bolezni srca. Poleg teh so med bolj sevalno obremenjujočimi intervencijskimi posegi še znotrajžilna zdravljenja sprememb na aorti, krvavitev iz prebavil in zdravljenje znotraj lobanjskih anevrizem ter arteriovenskih anomalij.



Povprečno obsevanost pacientov je pri intervencijskih posegih še posebej 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 3 mSv in pri koronarni angioplastiki (ene koronarne žile) okrog 11 mSv.

4. ZAKLJUČEK

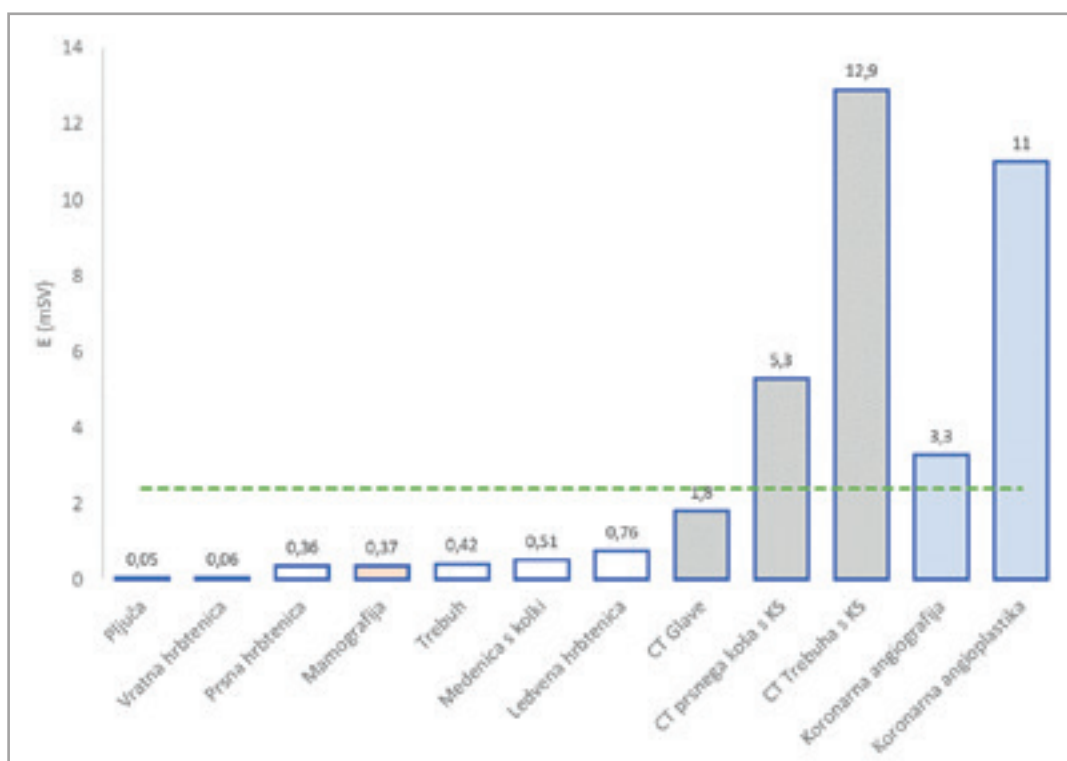
Ljudje smo vsakodnevno izpostavljeni naravnim in umetnim virom ionizirajočega sevanja. Med umetnimi viri je daleč največji delež k dozi posledica medicinske uporabe sevanja, predvsem gre za uporabo rentgenskih aparatov v diagnostični radiologiji. Prejete doze pacientov so zelo različne in so odvisne od vrste različnih dejavnikov. V prvi vrsti od opravljene preiskave, potem pa še od lastnosti pacienta (predvsem od posameznikovih antropomorfni značilnosti), od radiološke opreme (rentgenskega aparata in druge opreme) in načina njene uporabe. Čeprav se zdi nekoliko presenetljivo, pa so prejete doze tudi za enak poseg lahko na različnih ustanovah/oddelkih/aparatih zelo različne. Prav zaradi tega dejstva je zelo pomembno, da redno spremljamo doze prav na vsakem rentgenskem aparatu in jih, kadar je to mogoče brez škode za kakovost preiskave, poskušamo zniževati. Tipične efektivne doze za najpogostejše radiološke posege, ki smo jih obravnavali v prispevku, so povzete na grafu na sliki 1.

Kljub temu, da so prejete doze pacientov pri nekaterih posegih lahko razmeroma visoke, je potrebno poudariti, da je korist za pacienta, če je poseg upravičen in optimiziran,

veliko večja, kot je škoda, ki jo pacient utрпи zaradi prejete doze. Zato je varstvo pacientov pred sevanji predvsem izogibanje tistemu delu doze, ki se ji je mogoče izogniti, brez škode za pacienta. Najsi bodo to nepotrebne napotitve na posege ali pa neoptimalno 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. Žontar D., Zdešar U., Kuhelj D., Pekarovič D., Škrk D. Estimated collective effective dose to the population from radiological examinations in Slovenia. Radiol Oncol 2015; 49(1): 99–106.
4. National Council on Radiation Protection and Measurements. Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States. NCRP Report No. 160; Bethesda, 2009.
5. International Commission on Radiological Protection. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, 2007.
6. Letna poročila programa DORA, dostopna na: <https://dora.onko-i.si/dokumenti>.
7. 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.
8. Mettler FA, Mahesh M, Bhargavan-Chatfield M, et al. Patient exposure from radiologic and nuclear medicine procedures in the United States: procedure volume and effective dose for the period 2006–2016. Radiology 2020.



Slika 1. Tipične efektivne doze za nekaj najpogostejših radioloških posegov v diagnostični radiologiji. Zelena črta na grafu ponazarja povprečno naravno ozadje enega leta v Sloveniji (2,4 mSv).