

DOPUNSKA IZOBRAZBA I OBNOVA ZNANJA O PRIMJENI MJERA RADIOLOŠKE SIGURNOSTI

RENDGESKI UREĐAJ U DENTALNOJ MEDICINI

Zagreb, veljača 2019.

1. IONIZIRAJUĆE ZRAČENJE

UVOD

Ionizirajuće zračenje i radioaktivne tvari su prirodna i stalna pojava u okolišu te u brojnim djelatnostima ljudi. Štoviše, uporaba umjetnih izvora ionizirajućeg zračenja sve je raširenija. Izvori ionizirajućeg zračenja danas nemaju adekvatne alternative u medicini za dijagnostiku, terapiju te sterilizaciju medicinskog pribora i opreme. 17 % električne energije u svijetu proizvodi se u nuklearnim postrojenjima. Ionizirajuće zračenje se rabi za konzerviranje namirnica i hrane, uništavanje insekata i nametnika. Radiografski postupci u industriji već su rutinska tehnika u kontroli bez razaranja kojom se otkrivaju oštećenja i pukotine u brojnim cjevovodima, posudama, inženjerskim postrojenjima i građevinama. Primjena radioaktivnih tvari u gospodarstvu, poljodjelstvu, znanosti, istraživanjima i mnogim drugim ljudskim djelatnostima milijunima ljudi doprinosi ne samo poboljšanju kvalitete življenja, već osigurava i brojna radna mjesta u tim djelatnostima.

Kao i svaka djelatnost, uz korisnu stranu primjena ionizirajućeg zračenja donosi i opasnost po život i zdravlje ljudi te štetne posljedice po okoliš. Riziku ne podliježu samo oni koji rade s izvorima ionizirajućeg zračenja, već i svekoliko pučanstvo, tako da nedovoljno kontrolirana primjena tih izvora može dovesti do prave nacionalne nesreće, a mogu biti ugroženi i žitelji drugih država. Brojna iskustva iz prošlosti koja su rezultirala ozračenjem pojedinaca i potonje rizike po život i zdravlje ljudi te zagađenje okoliša ukazala su na potrebu sustavne i organizirane provedbe mjera zaštite od ionizirajućeg zračenja. Društveno prihvaćanje rizika u svezi s uporabom ionizirajućeg zračenja uvjetovano je efektivnom koristi koju takva uporaba donosi. Opasnost kojom je popraćeno izlaganje ionizirajućem zračenju ne može se ukloniti u potpunosti, ali ipak, rizik se mora ograničavati i smanjivati administrativnim, organizacijskim i tehnološkim mjerama. To je razlog koji nalaže svakoj državnoj zajednici obvezu izgradnje sustavnog, kvalitetnog i uređenog sustava zaštite od ionizirajućeg zračenja na svim razinama društvenog ustrojstva. Takva sustavna organizacija mjera zaštite obuhvaćena je jednim imenom: zaštita od ionizirajućeg zračenja.

Zaštita od ionizirajućeg zračenja odnosi se na sve ljude koji mogu biti izloženi ionizirajućem zračenju ili posljedicama izlaganja pa se tako vodi računa i o budućim naraštajima koji mogu trpjeti posljedice dosadašnjeg i današnjeg izlaganja ionizirajućem zračenju.

1.1. VRSTE I NASTANAK IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

GRAĐA ATOMA

Na planeti Zemlji nalazimo 90 prirodnih kemijskih elemenata. Ti elementi u smjesama, kemijskim spojevima ili u elementarnom stanju grade sve tvari, žive i nežive na Zemlji. Ti elementi različito su zastupljeni u toj građi, nekih je više neki su vrlo rijetki. Najsitniji dio nekog elementa koji još uvijek ima kemijska svojstva tog elementa nazivamo **atom**. Naziv dolazi od grčkog jezika: *atomos* = *nedjeljiv*; što ipak nije točno. I sam atom je sagrađen od sastavnih, još sitnijih čestica. To su: proton, neutron i elektron. Proton i neutron nalaze se u jezgri atoma (*nukleus*), a elektron se nalazi u omotaču koji obavlja jezgru.

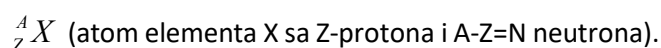
Proton ima pozitivni naboj, a elektron negativni naboj: istog iznosa, ali suprotnog predznaka, dok je neutron bez ikakvog naboja. Proton i neutron imaju gotovo jednaku masu, a elektron 1800 puta manju masu. U prirodi je atom kao cjelina električki neutralan, jer se naboji protona i elektrona međusobno kompenziraju. Dakle, u jednom atomu u normalnom stanju imamo uvijek jednak broj protona i elektrona. Taj broj označimo kao Z. Broj neutrona označimo kao N. Zbroj Z + N daje broj A koji nazivamo atomskim brojem mase; to je ukupni broj neutrona i protona u jezgri.

Različiti kemijski elementi imaju atome s različitim brojem protona (elektrona), tj. brojem Z. Dakle, broj protona određuje vrstu elementa: npr. je li to vodik ili kisik ili uran. Tako npr. vodik ima 1 proton, kisik ima 8 protona, a uran čak 92. Broj neutrona ne utječe na kemijsku vrstu elementa.

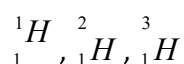
Uobičajeno je da se za pojedine elemente upotrebljavaju simboli. Npr.:



gdje pojedine brojke znače:



Atomi jedne te iste vrste kemijskog elementa mogu imati različiti broj neutrona, tada se zovu **izotopi**. Npr. vodik ima tri izotopa:



gdje su: obični vodik, teški vodik (deuterij) i radioaktivni vodik (tricij).

Kemijski se oni ne razlikuju jer imaju ista svojstva glede boje mirisa i okusa kao i afiniteta za izgradnju molekula s drugim elementima, ali se razlikuju po broju neutrona: prvi nema niti jedan, drugi ima jedan, a tricij ima čak dva. Tricij je nestabilan, tj. radioaktivan; nakon određenog vremena se raspada uz oslobađanje energije. Očito je prisutnost neutrona u jezgri tu jezgru destabilizirala. Slično je i za druge kemijske elemente od kojih mnogi imaju puno više izotopa.

Svi su elementi razvrstani u posebnu tablicu - periodički sustav, po kemijskim svojstvima. Elementi su razvrstani u osam karakterističnih skupina koje imaju slična kemijska svojstva. Elementi su poredani po rastućem broju protona/elektrona od Z=1 do Z=92 pa nadalje preko umjetno proizvedenih elemenata do Z=107.

Naziv izotop potječe od grčkog jezika *izotopos=na istom mjestu*, jer se ti atomi nalaze svi na istom mjestu u periodnom sustavu, predstavljaju istu vrstu elementa. Svi elementi iznad broja Z=82 (olovo) su radioaktivni. Što je radioaktivnost, otkrivena 1896. godine, saznat ćemo u sljedećem poglavlju.

RADIOAKTIVNOST

Radioaktivne tvari jesu tvari koje sadrže, osim ostalih, i atome s nestabilnim jezgrama koje svojim raspadom proizvode ionizirajuće zračenje. Atomi s nestabilnim jezgrama su atomi čija je jezgra (*nukleus*) nestabilna, tj. kad-tad u budućnosti ona će se spontano raspasti pri čemu će emitirati energiju - bilo u obliku fotona (elektromagnetskog zračenja) ili u obliku emisije čestica koje odnose i energiju.

Radioaktivnost je svojstvo nekih atoma da im se jezgre spontano mijenjaju i pri tome emitiraju elektromagnetsko zračenje ili čestice.

Spontano mijenjanje jezgre atoma pri čemu se emitira elektromagnetsko zračenje ili čestice naziva se **radioaktivni raspad**.

Za pojedinu jezgru se ne može reći kad će se raspasti, ali se može odrediti koliko će se jezgri raspasti nakon određenog vremena t koje protekne od trenutka kad počnemo mjeriti. Nikakvim fizikalnim ili kemijskim postupcima ne može se utjecati na taj spontani raspad radioaktivne jezgre.

Neka u trenutku t_0 , kad počnemo mjeriti, imamo N_0 jezgri koje su nestabilne. Nakon proteka vremena t , raspadne se N jezgri. Matematički je određeno da se raspad odvija po formuli:

$$N = N_0 e^{-\lambda \cdot t}$$

λ - konstanta raspada

e - broj, baza prirodnog logaritma ($\ln$)=2,32...

Preostalo je dakle $N_0 - N$ jezgri nakon vremena t . Nakon nekog vremena $t = T_{1/2}$, od početnog broja nestabilnih jezgri preostat će samo polovica, tj. $N = N_0 / 2$. Vrijeme $T_{1/2}$ zove se **vrijeme poluraspada**. Dakle, to je vrijeme za koje se polovica nestabilnih jezgri raspadne. To je karakteristika svakog radioaktivnog izotopa. Svaki izotop ima svoje karakteristično vrijeme poluraspada. Npr. za tricij je to 12 godina, za ^{137}Cs vrijeme poluraspada je 30 godina, za ^{192}Ir je 74 dana, itd.

Veza između konstante raspada λ i vremena poluraspada $T_{1/2}$ dana je izrazom:

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}}.$$

Za potrebe zaštite od ionizirajućeg zračenja potrebno je odrediti broj raspada u jedinici vremena i to izražavati kao fizikalnu veličinu. Broj raspada u jedinici vremena neke vrste jezgre naziva se **aktivnost**. Aktivnost izvora ionizirajućeg zračenja, dakle je broj raspada u jedinici vremena koji se događa u masi tog uzorka. Jedinica kojom se izražava aktivnost je **1 becquerel** (čitaj: bekerel), oznake **1Bq**.

$$1\text{Bq} = \frac{1\text{raspad}}{1\text{sekunda}}$$

To je malena jedinica pa se upotrebljavaju veće jedinice:

$$1\text{ kBq} = 1000\text{ Bq}$$

$$1\text{ MBq} = 1\,000\,000\text{ Bq}$$

$$1\text{ GBq} = 1\,000\,000\,000\text{ Bq} \dots$$

$$\text{Nekadašnja jedinica je } 1\text{ Ci} = 37\,000\,000\,000\text{ Bq} = 3,7 \times 10^{10}\text{ Bq}.$$

VRSTE RADIOAKTIVNOG RASPADA

Kako je ranije bilo rečeno, spontano mijenjanje jezgre atoma pri čemu se emitira elektromagnetsko zračenje ili čestice naziva se radioaktivni raspad. Čestice, koje imaju masu, a nastale na ovaj način nazivaju se **čestično zračenje**. Fotoni nemaju masu, već predstavljaju male pakete energije koje se u prostoru šire brzinom svjetlosti i imaju osobine elektromagnetskih valova: valnu duljinu ili frekvenciju. Energija koju sadrži jedan foton je:

$$E_{\text{foton}} = h \cdot f$$

gdje je h tzv. Planckova konstanta iz fizike, a f je frekvencija zračenja u hercima ($\text{Hz} = \text{s}^{-1}$). Frekvencija i valna duljina l , povezani su jednadžbom:

$$c = l \cdot f$$

gdje je $c = 300,000,000 \text{ m/s}$ ("brzina svjetlosti"), l je valna duljina zračenja u metrima, a f je frekvencija u Hz. Fotoni ili kvanti koji nastaju raspadom radioaktivne jezgre nazivaju se "gama" fotoni, a zračenje **gama zračenje**.

Fotoni koji nastaju u električnim uređajima, npr. rendgenskim uređajima, imaju iste osobine kao i gama fotoni, ali zbog podrijetla (tj., mjesta nastanka) nazivaju se **rendgenske zrake**.

Dakle, ukratko, raspadom radioaktivne jezgre (radionuklida) nastaje zračenje koje može biti čestično ili elektromagnetski val frekvencije f sastavljen od fotona.

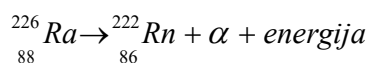
Čestice koje nastaju raspadom radionuklida imaju masu, a mogu biti "alfa" ili "beta" čestice, dakle imamo α -raspad i β -raspad.

Ako raspadom nastaju fotoni elektromagnetsko zračenje, tada se takav raspad naziva γ -raspadom.

U stvarnosti se često prilikom raspada istovremeno događa i emitiranje čestica i fotona, iako raspad može biti i samo jedne vrste, npr. u slučaju tricija događa se čisti β -raspad.

Što je alfa čestica?

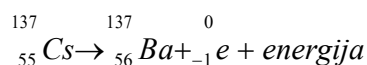
Neka imamo radioaktivnu jezgru radija-226, $^{226}_{88}\text{Ra}$. Radij se nalazi na 88. mjestu u periodnom sustavu. Prilikom raspada jezgre ^{226}Ra emitira se α -čestica i pri tom nastaje novi element, radon-222, $^{222}_{86}\text{Rn}$, koji se nalazi na 86. mjestu u periodnom sustavu ($Z=86$). Dakle:



Ako se usporedi stanje na početku i stanje poslije, vidi se da je atomski broj A radona manji za 4, a Z manji za 2. Dakle α -čestica ima $A=4$ i $Z=2$, a to je jezgra atoma helija, ^4He , bez elektronskog omotača. Ta jezgra odnosi višak energije u obliku kinetičke energije.

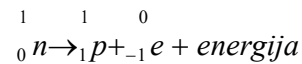
Što je beta čestica?

Neka imamo jezgru cezija-137, $^{137}_{55}\text{Cs}$, koji ima $Z=55$. Ona se raspada na slijedeći način:

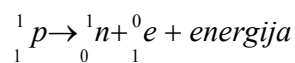


Ukratko, nastala je nova jezgra, novi element - barij, koji se nalazi na jednom mjestu više u periodnom sustavu $Z=56$ i emitirana je čestica koja ima negativni naboj i masu elektrona, koja u obliku kinetičke energije odnosi višak energije.

β -čestica nije ništa drugo nego elektron, e . Možemo zaključiti da nije došlo do promjene broja $A=Z+N$, ali se broj Z povećao za $+1$, a broj neutrona smanjio za -1 . Očito je da se ovim raspadom kojim dolazi do pojave beta čestice-elektrona jedan neutron raspao na proton+elektron i pri tom je emitirana energija :



Postoji proces kojim se i proton može raspasti na neutron+pozitron. Pozitron je tzv. antičestica, tj. čestica koja ima istu masu kao i elektron, ali istu količinu električkog naboja koji je pozitivan:



Na taj način Z se smanjio za -1 , a broj neutrona N se povećao za $+1$, opet je $A=Z+N$ ostao konstantan.

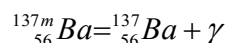
Kad se elektron i pozitron nađu zajedno, sudare se, njihove mase se poništavaju i pretvaraju u energiju po poznatoj formuli koju je dao Einstein:

$$E = m \cdot c^2 = 2m_e c^2$$

m_e - masa elektrona (pozitrona).

Karakteristika β -raspada je da je da se za jedan pomiče broj Z , gore ili dolje, a mijenja se i broj N dolje ili gore, ali A je nepromijenjen.

Obično nakon β -raspada novonastala jezgra ostaje s viškom energije koju odašilje u obliku γ -fotona. Npr. za barij-137 koji nastaje β -raspadom cezija-137.



gdje m uz broj $A = 137$ označava da je stanje jezgre nestabilno (metastabilno).

IONIZACIJA

U prirodi se atomi nalaze u neutralnom stanju, svaki atom treba imati jednak broj protona i jednak broj elektrona (Z). Dakle, njihovi naboji se međusobno poništavaju pa nemamo nikakav naboj atoma kao cjeline. Zbog djelovanja izvana, može se izbaciti elektron iz elektronskog omotača u atomu pri čemu jedan proton ostaje bez kompenzacije naboja u omotaču pa se ukupno atom pokazuje kao nabijen s pozitivnim nabojem $+1$. Takav atom, česticu, zovemo **ion**, a proces stvaranja nabijenih čestica iz neutralnih čestica **ionizacija**.

Zračenje koje može izazvati ionizaciju zovemo **ionizirajućim zračenjem**. Svako zračenje ne izaziva ionizaciju, npr. vidljiva svjetlost TV i radio valovi, mikrovalovi i sl. te se zovu **neionizirajuće zračenje**. X-zrake, rendgenske zrake, gama zrake, alfa i beta čestice, protoni te neizravno i neutroni mogu izazvati ionizaciju pa ih se ubraja u ionizirajuće zračenje. Ionizacija u materiji ne znači nužno i štetu za materiju, ali kod živih organizama, ionizacija može značiti i kemijske promjene u spojevima koji čine

stanice i tkiva. Te kemijske promjene mogu izazvati biološke promjene u tkivima, a te promjene mogu izazvati promjene u funkciji tkiva što to znači da je nastupila bolest organa ili organizma, npr. tumor. Ako dođe u stanicama do promjene gena (DNK u kromosomima) mogu se ako se radi o spolnim stanicama prenijeti promjene na potomke, pa imamo genetske posljedice. To su najveće opasnosti koje predstavlja ionizirajuće zračenje za živi organizam te je potrebno provoditi zaštitu da se takve posljedice ne dogode. Više o radiobiološkim učincima ionizirajućeg zračenja dano je u poglavlju Radiobiologija.

1.2. MEĐUDJELOVANJE IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA S MATERIJOM

Osnovno je polazište iskustvena činjenica da ionizirajuće zračenje djeluje na materiju. Prolazom ionizirajućeg zračenja kroz materiju dolazi do ionizacije pri čemu se energija ionizirajućeg zračenja prenosi na elektrone u atomima materije čime se zračenje guši, ono slabi, dok ne nestane ili mu prodorna moć potpuno oslabi da više nije štetno. Pri tome, naravno, dolazi do ionizacije u materiji kojom ionizirajuće zračenje prolazi.

Ako imamo čestično zračenje: alfa i beta čestice, one imaju masu te se prolazom između atoma „sudaraju“ s njima i pri tim „sudarima“ elektronima predaju dio svoje kinetičke energije. Njihova energija se smanjuje, a broj ioniziranih atoma se povećava. Kad predaju svu svoju energiju, čestice se zaustave i utope u materiji. Što je veća čestica, veću energiju preda materiji i kraći je njen put. Tako već i list papira, koža ili sloj zraka zaustavi alfa česticu. Beta čestica-elektron ima manju masu te se rjeđe „sudari“ s elektronima atoma materije zbog čega joj treba dulji put da „sudarima“ preda svu svoju kinetičku energiju prije nego se zaustavi (nekoliko metara u zraku). Duljina puta do zaustavljanja u materiji ovisi o početnoj energiji čestice.

Kad se govori o ionizirajućem zračenju koje je sastavljeno od fotona, elektromagnetski val frekvencije f , nema čestica koje imaju masu već pakete energije. Fotoni s materijom ne međudjeluju „sudarima“ kao što to rade čestice. U slučaju fotona, radi se o tri važna, iako ne jedina, mehanizma interakcije s materijom:

1. Fotoelektrični efekt,
2. Comptonov (čitaj: Komptonov) efekt
3. Tvorba para elektron-pozitron.

Kod fotoelektričnog efekta, foton se sudara s elektronom u omotaču, predaje mu svu svoju energiju, koja ako je veća od energije vezanja elektrona za atom, taj elektron oslobađa iz atoma i on ode, ostavljajući atom s jednim +1 nabojem. Dakle, imamo ionizaciju, a foton je nestao. To se događa samo ako je energija fotona ispod određene granice. Ako je energija veća, događa se drugi proces, tzv. Comptonov efekt.

Kod Comptonovog efekta, foton se sudara s elektronom u omotaču, predaje mu dio svoje energije, izbacuje ga iz omotača i tako ionizira atom, ali odlazi raspršivši se pod nekim kutom dalje s umanjenom energijom. Time je energija fotona samo smanjena, ali foton nije nestao. Tako se dobijemo raspršeno zračenje koje je veliki problem u zaštiti od ionizirajućeg zračenja.

Treći efekt, tvorba para elektron-pozitron, događa se kad je energija fotona veća od određenog praga određenog Einsteinovom formulom. Prolazom takvog fotona visoke energije u blizini jezgre foton

jednostavno nestane, a pojavi se par elektron-pozitron koji putuju u suprotnom smjeru odnoseći preostalu energiju u obliku kinetičke energije koju „sudarima“ prenose na druge elektrone.

Svim ovim procesima se energija upadnog ionizirajućeg zračenja smanjuje jer se prenosi na materiju, pri čemu dolazi do ionizacije i ostalih posljedica koje ta ionizacija izaziva.

1.3. VRSTE IZVORA IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

Izvor ionizirajućeg zračenja jest svaki uređaj, postrojenje ili tvar koja proizvodi ili odašilje ionizirajuće zračenje, a koji nisu isključeni od primjene zakona kojim je regulirana zaštita od ionizirajućeg zračenja, uključivo i nuklearni materijal.

PODJELA IZVORA IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

Prema načinu nastanka, izvori ionizirajućeg zračenja dijele se na prirodne i umjetno stvorene.

Prirodnim izvorima ionizirajućeg zračenja pripadaju svemirska zračenja i prirodna zračenja radioaktivnih tvari. Svemirska zračenja čine oko 13% ukupnog prirodnog zračenja, a dijeli se na primarno svemirsko zračenje (dolazi sa Sunca i izvan Sunčevog sustava, čine ga čestice vrlo velikih energija) i sekundarno svemirsko zračenje (produkti reakcije atmosfere s primarnim svemirskim zračenjem). Pod prirodnim zračenjima radioaktivnih tvari smatraju se sve one radioaktivne tvari koje su prisutne svuda u prirodi, u tlu, stijenama, vodi, zraku i vegetaciji.

Umjetni izvori ionizirajućeg zračenja su oni izvori ionizirajućeg zračenja koje je stvorio čovjek.

Obzirom na način nastanka ionizirajućeg zračenja u njima, izvori ionizirajućeg zračenja dijele se na radioaktivne izvore i električne uređaje koji proizvode ionizirajuće zračenje (npr. rendgenski uređaj i akcelerator).

Radioaktivni izvor jest radioaktivna tvar u kojoj aktivnost i/ili koncentracija aktivnosti radionuklida prelazi propisane granične vrijednosti za izuzimanje iz nadzora.

Prema izvedbi, radioaktivni izvor može biti zatvoreni radioaktivni izvor i otvoreni radioaktivni izvor. *Zatvoreni radioaktivni izvor* jest radioaktivni izvor zatvoren u nepropusnoj ovojnici od neradioaktivne tvari tako da radioaktivna tvar ne može doći u dodir s okolišem. *Otvoreni radioaktivni izvor* jest radioaktivni izvor koji nije zatvoreni radioaktivni izvor, a može biti u krutom, tekućem ili plinovitom stanju.

IZUZEĆE

Radioaktivnim izvorom ne smatra se ona radioaktivna tvar koja sadrži radionuklide aktivnosti ili koncentracije aktivnosti manje od graničnih vrijednosti utvrđenih Pravilnikom o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja (NN 53/18).

ISKLUČENJE OD PRIMJENE ZAKONA

Zakon kojim je regulirana zaštita od ionizirajućeg zračenja ne odnosi se na prirodnu razinu ionizirajućeg zračenja podrijetlom iz svemira, Zemljine kore ili ljudi ako nije promijenjena ljudskom djelatnošću, osim u slučaju radnih aktivnosti. Radne aktivnosti su ljudske aktivnosti koje se ne ubrajaju u djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja, a pri kojima može doći do povećanja ozračenja radnika i stanovnika od prirodnih izvora ionizirajućeg zračenja.

1.4. NAČINI ZAŠTITE OD IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA: UDALJENOST, VRIJEME I ŠTIT

Osobina ionizirajućeg zračenja važna za zaštitu od ionizirajućeg zračenja jest ta da intenzitet ionizirajućeg zračenja opada s kvadratom udaljenosti, a kako je to zorno prikazano u tablici 3.

udaljenost	intenzitet
d	I
2d	$I = \frac{I}{2^2} = \frac{I}{4}$
3d	$I = \frac{I}{3^2} = \frac{I}{9}$

Tablica 3. Intenzitet ionizirajućeg zračenja opada s kvadratom udaljenosti

Poveća li se udaljenost od izvora ionizirajućeg zračenja dva puta, intenzitet, a posljedično tome i ozračenje pojedinca, smanjit će se četiri puta.

Ozračenje pojedinca ovisi i o vremenu izlaganja ionizirajućem zračenju. Ozračenje je proporcionalno vremenu izlaganja – koliko puta duže je netko izložen ionizirajućem zračenju, toliko puta će veće biti i njegovo ozračenje, i obrnuto.

Kako je ranije bilo objašnjeno, prolazeći kroz materiju ionizirajuće zračenje slabi. Iz tog razloga umetanjem štita između izvora ionizirajućeg zračenja i osobe koja je izložena tom zračenju, može se bitno smanjiti doza te osobe. Vrsta materijala od kojeg je napravljen štit, kao i njegova debljina ovise ponajprije o vrsti ionizirajućeg zračenja, kao i o načinu korištenja štita – to može biti betonski zid, sloj olova, zaštitni paravani, zaštitne pregače, naočale,...

Drugim riječima, tru su osnovna načina kojima se od ionizirajućeg zračenja štiti:

- biti na dovoljnoj udaljenosti,
- što je moguće kraće biti izložen ionizirajućem zračenju,
- koristiti štit.

1.5. VRSTE OZRAČENJA: VANJSKO I UNUTARNJE

Ovisno o tome nalazi li se izvor ionizirajućeg zračenja izvan našeg tijela ili smo ga na neki način (udisanjem, gutanjem,...) unijeli u naše tijelo, ozračenje može biti vanjsko ili unutarnje. Primjer vanjskog ozračenja je ozračenje u slučaju rada rendgenske cijevi ili akceleratora, kao i slučaju teleterapije, odnosno industrijske radiografije.

Primjer unutarnjeg ozračenja je ozračenje u slučaju unošenja radioaktivnih tvari u organizam kao dio dijagnostičkih postupaka na odjelima nuklearne medicine. Bitno je naglasiti da osoba u čije tijelo je unesen radionuklid za svoju okolinu predstavlja vanjski izvor ionizirajućeg zračenja.

1.6. FIZIKALNE VELIČINE I MJERNE JEDINICE

Ono što je u zaštiti od ionizirajućeg zračenja važno jest kolika je energija koja se prolazom ionizirajućeg zračenja kroz materiju predaje toj materiji. Energija se u našem svijetu mjeri u Joule-ma (čita se *džulima*), oznaka J. To je preglomazna jedinica za potrebe u međuatomskom svijetu. Zato se koriste puno manje jedinice:

1 eV = 1 elektron volt, tj. energija koju dobije jedan elektron ubrzanjem u električnom polju kad pređe razliku napona od 1 volt.

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Izvedene jedinice su :

$$1 \text{ keV} = 1\,000 \text{ eV}$$

$$1 \text{ MeV} = 1\,000\,000 \text{ eV}$$

$$1 \text{ GeV} = 1\,000\,000\,000 \text{ eV}.$$

Pretpostavimo da imamo materiju mase m kroz koju prolazi ionizirajuće zračenje i pri prolazu po svakom kg mase preda energiju E_{predano} (joula). Omjer te energije i mase m naziva se **apsorbirana doza, D** . Dakle:

$$D = \frac{E_{\text{predano}}}{m}.$$

Jedinica za mjerenje apsorbirane doze je 1J po 1 kg, a naziva se **1 gray** (čitaj:grej), oznaka **1 Gy**:

$$1 \text{ Gy} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ kg}}.$$

U svrhu zaštite od ionizirajućeg zračenja koriste se izvedene jedinice:

$$1 \text{ miliGy} = 1 \text{ mGy} = 0,001 \text{ Gy}$$

$$1 \text{ mikroGy} = 0,001 \text{ } \mu\text{Gy} = 0,000001 \text{ Gy}.$$

Ako se apsorbirana doza podjeli s vremenom u kojem je primljena dobijemo veličinu koja se zove *brzina apsorbirane doze*, a mjeri se u Gy/sat ili mGy/sat ili slično.

Sva tkiva nisu jednako osjetljiva na zračenje, neka su više osjetljiva, a neka manje. Kod ocjene štetnosti određene vrste ionizirajućeg zračenja treba uzeti u obzir i tu osjetljivost. Naime, nije svejedno radi li se o alfa, beta ili gama zračenju. Iskustvo nam kaže da ako imamo recimo alfa izvor zračenja blizu, nećemo osjetiti nikakve posljedice, jer se ionizacija dogodila u zraku između izvora i naše kože te nema apsorpcije energije u tijelu, već izvan tijela. Ako imamo gama izvor blizu tijela, ionizirajućeg zračenje (fotoni) se slabo apsorbira u zraku koji ima manju gustoću od tkiva, već se uglavnom jednim od navedenih načina apsorbira u tkivu i organima. Ionizirajuće zračenje (fotoni) oslabljeno za apsorbiranu energiju (dozu) izlazi čak iz tijela i odlazi dalje.

Vrsta i energije zračenja	Težinski koeficijenti zračenja w_R
Fotoni, svih energija	1
Elektroni i muoni, svih energija	1
Neutroni, energije < 10 keV	5
10 keV do 100 keV	10
> 100 keV do 2 MeV	20
> 2 MeV do 20 MeV	10

> 20 MeV	5
Protoni, osim raspršenih, energije >2 MeV	5
Alfa čestice, fisijski fragmenti, teške jezgre	20

Tablica 1. Težinski koeficijenti zračenja

Napominjemo da je sasvim druga situacija ako progutamo ili udahnemo alfa ili beta, dakle čestični izvor, u odnosu ako progutamo ili udahnemo čisti gama izvor. Tad imamo **unutarnje ozračenje**. Energija koju odašilje alfa izvor u potpunosti se apsorbira u blizini samog izvora, imamo intenzivnu ionizaciju na malom volumenu i na tom istom volumenu oslobođenu svu energiju ionizirajućeg zračenja. Velika energija, mali volumen, mala masa i imamo veliku apsorbiranu dozu. Dakle, i štetnost takvog ionizirajućeg zračenja je velika. Ako smo progutali gama izvor, on emitira fotone koji izlaze iz tijela te se samo mali dio energije zadrži u tijelu (ozrači ga) pa je i doza manja: manje energije na veću masu, omjer je manji.

To je razlog zašto se uvode kod vanjskog ozračenja koeficijenti modifikacije koji ovise o vrsti zračenja. Oni se nazivaju težinski koeficijenti zračenja i označavaju se s W_R i dani su u tablici 1.

Apsorbirana doza D , pomnožena s koeficijentom za pojedinu vrstu tkiva T daje **ekvivalentnu dozu, H** , tj.:

$$H_T = W_R \cdot D_T$$

R - zračenje vrste R ,

T - tkivo vrste T .

Jedinica je i dalje 1 J po 1 kg, ali sad se zbog koeficijenta numerički razlikuje od 1 Gy i ima novi naziv: **1 sievert** (čitaj: sivert), oznake **1 Sv**.

Izvedene manje jedinice koje se koriste su:

1 **miliSv** = 1 mSv = 0,001 Sv

1 **mikroSv** = 0,001 μ Sv = 0,000001 Sv

Ekvivalentna doza odnosi se na pojedino tkivo ili organ.

Nadalje, nije svako tkivo jednako osjetljivo na ionizirajuće zračenje. Osjetljivost tkiva izražava se uvođenjem još jednog koeficijenta, W_T , težinski koeficijent tkiva T . Koeficijenti su dani u tablici 2 za određena tkiva.

Tkivo ili organ	Težinski koeficijenti tkiva w_T
Gonade	0,20
Koštana srž (crvena)	0,12
Debelo crijevo	0,12
Pluća	0,12
Želudac	0,12
Mjehur	0,05
Grudi	0,05

Jetra	0,05
Jednjak	0,05
Štitna žlijezda	0,05
Koža	0,01
Površina kosti	0,01
Ostatak ^{1,2}	0,05

Tablica 2. Težinski koeficijenti tkiva

Zbroj umnožaka težinskog tkiva i ekvivalentne doze tog tkiva naziva se efektivna doza i dana je formulom:

$$E_T = \sum_T H_T \cdot W_T = \sum_R \sum_T W_R \cdot W_T \cdot D_T$$

Jedinica za efektivnu dozu opet je 1 Sv.

Efektivna doza dana je za cijelo tijelo.

Efektivna i ekvivalentna doza se izračunavaju, a apsorbirana doza se mjeri.

1.7. UREĐAJI ZA DETEKCIJU IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA I DOZIMETRI

Geiger Mueller brojači

Ovi uređaji sastoje se u biti od komore ispunjene zrakom ili nekim plinom u kojoj je uspostavljeno električno polje. Ionizirajuće zračenje prolazom kroz komoru izaziva ionizaciju. Pozitivni ioni odlaze u električnom polju na - elektrodu (*katodu*), a negativni (elektroni) ioni odlaze na +elektrodu (*anodu*). Time u strujnom krugu nastaju el. impulsi koji označavaju da je došlo do prijma čestice koja je nastala raspadom. Ti impulsi se obrađuju u el. krugu uređaja i na brojčaniku se pokazuju određene vrijednosti: broj impulsa, broj impulsa po jedinici vremena i sl. GM cijevi (brojači) broje impulse , a ne dozu i zato služe za detekciju zračenja, a ne primarno za ocjenu same opasnosti zračenja. Za to služe ionizacijske komore.

Ionizacijske komore

Ionizacijske komore imaju sličnu građu kao i brojači, ali drugačije el. polje i drugačiji način baždarenja. One mjere apsorbiranu dozu u zraku. Ako znamo masu zraka u komori (odnosno njen volumen), zračenje prolazom kroz tu komoru predaje određenu količinu energije za ionizaciju tog zraka u komori te ako znamo tu energiju znamo i apsorbiranu dozu u zraku u točki na kojoj se nalazi komora. To je, podsjetimo se, omjer energije i mase zraka u komori. Nadalje, iz eksperimenta je poznato koliko energije je potrebno da u zraku nastane 1 par elektron-ion: 34 eV. Dovoljno je, dakle, mjeriti

¹ Ako tkivo koje je navedeno kao ostatak prima najveće ekvivalentne doze, koristi se težinski koeficijent tkiva od 0,025 za to tkivo ili organ, a 0,025 za ostali dio ostalih tkiva.

² Ostatak čine sljedeća tkiva: mišići, maternica, nadbubrežne žlijezde, slezena, mozak, gušterača, bubrezi, tanko crijevo, timus.

broj impulsa u komori i svaki impuls pomnožiti s 34 eV te dobijemo ukupnu energiju predanu od zračenja komori. Ta energija podijeljena s masom zraka u komori daje apsorbiranu dozu. Baždarenjem se to može postići tako da je elektronika podešena na način da izravno možemo očitati dozu na skali uređaja.

Osobni dozimetri

Osobni dozimetri služe za mjerenje osobnih doza ljudi koji ih nose na odgovarajućem reprezentativnom mjestu na svom tijelu tijekom rada s izvorima ionizirajućeg zračenja (***na lijevoj strani prsiju, a ispod olovne zaštitne pregače, ako se pregača nosi***). Dvije su najraširenije (zakonski priznate) metode mjerenja: filmdozimetar i termoluminiscentni dozimetar (TLD). Kod oba dozimetra prolazom ionizirajućeg zračenja dolazi do određenih procesa koje ionizirajuće zračenje izazva predajom energije: zacrtnjenje filma ili podizanje elektrona na više energijsko stanje. Prilikom očitavanja: razvijanje filma ili očitavanje u posebnom čitaču, vidi se učinak ionizirajućeg zračenja, zacrtnjenje ili određena krivulja kod TLD-a. Baždarenjem serije dozimetra poznatim dozama i uz baždarne krivulje mogu se odrediti te primljene doze. To je posebna tehnologija koja podrazumijeva posebne procese i određeno predznanje. Danas su podjednako raširene obje metode, svaka ima prednosti i mane. Uglavnom, TLD se koristi tamo gdje je zbog velikog broja korisnika potrebna i poželjna automatska obrada, a filmdozimetri su pogodniji jer ostaju u budućnosti kao trajni zapis, dokument o primljenoj dozi. Osjetljivost i jedne i druge vrsti dozimetara je gotovo podjednaka, a točnost ovisi o servisu, načinu baždarenja, energiji zračenja i drugim čimbenicima.

Osnovni nedostatak i jednog i drugog dozimetra je odgođeno dobivanje rezultata ozračenja, tek nakon razvijanja i očitavanja u čitaču nakon proteka vremena nošenja.

Zbog toga su danas popularne brojne verzije dozimetara s izravnim trenutnim očitanjem primljene doze: penkala dozimetar, elektronski dozimetar i sl. Koji se lokalno koriste kao dodatni dozimetar uz službenu dozimetriju koja se obvezno provodi filmdozimetrima ili TLD-ima.

2. RADIOBIOLOGIJA

UVOD

Radiobiologija (radijacijska biologija) je grana biofizike koja proučava djelovanje različitih vrsta zračenja na žive sustave, od stanične razine sve do cijelog organizma ili populacije. Dostignuća radiobiologije omogućila su organiziranje zaštite od zračenja i razvoj medicinske primjene zračenja (1).

Biološki nadzor (biomonitoring) važan je dio zdravstvenog nadzora osoba koje su profesionalno izložene različitim fizikalnim (zračenje) i kemijskim mutagenima ili kancerogenima. Zasniva se na mjerenju različitih bioloških pokazatelja koji upućuju na najranije, još popravljive biološke učinke, koji prethode pojavi zloćudnih i drugih bolesti. Primjenom biljega izloženosti, učinka i sklonosti na razini proučavanih populacija možemo utvrditi kakve su razine izloženosti štetnostima na radnim mjestima, je li izloženost rezultirala mjerljivim učinkom (oštećenjem molekule DNA) te otkriti ispitanike s većom osjetljivosti genoma koji su pod povećanim rizikom (2).

2.1. ČIMBENICI KOJI UTJEČU NA STUPANJ OŠTEĆENJA ORGANIZMA

Stupanj oštećenja organizma zbog izloženosti ionizirajućem zračenju ovisi o nekoliko čimbenika. Energija koja se prolazom zračenja kroz materiju predaje toj materiji jest 1 eV (elektron volt). Omjer te energije i mase nazivamo apsorbiranom dozom. Apsorbirana doza jest količina energije predana jediničnoj masi tvari tijekom prolaska zračenja kroz nju. Što je apsorbirana doza veća, to će biološki učinak biti veći. Fizikalna jedinica kojom se izražava apsorbirana doza jest grej (Gy). Efektivna doza jest proračunom modificirana apsorbirana doza kojom se izražava rizik izlaganja ionizirajućem zračenju uzimajući u obzir različitu biološku učinkovitost različitih vrsta ionizirajućeg zračenja i različitu osjetljivost tkiva i organa ljudskog tijela s obzirom na ionizirajuće zračenje. Fizikalna jedinica kojom se izražava efektivna doza jest jedan svert (Sv). U terminu efektivne doze dane su sve granice koje se propisuju u zaštiti od zračenja za cijelo tijelo. Efektivna doza za cijelo tijelo dobije se zbrajanjem efektivnih doza za sva tkiva. Efektivna doza se izračunava, a apsorbirana doza se mjeri dozimetrima. Jednaka apsorbirana doza različitih vrsta zračenja uzrokuje u istom tkivu različite učinke. Zbog toga, da bi dobili mjeru koja uvažava različiti učinak pojedinih vrsta zračenja, apsorbiranu dozu množimo faktorom karakterističnim za tu vrstu zračenja. Tako dobivenu veličinu zovemo ekvivalentna doza.

U biološkim sustavima zračenje ovisi o količini apsorbirane energije i o njenoj prostornoj raspodjeli. Osjetljivost pojedine vrste tkiva ovisi o diobi stanica u tom tkivu. Stanice koje grade mišićna, živčana i koštana tkiva vrlo se rijetko, gotovo nikad ne dijele, te su stoga slabo osjetljive na izloženost zračenju. Nasuprot njima, na ionizirajuće zračenje su puno osjetljivije nediferencirane stanice, odnosno matične stanice koje susrećemo u krvotvornom tkivu i spolnim žlijezdama, odnosno stanice kože i sluznica koje se neprekidno dijele. Zbog toga rizik od izloženosti zračenju za sve dijelove ljudskog tijela nije isti. On varira od organa do organa. To je izraženo kroz veličinu koju nazivamo težinski koeficijent za pojedino tkivo ili organ. Veličina koja uvažava sve navedene čimbenike naziva se efektivna doza. Izračunava se tako da se zbroje umnošci ekvivalentnih doza i težinskih koeficijenata za ozračena tkiva i organe.

Brzina primanja doze je također jedan od čimbenika koji utječu na stupanj oštećenja organizma. Ako je brzina doze dovoljno mala ili je primljena u dijelovima između kojih su razmaci dovoljno dugi, tkivo će biti u mogućnosti normalnom mitozom nadomjestiti izgubljene stanice. Zbog toga, doza koja bi primljena odjednom imala letalni učinak, primljena kroz duže vremensko razdoblje neće nužno imati za posljedicu smrt. Relativno velike doze primljene kroz duže vremensko razdoblje mogu ostaviti male ili nikakve vidljive posljedice.

Oštećenja u znatnoj mjeri ovise o veličini dijela tijela koje je ozračeno (raspodjela doze). Učinak zračenja na tijelo će biti to manji što je ozračeni dio manji.

Na stupanj oštećenja tijela utječe i Linearni prijenos energije (LET). Visoko LET zračenje za istu ukupnu dozu je letalnije od niskog LET zračenja. Jako LET zračenje deponira veće količine energije po jedinici tvari kroz koju prođe te je mogućnost višestrukih lezija u blizini u kratkom vremenu vrlo visoka.

Stupanj oštećenja organizma ovisi i o životnoj dobi i spolu osobe: mlađe osobe su u pravilu osjetljivije na zračenje od starijih (fetus je daleko najosjetljiviji), žene su nešto manje osjetljive na zračenje u odnosu na muškarce (3-7).

2.2. MEHANIZAM OŠTEĆENJA I POPRAVKA DNA MOLEKULE

U molekuli DNA događaju se različite kemijske promjene, bilo spontano bilo kao posljedica izloženosti kemikalijama ili zračenju. Budući da DNA služi kao jedinstvena, trajna kopija staničnoga genoma, promjene njezine strukture imaju znatno veće posljedice nego promjene drugih staničnih komponenti, poput RNA ili proteina. Precizna replikacija DNA i popravak oštećenja DNA nužni su za održanje genetičke informacije i osiguranje njezina točnog prijenosa s roditelja na potomstvo.

Ionizirajuće zračenje može DNA molekulu oštetiti na dva načina: izravnom interakcijom ili neizravno, putem slobodnih radikala. Izlaganje stanica zračenju dovodi do unosa energije u stanice, što uzrokuje niz različitih promjena kemijskih i bioloških strukturnih elemenata ovisno o količini i vrsti energije zračenja. Učinci djelovanja zračenja su posljedica ionizacije u procesu interakcije zračenja i atoma/molekula koji su strukturni dijelovi stanica. Sve promjene na živim stanicama koje nastaju djelovanjem zračenja nazivaju se skupnim imenom biološko djelovanje ionizirajućeg zračenja.

Postoje dvije mogućnosti oštećenja: a) pogodak vitalnih struktura (karioreksa, karioliza, stvaranje vakuola u citoplazmi, pucanje stanične membrane itd.) - izravno djelovanje zračenja (teorija izravnih pogodaka) i b) neizravna oštećenja: nastaju u srazu zračenja s molekulama vode (koje čine 70-80% tjelesne mase). Najveći broj oštećenja događa se posljednjim mehanizmom, a samo oko 5% izravnim djelovanjem zračenja.

Stanične membrane su veoma važne za uredno funkcioniranje stanica i tkiva. Oštećenja zračenjem se ispoljavaju i pucanjem stanične membrane koja postaje abnormalno propusna.

Zračenje također usporava i inhibira diobu. Ako se stanice koje se dijele ozrače, ovisno o dozi zračenja, tipu stanica i stadiju ciklusa, može doći do: a) trenutne smrti (smrt za vrijeme ozračivanja), b) stanice umiru nakon nekog vremena nakon ozračivanja (interfazna smrt), c) stanica preživi, ali ima mutaciju.

Današnji živi organizmi rezultat su duge evolucije u svijetu u kojem smo stalno izloženi brojnim kemijskim i fizičkim čimbenicima, u koje ubrajamo i ionizirajuće zračenje. Ova izloženost uzrokuje

svakodnevna oštećenja stotina nukleotida sadržanih u stanicama. Takva oštećenja DNA mogu blokirati replikaciju ili transkripciju, a mogu i rezultirati visokom učestalošću mutacija čije su posljedice neprihvatljive s gledišta stanične reprodukcije.

Da bi održale integritet svojega genoma stanice su morale razviti mehanizme za popravak oštećene DNA. Mehanizmi popravka DNA mogu se podijeliti u dvije opće skupine: a) izravni obrat kemijske reakcije odgovorne za oštećenje DNA i b) uklanjanje oštećenih baza nakon čega slijedi njihova zamjena s novosintetiziranom DNA. U slučajevima kad zataje oba mehanizma popravka DNA, evolucija je razvila dodatne mehanizme koji stanici pomažu da se nosi s oštećenjima.

Većina oštećenja DNA popravljaju se uklanjanjem oštećene baze nakon čega slijedi ponovna sinteza uklonjenog područja (izravni obrat oštećenja DNA). Premda je izravni popravak učinkovit za određeni tip oštećenja DNA, popravak izrezivanjem je općenitiji način popravka široke skupine kemijskih promjena molekule DNA. Prema tome, različiti tipovi popravka izrezivanjem predstavljaju najvažnije mehanizme popravka DNA. U popravku izrezivanjem, oštećena DNA biva prepoznata i uklonjena bilo u obliku slobodnih baza ili nukleotida. Nastala pukotina se zatim popunjava sintezom novog lanca DNA korištenjem neoštećenoga komplementarnog lanca kao kalupa. Tri tipa popravka izrezivanjem – izrezivanje baza, izrezivanje nukleotida i popravak pogrešno sparenih baza (engl. *mismatch repair*) – omogućuju stanicama da se bore sa širokim spektrom različitih oštećenja DNA.

Većina mehanizama popravka DNA molekule sastoji se od slijedeća tri koraka: a) izrezivanje (oštećeni dio biva prepoznat i uklonjen uz pomoć specijaliziranog enzima nukleaze, ostavljajući pukotinu od 3 do 4 nukleotida), b) sinteza (polimeraza tijekom druge faze nadomješta izrezani dio s novim dijelom načinjenim na osnovu informacije uzete s neoštećenog lanca DNA), c) spajanje (novo sintetizirani lanac se spaja s neoštećenim dijelom djelovanjem enzima ligaze).

Sadržaj stanice možemo smatrati vodenom otopinom jer ga čini preko 80% vode u slobodnoj formi ili u spoju s drugim molekulama. Tijekom izlaganja stanice zračenju, radiolizom vode nastaju ioni i slobodni radikali. Ukoliko difuzijom dospiju do DNA molekule najčešće reagiraju s njom što uzrokuje promjene. Tijekom difuzije radikali reagiraju i s drugim molekulama, a i međusobno, zbog čega se znatno smanjuje mogućnost njihove reakcije s DNA molekulom.

Prolaskom kroz materiju, zračenje gubi energiju. Gubitak energije u blizini dvostruke DNA uzvojnice najčešće uzrokuje oštećenje samo jednog od lanaca. Takvo oštećenje nazivamo jednolančani lom. Postoji vjerojatnost da takav događaj ili više istodobnih događaja u blizini DNA molekule uzrokuje podudarna oštećenja na oba lanca. Takvo oštećenje nazivamo dvolančani lom.

Ako je oštećenje ograničeno samo na jedan lanac, takav jednolančani prekid može biti popravljen brzo i efikasno bez grešaka. Ovo je moguće jer uključeni enzimatski sistemi, tijekom procesa staničnog popravka, koriste dijelove na neoštećenom lancu kao kalup za izradu novog dijela kojim će se zamijeniti oštećeni. Ako su prekinuta oba lanca DNA molekule unutar vremena koje je potrebno stanici da popravi jednolančani lom, a lomovi su nastali na udaljenosti manjoj od tri para baza, nastaju dvolančani lomovi. Dio tih lomova će se popraviti, ali popravci neće biti bez greške. Prekidi lanaca DNA se događaju na spojevima šećera i fosfornih veza ili između šećera i purinskih ili pirimidinskih baza, a posljedica su oštećenja enzima koji kontroliraju procese sinteze i reduplikacije. Pogreška u popravku dvolančanog loma dovodi do nastanka različitih tipova kromosomskih aberacija poput terminalnih delecija, translokacija, prstenastih kromosoma te acentričnih i dicentričnih kromosoma. Ovi posljednji su ujedno i najspecifičnije vrste kromosomskih aberacija uzrokovanih zračenjem (7-9).

2.3. KARCINOGENEZA

Djelovanja vanjskih faktora koja uzrokuju promjenu u genomu nazivaju se mutagenost i genotoksičnost. Mutagenost je sposobnost neke tvari da u stanicama živog organizma izazove stalne promjene strukture genetičkog materijala (mutaciju), dok je genotoksičnost općenitiji pojam koji se odnosi na sve promjene genoma *in vitro* uzrokovane vanjskim faktorima. Mutagen je tvar koja može uzrokovati promjenu u genetičkom materijalu stanice (mutaciju). Mutageneza je proces nastajanja mutacije djelovanjem mutagene tvari. Mutacije su promjene u molekuli DNA koje nastaju unutar same stanice djelovanjem određenih kemijskih, fizikalnih i bioloških čimbenika. Nastale genetičke promjene su trajne (ireverzibilne).

Nastanak tumora je proces koji se sastoji od više koraka tijekom kojih stanice zbog niza progresivnih promjena postupno postaju zloćudne:

1. Inicijacija tumora je prvi korak. Genetičke promjene u stanici vode k njenoj abnormalnoj proliferaciji i nastanku početne monoklonalne populacije tumorskih stanica.
2. Drugi korak je progresija tumora tijekom kojeg se nakupljaju dodatne mutacije u tumorskim stanicama što dovodi do selekcije onih stanica koje sve brže rastu. Time tumorske stanice postaju sve zloćudnije.
3. Zadnji korak u procesu nastanka tumora je metastaziranje. Dolazi do širenja tumorskih stanica s mjesta nastanka u susjedna normalna tkiva, te putem krvi i limfe po cijelom organizmu.

Karcinogen je tvar koja uzrokuje ili se smatra da uzrokuje rak kod čovjeka ili životinja, a karcinogeneza je proces u kojem dolazi do nastanka raka. Karcinogenost je svojstvo neke tvari da izazove nekontroliranu proliferaciju i metastaziranje.

S obzirom na njihovu ulogu u karcinogenezi, karcinogene tvari možemo podijeliti na:

1. Genotoksične karcinogene – tvari koje uzrokuju oštećenja DNA na razini gena (mutacije gena) ili kromosoma (aneuploidija, translokacija, inverzija, delecija) ili dovode do amplifikacije gena.
2. Negenotoksične karcinogene – tvari koje ne djeluju direktno na DNA, ali povećavaju mogućnost maligne transformacije kroz mnoge druge mehanizme djelovanja (uključujući proliferaciju stanica, hormonske poremećaje, supresiju imunološkog sustava, poremećaje DNA metilacije).
3. Kompletne karcinogene – tvari koje mogu izazvati sva tri stadija karcinogeneze (inicijacija, progresija i metastaziranje).

Izloženost karcinogenim i mutagenim tvarima može dovesti do oštećenja stanice i do procesa koji mogu rezultirati malignom transformacijom te potencijalno neoplastičnim rastom i razvojem raka. Mnogi fizički, kemijski i biološki čimbenici koji se nalaze u životnom i radnom okolišu imaju karcinogene i mutagene učinke, a genetska predispozicija, životne navike i prisutnost takvih tvari u radnom okolišu mogu uvelike pridonijeti pokretanju štetnih procesa u ljudskom tijelu koji dovode do nastanka neoplastičnih bolesti s ozbiljnim posljedicama na ljudsko zdravlje.

Zračenje i mnogo kemijskih karcinogena djeluje tako da oštećuju DNA i induciraju mutacije. Drugi karcinogeni ne uzrokuju mutacije, već pridonose nastanku raka stimulirajući proliferaciju stanica. Takve spojeve nazivamo promotorima tumora. Uzrokuju povećanje broja dioba stanica što omogućuje staničnoj populaciji koja proliferira da u ranim fazama razvoja tumora preraste ostale stanične klonove.

Kako bi spriječili štetne učinke karcinogenih i mutagenih tvari na ljudsko zdravlje, potrebno je utvrditi njihovu prisutnost na radnom mjestu i poduzeti odgovarajuće mjere zaštite. Prevencija i rano otkrivanje tih tvari najvažniji su faktori u smanjivanju učestalosti mutacija i posljedica njihovih učinaka.

Testovi za procjenu karcinogenog i mutagenog potencijala određene tvari temelje se na spoznajama da je DNA ciljna molekula za sve mutagene, a vjerojatno i većinu karcinogenih tvari. DNA je nasljedni materijal svih staničnih organizama te svaka tvar koja promijeni DNA bilo kojeg višestaničnog organizma predstavlja potencijalnu opasnost za čovjeka. Procjena karcinogenog i mutagenog potencijala određene tvari temelji se na četiri razine složenosti:

1. *In vitro* testovi mutagenosti i genotoksičnosti neophodni za procjenu mehanizma djelovanja tvari.
2. Duga istraživanja na životinjama nepohodna za procjenu potencijala povećavanja rizika od nastanka zloćudnog tumora kod netaknutih složenih organizama i procjene odnosa doza-odgovor.
3. Epidemiološke studije na ljudima za procjenu potencijala povećavanja rizika od nastanka zloćudnog tumora kod ljudi.
4. Analiza strukturalne sličnosti tvari s već poznatim karcinogenom. (4,7-11)

2.4. STOHAISTIČKI I DETERMINISTIČKI UČINCI IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

Biološke učinke zračenja možemo podijeliti u dvije grupe. Jedni su deterministički (nestohastički), a drugi su stohastički učinci. Deterministički su učinci posljedica gubitka velikog broja stanica, nastaju primjenom velikih doza zračenja (jačina im je ovisna o efektivnoj dozi) i vidljivi su brzo nakon ozračenja. Da bi učinak bio vidljiv potrebna je određena količina ("prag") zračenja.

Gubitak stanica ne predstavlja velik problem za čovječji organizam u kojem svakodnevno umire preko milijun stanica. Smrcu stanice onemogućuje se prijenos izmijenjene genetičke informacije na stanicu kćerku. Ukoliko je postotak uništenih stanica u nekom organu ili tkivu velik, tada funkcija organa ili tkiva može biti oslabljena, a u pojedinim slučajevima gubitak stanica dovest će i do smrti organizma.

Greške u popravku važnih DNA regija kod preživjelih stanica mogu rezultirati stabilnim genetskim promjenama. Stohastički učinci, kao što su mutacije, nasljedne promjene, te tumori vidljivi su tek nakon određenog vremena latencije, za njih nema praga, tj. može ih izazvati i veoma mala doza zračenja. Stoga ih se niti ne može predvidjeti, kao što se to može učiniti za točno određeni - determinirani učinak, nego ih se može samo statistički predvidjeti. Stohastički učinci mogu nastati u somatskim, ali i u spolnim stanicama, pa se promjene mogu prenijeti na potomstvo (nasljedne promjene, indukcija leukemija, mentalna retardacija, malformacije, smrt ploda). Ako se takove stanice nastave dijeliti, nastat će klonovi izmijenjenih stanica. Većina ovako izmijenjenih stanica ne napreduje do karcinoma jer gotovo ni jedna ne ostaje sposobna za život nakon nekoliko dijeljenja. One koje su sposobne za više dijeljenja često se diferenciraju u funkcionalne stanice koje se dalje ne dijele, može izostati slijed događaja iz okruženja stanice potreban za poticanje stanične diobe ili dolazi do programirane stanične smrti (apoptoza).

Zračenje može izazvati čitav spektar nasljednih promjena koje mogu biti veoma male, poput promjene u pojedinom genu, veće, poput onih nastalih lomovima kromosoma i spajanjem preostalih

dijelova, do veoma opsežnih kada se mijenja i broj kromosoma. Jasno je da će i biološke posljedice biti to teže što su promjene genoma opsežnije, a veoma velike promjene, uslijed odumiranja stanica, tkiva, te organa, nespojive su sa životom jedinke.

Mada vrlo djelotvorni, opisani mehanizmi ne mogu u svim slučajevima spriječiti daljnju diobu stanica čiji genetski zapis ne odgovara stanici od koje su nastale. Takve stanice može potaknuti na daljnju diobu i agens čiji je karcinogenetski potencijal vrlo nizak. Koncentracija agensa ili doza potrebna za poticaj diobe kod kronične izloženosti ne mora biti tako visoka kao za nastanak osnovne promjene.

Promjene u organizmu čiji nastanak povezujemo s promjenama u genetskom materijalu pojedinih stanica mogu se, ali i ne moraju dogoditi pa se može govoriti samo o vjerojatnosti njihova nastanka i zato ih nazivamo stohastičkim. Vjerojatnost nastanka tih promjena u organizmu ovisna je o efektivnoj dozi. Što je doza manja i vjerojatnost nastanka promjena je to manja, ali ne postoji tako mala doza za koju bi vjerojatnost nastanka promjena bila jednaka nuli.

Cilj zaštite od ionizirajućeg zračenja je spriječiti nastanak determinističkih učinaka koji su posljedica izlaganja zračenju i ograničiti pojavu stohastičkih učinaka na najmanju moguću mjeru te osigurati da pri obavljanju djelatnosti kod kojih dolazi do izlaganja ionizirajućem zračenju to izlaganje bude opravdano, odnosno da korist od tog izlaganja uvijek bude veća od štete (4,7,9).

Literatura:

1. Hrvatska enciklopedija (*on-line* izdanje), Leksikografski zavod Miroslav Krleža, <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=51477> (pristupljeno 30.08.2014.)
2. Kopjar N, Kašuba V, Milić M, et al. Normalne i granične vrijednosti mikronukleus-testa na limfocitima periferne krvi u ispitanika opće populacije republike hrvatske. Arh Hig Rada Toksikol 2010;61:219-234
3. Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti (NN 141/13, NN 39/15, NN 130/17, i NN 118/18)
4. Pravilnik o zdravstvenim uvjetima izloženih radnika i osoba koje se obučavaju za rad u području izloženosti (NN 66/18)
5. Pravilnik o granicama ozračenja, preporučenom doznom ograničenju i procjenjivanju osobnog ozračenja (NN 38/18)
6. Lomax ME, Folkes LK, O'Neill P. Biological Consequences of Radiation-induced DNA Damage: Relevance to Radiotherapy. Clin Oncol 2013;25:578-585
7. Cooper GM, Hausman RE. Stanica-molekularni pristup (V. izdanje), Medicinska naklada, Zagreb, 2010,
8. Manning G, Rothkamm K. Deoxyribonucleic acid damage-associated biomarkers of ionising radiation: current status and future relevance for radiology and radiotherapy. Br J Radiol 2013;86:20130173.
9. Garaj-Vrhovac V. Karcinogenost i mutageneza: analiza somatskih mutacija. Arh Hig Rada Toksikol 2000;51 Supp: 115–124

3. UČINCI IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA NA ČOVJEKA I ZDRAVSTVENI NADZOR IZLOŽENIH RADNIKA

3.1. POSLJEDICE IZLAGANJA IONIZIRAJUĆEM ZRAČENJU

Zbog odlaganja energije ionizirajuće zračenje u tkivu može uzrokovati oštećenje ili smrt stanica. Zračenje može direktno djelovati na ozračenu osobu i na potomke ozračene osobe, prijenosom genetskog materijala. Biološki učinci zračenja ovise o djelotvornosti pojedinih vrsta zračenja i osjetljivosti pojedinih tkiva na zračenje. Kad stanica apsorbira zračenje, moguća je nekoliko ishoda. Stanica može biti toliko oštećena da prestane normalno funkcionirati i odumre, može izgubiti sposobnost reprodukcije i dalje živjeti, genetski materijal unutar stanice (DNA) može biti oštećen tako da su buduće kopije stanice promijenjene. Ako je promijenjena stanica tkiva ili organa, daljnjim razmnožavanjem može takva stanica biti inicijator raka ako su ozračenjem izazvane mutacije DNK reproduktivnih stanica, mutacija se može, ali ne mora očitovati kao nasljedni učinak zračenja kod potomstva izložene osobe. Mutacije se obično ne vide u prvim potomcima, jer svaka osoba ima za isto svojstvo dva gena, svaki od jednog roditelja, a mutirani gen je u pravilu recesivan. Štetna posljedica mutacija nastaje ako se slučajno za isto svojstvo nađu oba gena mutirana. Većinu oštećenja stanice popravi zato što je sustav za sprječavanje promjena u genomu vrlo djelotvoran i u većini slučajeva stanica popravlja nastala oštećenja. Od 1000 oštećenja popravi se njih 999. Od 1000 oštećenih stanica, koje stanica nije uspjela popraviti, njih 999 umire, tako da u konačnici tek jedna od 100 000 oštećenih stanica s promijenjenim genetskim kodom preživi. Još nije posve razjašnjeno na koji se način mutirana stanica brani od daljnje tijekom prema razvoju karcinoma. Pretpostavlja se da je to uloga i imunološkog aparata, ali i neimunoloških mehanizama otklanjanjem preneoplastičnih stanica. Ostali mehanizmi koji štite organizam od početka i stvaranja tumora, uključuju popravak DNK, apoptozu (programiranu smrt stanice), terminalnu diferencijaciju i fenotipsku supresiju. Svi ti mehanizmi zajedno umanjuju vjerojatnost razvoja oštećene stanice u tumorsku, ali je vrlo teško procjenjivati kolika je točno uloga pojedinog od navedenih mehanizama.

Na kraju se može dogoditi da zračenje uopće nije uzrokovalo oštećenje stanice. Da li će stanica biti oštećena ili ne ovisi i o razini i o brzini zračenja. O dozi koja ne izazove više od jednog kritičnog oštećenja po stanici u vremenu u kojem su mehanizmi popravka stanice učinkoviti, govorimo kao o maloj dozi (procjenjuje se da je gornja granica male doze 200 mSv ukupnog ozračenja odnosno 0,1 mSv po minuti za brzinu doze). Po nekim autorima, osim negativnog učinka na stanice, ionizirajuće zračenje može imati i koristan učinak (hormeza). Neke studije pokazuju da niske doze zračenja na neki način mogu stabilizirati stanicu te postaje otpornija na zračenje. Taj je adaptivni mehanizam ograničenog trajanja i vjerojatno je posljedica stimuliranja staničnih mehanizama popravka kod opetovanih izlaganja.

Nisu sva tkiva jednako osjetljiva na zračenje te kod ocjene štetnosti određene vrste zračenja treba uzeti u obzir i tu osjetljivost. Osim toga bitan je i način ozračenja; bitno je da li se radi o ozračenju izvana ili o unutarnjem ozračenju, dakle onom koje nastaje kada je izvor zračenja progutan, udahnut ili je izvor zračenja implantiran u tijelo.

3.1.1. PATOGENEZA RADIJACIJSKIH OZLJEDA

Stupanj oštećenja ionizirajućim zračenjem ovisi o vrsti ionizirajućeg zračenja, brzini zračenja, apsorbiranoj dozi, dakle bitna je količina energije i vrijeme u kojem i kojom brzinom prima jedinična masa neke tvari energiju zračenja. Učinak zračenja na stanicu ovisi o vrsti i mjestu oštećenja, vrsti i funkciji ozračenih stanica i broju oštećenih stanica. Kada je brzina primanja doze mala ili je doza primana tako da su razmaci između primljenih pojedinačnih doza dovoljno dugi, tkivo normalnom mitozom nadomješta izgubljene stanice. Zbog toga, ista primljena doza kada se primi odjednom, može imati i letalni učinak, a doza primljena kroz duže vremensko razdoblje neće nužno za posljedicu imati smrt. Na ionizirajuće zračenje daleko su osjetljivije nediferencirane stanice, odnosno matične stanice krvotvornog tkiva i spolnih žlijezda, stanice kože i sluznica, a osobito crijevnih resica, dakle one stanice koje se neprekidno i brzo dijele. Mišićne stanice, živčanog sustava, koštanog i solidnih tkiva koja se rijetko, odnosno nikad ne dijele, slabo su osjetljiva na izloženost zračenju. Visoke lokalne doze zračenja mogu zbog strukturnog oštećenja stanične membrane ili citoplazme izazvati izravnu smrt stanice. Kada je genetski kod stanice oštećen, a stanica preživjela, budući potomci tj. "kopije stanice" su tako promijenjene da se to može očitovati neoplastičnim rastom, kromosomskim aberacijama, aktivacijom onkogenih (podloga za nastanak leukemije ili limfomi), ili gubitkom supresorskih gena što dovodi do pojave solidnih tumora. Na tim mjestima nastaje tkivna hipoplazija ili se stanice tkiva zamijene fibrozim odnosno manje vrijednim tkivom. Relativno velike doze primljene kroz duže vremensko razdoblje mogu ostaviti male ili nikakve vidljive posljedice. Učinak zračenja na tijelo će biti to manji što je ozračen dio tijela manji bez obzira na veličinu primljene doze.

Izloženost ionizirajućem zračenju može biti kronična i akutna. Kronična izloženost predstavlja kontinuiranu izloženost niskim dozama zračenja kroz dugi vremenski period, a učinci se mogu vidjeti nakon niza godina. Ti učinci uključuju genetske promjene, razvoj malignih i benignih tumora, razvoj katarakte i oštećenja kože.

3.1.2. AKUTNA RADIJACIJSKA BOLEST (radijacijska bolest, radijacijski sindrom, akutna bolest radijacije, akutni sindrom zračenja, trovanje zračenjem)

Akutna radijacijska bolest je oštećenje tkiva ili organa prekomjernom dozom ionizirajućeg zračenja u vrlo kratkom vremenskom periodu (sekunde ili minute). Ova bolest u početku liči prehladi i ima sva obilježja akutne febrilne bolesti. Uzrokovana je ozračenjem cijelog tijela (ili većeg dijela tijela) visokom dozom zračenja u vrlo kratkom vremenskom razdoblju tj. obično nekoliko minuta. Javlja se obično kod svih izloženih kada je akutna apsorbirana doza oko 1 Gy. Ovisno o razini ozračenja, tijek je predvidiv, a traje od nekoliko sati do nekoliko tjedana. Nema specifičnog liječenja, već se poduzimaju mjere za prevladavanje oštećenja pojedinih sustava, nadoknada tekućine i krvnih preparata, antibakterijske, gljivične i antivirusne zaštite od infekcije bakterijama, gljivama i virusima i potpore oporavka oštećenih organskih sustava. Ova bolest je u pravilu posljedica zračenja iz vanjskih izvora, a iznimno je posljedica ozračenja radionuklidima inkorporiranim u tijelu. Od apsorbirane doze ovisi i klinička slika bolesti. Akutna radijacijska bolest je vrlo rijetka bolest koja obično u profesionalnoj ekspoziciji nastaje nakon nuklearnih nesreća na radu. Poznati primjeri iz bliske prošlosti su onaj iz 1986. godine kada je požar oštetiо nuklearnu elektranu u Černobilu ili onaj iz 2011. godine kada je potres oštetiо nuklearnu elektranu Fukushima na istočnoj obali Japana. Klinička slika i simptomi radijacijske bolesti ovise o apsorbiranoj dozi i površini izlaganja, načinu kontaminacija (unutarnja ili vanjska) te osjetljivosti tkiva pogođenog zračenjem. Simptomi kod jednokratnih pojedinih efektivnih

doza/ozračenje cijelog tijela su različiti. Tako apsorbirana doza od 0,05 do 0,2 Gy ne izaziva nikakvih akutnih simptoma, a nakon četrdesetak dana pri ovim dozama može se javiti prolazna oligospermija i postoji mogućnost razvoja karcinoma godinama kasnije. Subkliničkim oblikom naziva se oštećenje pri apsorbiranoj dozi približno 0,4 Gy, a višoj od 0,2 Gy. U tom obliku nema uobičajenih znakova bolesti, tek su ponekad primijećene promjene na koži kao posljedica lokalne radijacijske ozljede. Kod ozračenja cijelog tijela dozom od 0,5 Gy javljaju se znaci oštećenja koštane srži, a to se očituje prolaznom limfopenijom. Pravi znakovi i simptomi radijacijske bolesti obično se pojavljuju kada cijelo tijelo apsorbira dozu od najmanje 1 Gy. Prema nekim autorima ozračenja cijelog tijela dozama višim od 6 Gy smatraju se smrtonosnim u roku od dva dana do dva tjedna. Kod ozračenja velikog dijela, ali ne i cijelog tijela, postoje podaci o preživljavanju i kod apsorbiranih doza višim od 8 Gy. Različita tkiva različito reagiraju na različite apsorbirane doze, te je klinička slika kod različitih akutno apsorbiranih doza različita, iako može sadržavati elemente oštećenja više organskih sustava. Ipak se u literaturi se klinička slika obično prema prevladavajućim simptomima dijeli u tri oblika/sindroma. Pri akutno apsorbiranoj dozi od 0,7 do 7,0 Gy dolazi prvenstveno do oštećenja hematopoetskog sustava. Javlja se tzv. hematopoetski sindrom u kojem prevladavaju simptomi vezani uz oštećenje krvnih stanica od kojih najveću radiosenzitivnost pokazuju limfociti, slijede eritroblasti pa onda mijeloblasti. Kako se eritrociti u cirkulaciji zadržavaju 120 dana oni se dugo nakon ozračenja nalaze u cirkulaciji i tek se kasnije vide posljedice ozračenja u vidu pada broja eritrocita, naravno ukoliko se eritrociti nisu gubili krvarenjima u ranijim stadijima bolesti. Ovaj sindrom karakteriziraju granulocitopenija, trombocitopenija i supresija imunskog sustava, a očituje se hemoragičnom diatezom, povišenim temperaturama, bakterijemijom, zimicom i tresavicom. Javlja se i pneumonije, upale različitih organa, gljivična oboljenja, te krvarenja u desni i sl. Uz to ozračeni se tuži na opću slabost. Kod ozračenja cijelog tijela dozama od približno 7 Gy uz sliku oštećenja hematopoetskog sustava javlja se i slika tzv. gastrointestinalnog sindroma. Naime, poslije stanica hematopoetskog sustava po visoku osjetljivost na zračenje pokazuju stanice sluznice tankog i debelog crijeva. Uzrok ovom sindromu je zaustavljanje mitoze nediferenciranih stanica sluznice tankog i debelog crijeva te posljedičnog gubitka tekućine i elektrolita. U normalnim se uvjetima epitel crijevnih resica zamijeni u tri do četiri dana, što se ne događa kod zračenjem oštećene sluznice. Povoljan učinak za preživljavanje nakon akutnog ozračenja kod navedenih razina ozračenja je djelomično ozračeno tijelo, mlađa dob, produljeno ozračenje i dostupnost pravodobnog liječenja, a nepovoljni su čimbenici velika brzina doze, pobol od kroničnih bolesti, velika ozračena površina i kronične infekcije. **CNS sindrom/ cirkulacijsko- neurovegetativni sindrom** javlja se pri ozračenju cijelog tijela dozama većim od 20 Gy ili dozama od 40 Gy u područje same glave. Svi navedeni sindromi imaju nekoliko stadija. Najprije se, neposredno po ozračenju javlja **prodromalna faza**. U njoj se javljaju simptomi i promjene unutar prvih nekoliko sati do dva tri dana, a zatim se simptomi povlače. Javljanje simptoma i promjena u laboratorijskim nalazima ovisi o apsorbiranoj dozi, ozračenoj površini te brzini doze. Nakon ove faze nastaje **latentna faza**. U njoj nema simptoma, ali se događaju promjene na hematopoetskom aparatu i na sluznici crijeva koje će se kasnije u **manifestnoj fazi** očitovati kliničkom slikom koja odgovara razini ozračenja. Ukoliko je ozračeni preživio ranije faze ulazi nakon manifestne faze u **kasnu fazu (faza oporavka i/ili smrti)**. U ovoj fazi se većina pacijenata ili oporave ili umire. Kod preživjelih proces oporavka traje od nekoliko tjedana do dvije godine, a prestanak simptoma je postepen. Na tablicama 1. do 5. prikazan je tijek akutne radijacijske bolesti kod različitih razina apsorbirane doze. Vidljivo je da može doći do preklapanja simptoma oštećenja više organskih sustava, što ovisi o brzini apsorpcije, ozračenoj površini, dobi i prisustvu ili odsustvu kroničnih bolesti. Liječenje akutne radijacijske bolesti ovisi o kliničkoj slici i tijeku bolesti. Nema specifičnog liječenja već su terapijske mjere usmjerene na

prevladavanje depresije koštane srži i oštećenja crijevnog epitela. Infekcije se sprječavaju izolacijom ozračenih, antibioticima, antivirusnim lijekovima, sprječavaju infekcije gljivicama, daje potporna terapija epitelu crijeva, vrši transplantacija koštane srži ako je indicirana. Daje se transfuzija trombocita kada im se broj smanji ispod $20000/\mu\text{L}$, a anemija se korigira koncentratom eritrocita. Ako se radi presađivanje koštane srži ono se radi isključivo u prvom tjednu nakon ozračenja. Ozračenima se uz to nadoknađuje tekućina, elektroliti, daje parenteralna prehrana. Liječenje CNS sindroma je isključivo simptomatsko.

Prodromalna faza	Latentni period	Manifestna bolest	Oporavak ili smrt
Oblik bolesti je blag. Mučnina; pojavljuju se 1 do 2 sata nakon izloženosti; povraćanje se po nekim autorima javlja s odgodom od 2 do 3 sata, a po nekima u periodu od 3 do 6 sati nakon ozračenja. Obično i mučnina i povraćanje prestaju nakon 24 sata. Leukocitoza u početku nastaje zbog ubrzanog otpuštanja leukocita iz koštane srži. CNS simptomi: blaga glavobolja s početkom 2 sata nakon izlaganja ili kasnije; javlja se u 10 do 50% ozračenih. Kod ove razine izloženosti nije potrebna hospitalizacija ranije zdravih osoba.	Od prestanka prodromalnog perioda najčešće od 10 do 14 dana od dana ozračenja, moguće od 21 do 35 dana nakon prodromalne faze. Vrijednosti limfocita 2. dan po ozračenju: > $1500/\mu\text{L}$; vrijednosti 6. dan: između 600 i $1500/\mu\text{L}$. Granulocitopenija nastaje kasnije kada se rezerve leukocita potroše obzirom da su matične stanice nesposobne za dalje razmnožavanje i samoobnavljanje. Imunološki sustav je oslabljen, s produženim oporavkom u kojem postoji povećani rizik od infekcije. Medicinsko praćenje: Kontrola leukocita; kromosomske aberacije.	Od 30 do 35 dana nakon prestanka povraćanja. Trajanje: ovisi o primljenoj dozi. Mogući znaci: opća slabost, umor. Letalitet: nije zabilježen a da mu je uzrok samo zračenje (kod ranije imunokompromitiranih moguća smrt). Anemija se javlja kasnije obzirom da eritrociti u perifernoj krvi žive oko 120 dana. Za depresiju eritrocitopoeze dovoljna je doza od 1 do 1,5 Gy. Uobičajen je privremeni sterilitet kod muškaraca.	Liječenje: simptomatsko; edukacija. U većini slučajeva počinje oporavak koštane srži. Za depresiju pluripotentne matične stanice potrebna je apsorbirana doza od svega 1 Gy. Potpuni oporavak nastupa kod većine ljudi u roku od nekoliko tjedana do dvije godine. Kod pojedinih ljudi smrt nastupa kod izloženosti od 1.2 Gy. 10% ozračenih umire nakon 30 dana (LD 10/30).

Tablica 1. Faze u razvoju bolesti kod akutnog ozračenja cijelog tijela dozom od 1 do 2 Gy

Prodromalni simptomi	Latentni period	Manifestna bolest	Oporavak ili smrt
Oblik bolesti po težini: srednje teška bolest. Povraćanje ovisno o dozama, povraćanje se javlja 1 do 2 sata nakon doze oko 4 Gy; 3 sata nakon doze od 2 Gy. Mučnina: simptomi se javljaju 1 do 6 sati nakon zračenja i traju 1 do 2 dana. CNS simptomi: blaga glavobolja. Početak: 2 sata nakon izlaganja ili kasnije; od 10 do 50% ozračenih. Nije potrebna hospitalizacija; samo kod imunokompromitiranih dovoljno ambulantno praćenje.	Počinje prestankom prodromalnog perioda i traje od 7 do 14 dana (po nekima i od 18 do 28 dana). Dolazi do masovnog gubitka leukocita, što znatno povećava rizik od infekcije. Matične stanice u koštanoj srži umiru, pacijent se to vrijeme može osjećati dobro. Traje od 1 tjedan do 6 tjedana. Medicinsko praćenje: Kontrola leukocita: vrijednost drugi dan obično između 1000 i 1500/μL; vrijednost šesti dan između 500 i 800/μL. kromosomske aberacije su uvijek prisutne.	30 do 35 dana nakon prestanka povraćanja. Trajanje: ovisi o primljenoj dozi. Mogući znaci: opća slabost, umor. Moguć je trajni sterilitet kod žena. Preživljavanje je moguće i bez liječenja.	Liječenje: hospitalizacija na hematološkom odjelu simptomatsko; edukacija. Oporavak traje od jednog do nekoliko mjeseci. Smrtnost 35% znači da 35% umire nakon 30 dana od dana ozračenja (LD_{35/30}). LD_{50/60} kod izloženosti od 2,5 do 5 Gy (LD 50/60 znači da 50% ozračene populacije umire u roku do 60 dana od ozračenja).

Tablica 2. Faze u razvoju bolesti kod akutnog ozračenja cijelog tijela dozom od 2 do 4 Gy

Prodromalni simptomi	Latentni period	Manifestna bolest	Oporavak ili smrt
Oblik bolesti: težak. Povraćanje: početak: <1 sat nakon izlaganja (100% ozračenih). Proljev: od blagog do izrazitog, ovisno o primljenoj dozi (početak: 3-8 sati nakon izlaganja; <10% kod 4 Gy, zatim se povećava do 60% na kraju raspona).	Trajanje: nakon prodromalne faze traje od 8 do 18 dana. Vrijednost limfocita: 2. dan: od 500 do 1000/μL; 6. dan: od 300 do 500/μL. Neutrofili 6. dan: od 1000 do 1500/μL.	Početak: nakon 18 od ozračenja. Trajanje: nekoliko tjedana do nekoliko mjeseci. Mučnina, povraćanje. Proljev: težak uz gubitak tekućine i elektrolita. Mogući klinički učinci:	Preživljavanje: samo uz liječenje. Oporavak zahtijeva agresivnu suportivnu skrb. Cjeloživotna kontrola. Vrijeme oporavka: mjeseci do godine. Primarni uzrok smrti

Glavobolja: umjerena (početak: od 4 do 24 sata nakon izlaganja; 50% ozračenih). Tjelesna temperatura: povišena; groznica; početak: od 1 do 2 sata nakon izlaganja; 80-100% izloženih. Medicinski odgovor: liječenje u specijaliziranim bolnicama zbog zakazivanja hematopoetskog i gastrointestinalnog sustava.	Depilacija: nastaje umjereni gubitak kose u tom periodu. Medicinski odgovor: hospitalizacija je nužna.	anoreksija, groznica, malaksalost, slabost, krvarenje, infekcije. Epilacija: potpuni gubitak kose u razdoblju od 11 do 21 dana. Medicinski odgovor: agresivna specifična (ovisno o simptomima) i suportivna skrb. Smrtnost: od 20 do 70%, s početkom u razdoblju od 4 do 8 tjedna.	je krvarenje. Što je veća doza, manja mogućnost preživljavanja. Najveći broj smrti dogodi se u roku od nekoliko tjedana. LD 50/60 i za zdrave kod ozračenosti iznad 4 i ispod 5 Gy.
--	--	--	---

Tablica 3. Faze u razvoju bolesti kod akutnog ozračenja cijelog tijela dozom od 4 do 6 Gy

Prodromalni simptomi	Latentni period	Manifestna bolest	Oporavak ili smrt
Oblik bolesti: osobito težak. Povraćanje: početak <30 minuta nakon izlaganja (100% ozračenih). Proljev: teški, početak: 1-3 sata nakon izlaganja praktički 100%. Glavobolja: jaka, početak: 3 do 4 sata nakon izlaganja (80% ozračenih). Razina svijesti: može biti smanjena. Tjelesna temperatura: visoka; početak: 1-2 sata nakon izlaganja	Trajanje: od kraja prodroma, može početi odmah, obično za približno tjedan dana. Depilacija: potpuni gubitak kose. Medicinski odgovor: hospitalizacija je nužna. Limfociti: 2. dan: 100 do 500/μL; 6. dan: 100 do 300/μL. Neutrofili 6. dan: oko 500/μL ili manje.	Početak: u roku manjem od 7 dana od ozračenja. Trajanje: mjesecima. Mogući klinički učinci: anoreksija, groznica, malaksalost, slabost, krvarenje, infekcije, hipovolemija, sepsa. Epilacija: potpuni gubitak kose u razdoblju od 11 dana. Mučnina, povraćanje. Proljev: težak uz gubitak tekućine i elektrolita od 6 do 9 dana. Medicinski odgovor:	Preživljavanje: malo vjerojatno i uz liječenje. Oporavak zahtijeva agresivnu suportivnu skrb. Razmatrati potrebu presađivanja koštane srži. Cjeloživotna kontrola. Vrijeme oporavka: može trajati i godinama 50% ozračenih umire u razdoblju od 1 do 2 tjedna od ozračenja.

(100% izloženih). Medicinski odgovor: urgentno liječenje u specijaliziranoj bolnici.		Agresivna specifična i suportivna skrb. Smrtnost: od 20 do 70%, s početkom u razdoblju od 4 do 8 tjedna.	
---	--	---	--

Tablica 4. Faze u razvoju bolesti kod akutnog ozračenja cijelog tijela dozom od 6 do 8 Gy

Prodromalni simptomi	Latentni period	Manifestna bolest	Oporavak ili smrt
Oblik bolesti: u pravilu letalni. Povraćanje: početak: <10 minuta nakon izlaganja (100% ozračenih). Proljev: teški, početak: u roku od nekoliko minuta do sat vremena nakon izlaganja (100% izloženih). Glavobolja: jaka do neizdrživa, početak: 1 do 2 sata nakon izlaganja (80% do 90% ozračenih). Razina svijesti: gubitak svijesti, može trajati nekoliko sekundi do nekoliko minuta, početak: nekoliko sekundi do nekoliko minuta nakon izlaganja; kod izlaganja 50 Gy: 100% ozračenih. Kod izlaganja cijelog tijela dozi od 40 Gy javljaju se grčevi, ataksije, drhtanja, letargija, izraziti nemir, konfuzija. Tjelesna temperatura: visoka; početak: u periodu kraćem od 1 sata nakon izlaganja	Trajanje: bez latencije, ponekad moguće tek nekoliko sati. Depilacija: potpuni gubitak kose. Medicinski odgovor: hospitalizacija je obvezna. Limfociti: 2. dan: < 100/μL; 6. dan: 0 do 50/μL Neutrofili 6 dan: oko 100/μL ili manje.	Početak: odmah. Trajanje: mjesecima do godinama ako se uspiju oporaviti. Mogući klinički učinci: mučnina, povraćanje, anoreksija, groznica, malaksalost, slabost, krvarenje, infekcije, krvavi proljevi uz gubitak tekućine i elektrolita ; u periodu od 4 do 5 dana javlja se hipotenzija. Epilacija: potpuni gubitak kose 10, dan. Rane na koži kod 15 Gy. Ulceracije na koži kod 20 Gy. Gangrena kod 30 i više Gy. Gubitak svijesti. Medicinski odgovor: agresivna i suportivna skrb. Smrtnost: velika bez agresivne terapije.	Preživljavanje izuzetno rijetko, smrt unutar nekoliko dana od početka izloženosti.

(100% izloženih). Medicinski odgovor : obvezno liječenje u specijaliziranim bolnicama, najčešće palijativno.			
---	--	--	--

Tablica 5. Faze u razvoju bolesti kod akutnog ozračenja cijelog tijela dozom višom od 8 Gy

Važno je napomenuti da osoba ozračena vanjskim izvorom zračenja ne predstavlja opasnost za bolničko osoblje koje ga liječi jer nije izvor zračenja. Kontaminirani se prihvaćaju u za to pripremljenim prostorima jer predstavljaju opasnost zbog širenja kontaminacije.

Dijagnoza radijacijske bolesti postavlja se na temelju:

1. **anamneze** – najvažniji podaci o načinu ozračivanja i podaci fizikalne dozimetrije, podaci o vremenu pojave prodromalnih simptoma, kretanje ozračenog, način ozračenja.
2. **kliničke slike**- prodromalni simptomi, razvoj kliničke slike. Klinička slika u prodromalnoj fazi od presudne je važnosti u ocjeni daljnjeg tijeka liječenja i samog ishoda liječenja. Pri pregledu osvrst na neurološki status, stanje svijesti, status kože (eritem), sluznica (konjuktivitis, krvarenja).
3. **laboratorijskih nalaza** – Potrebno je što ranije učiniti KKS, s osobitom pažnjom na apsolutni broj limfocita i učestalost kromosomskih aberacija. Odmah učiniti kaogulogram. Apsolutni broj limfocita je od velike dijagnostičke vrijednosti. Ako je broj limfocita / μL nakon 48 sati od ozračenja viši od 2000 to je normalan nalaz i ne očekuju se nikakve posljedice.

Ako je broj limfocita / μL nakon 48 sati od ozračenja vrijednosti od 1000 do 1500 μL apsorbirana doza je od 2 do 4 Gy; dobra je prognoza za preživljavanje.

Kod apsorbirane doze od 4 do 5 Gy značajan pad broja limfocita (od 500 do 1000/ μL). Dobra prognoza uz liječenje.

Kod apsorbirane doze iznad 5 Gy vrlo teško oštećenje koštane srži (broj limfocita od 100 do 500/ μL). Slaba prognoza i uz liječenje.

Ako je broj limfocita niži od 100 radi se o značajnom oštećenju i uz sve metode liječenja smrt je stopostotna.

Neutrofilija se javlja kroz nekoliko sati od ozračenja zbog otpuštanja zrelih neutrofila što je potaknuto ozračenjem. Osobito je značajan prolazni porast neutrofila između desetog i četrnaestog dana i to je dobar znak. Nakon toga slijedi neutropenija tijekom trećeg i četvrtog tjedna po ozračenju, te oporavak u petom i šestom tjednu. Leukopenija nakon drugog tjedna je loš prognostički znak.

Broj trombocita se smanjuje postepeno, najviše između desetog i tridesetog dana. Oporavak se očekuje u petom i šestom tjednu nakon ozračenja.

Anemija nastaje sporo zbog dugog vijeka eritrocita u cirkulaciji. Retikilociti se u perifernoj krvi pojavljuju u šestom ili sedmom tjednu faze oporavka.

Bitno je pratiti razinu elektrolita u serumu.

Potrebno je odmah učiniti analizu kromosoma iz kulture cirkulirajućih limfocita. Aberacije koje uzrokuje zračenje su specifične. Određuju se promjene na kromosomima perifernih limfocita (limfocita iz periferne krvi). Limfociti moraju proći više od 200 dioba, nakon čega se vrši analiza. Ako postoje aberacije se uočavaju na kromosomima; prstenovi, bicentrici. Broj aberacija je proporcionalan dozi zračenja.

Kod unutarnje kontaminacije odrediti radionuklide i mjeriti njihovu aktivnost u krvi. U urinu se radi biokemijska analiza, te mjere radionuklidi i njihova aktivnost u urinu.

Biomikroskopski pregledati leću. Ako je ozračena glava učiniti EEG.

Po potrebi učiniti spermogram.

3.1.3. KASNI UČINCI ZRAČENJA

Javljaju se kliničkim simptomima mjesecima i godinama nakon izloženosti zračenju. Glavni su kasni učinci zamućenje i katarakta leće, kronični radiodermatitis, sterilitet, deformacije novorođenčadi ranije izloženih roditelja, usporenje rasta i fizičkog ili psihičkog razvoja djece, genetske promjene uključujući i fiksirane kromosomske aberacije te povećana incidencija pojedinih malignih bolesti.

Leća je vrlo osjetljiva na zračenje. Koagulacija proteina (opaciteti) se javlja već pri jednokratnoj apsorbiranoj dozi višoj od 2 Gy, iako su opisani i opaciteti kod jednokratne izloženosti od 0,5 Gy. Opaciteti su zabilježeni i kod osoba koji su kronično bili izloženi dozi višoj od 0,1 Sv/godišnje kroz duži niz godina. Počinje kao plak u subkapsularnom stražnjem polu leće i širi se prema prednjem dijelu korteksa. Slične se promjene vide kod dijabetesa i infracrvenog zračenja. Dvije odvojene studije objavljene u 2010. godini utvrdile su da interventni kardiolozi imaju povećan relativni rizik od razvoja katarakte, a kumulativna efektivna doza bila je oko 6.0 Sv. Kod ostalih zdravstvenih radnika izloženih kumulativnoj efektivnoj dozi od 1.5 zabilježena je katarakta. Na temelju tih podataka, u 2011. godini Međunarodna komisija za zaštitu od zračenja (ICRP) smanjila je prag za jednokratnu absorbiranu dozu za kataraktu sa 5,0 Gy na 0,50 Gy. Latentno razdoblje za nastanak promjena na leći iznosi više od 10 godina. Kronični radiodermatitis nastaje nakon radijacijske opekline. Karakterizira ga atrofična, suha koža, bez dlaka i kose, teleangiektazije i pigmentacije. Promjene uzrokuje akutna lokalna doza viša od 10 Gy ili prolongirana izloženost ukupnoj dozi višoj od 20 Gy. Kromosomske aberacije koje mogu perzistirati desetljećima posljedica su dijagnostičkih postupaka, akcidentalnih situacija i u linearnoj su ovisnosti s apsorbiranom dozom. U uvjetima profesionalne izloženosti, uz primjenu mjera zaštite na radu ne očekuju se kromosomske aberacije.

Zloćudni tumori općenito nemaju veću incidenciju među izloženim radnicima u odnosu na opću populaciju, ako izloženost nije prelazila 0,1 Gy. Iako ovo vrijedi za skupinu svih izloženih, pojedina istraživanja upućuju na jasnu povezanost veće učestalosti pojedinih karcinoma u izloženih. Prema Znanstvenom komitetu Ujedinjenih naroda za učinke atomskog zračenja (UNSCEAR) male doze zračenja imaju nizak kancerogeni potencijal, a gotovo nema dokaza da uzrokuju nasljedne bolesti. Prema UNSCEAR-u samo 4% oboljenja od karcinoma treba pripisati ionizirajućem zračenju s tim da je ozračenje niskom dozom (ispod 200 mSv), uzrok manje od 1% od tih 4% karcinoma za koje se pretpostavlja da ga izaziva ionizirajuće zračenje.

UNSCEAR-ovim modelom procijenjeno je da je vjerojatnost da osoba dugotrajno izlagana niskoj dozi od 1 mSv/godinu oboli od malignoma iznosi od 0,5% tijekom cijelog životnog vijeka. Neke vrste karcinoma koje se povezuju s visokim dozama zračenja su leukemija, karcinom dojke, mjehura, debelog crijeva, jetre, pluća, multipli mijelom. Vremenski period između izloženosti zračenju i pojave karcinoma naziva se latentni period. Za leukemiju, minimalni vremenski period između izloženosti zračenju i pojave bolesti iznosi 2 godine. Za čvrste tumore latentni period iznosi više od 5 godina. Američka nacionalna akademija znanosti objavila je 1998. izvještaj odbora BEIR VI (Biological Effects of Ionizing Radiation) o učinku izloženosti radonu na zdravlje. Taj izvještaj je najkonkretniji skup znanstvenih podataka o radonu i potvrđuje da je radon drugi po redu uzrok karcinoma pluća u Sjedinjenim Američkim Državama. Studija procjenjuje da radon uzrokuje otprilike 15000 smrti od raka pluća godišnje. Tu su u prvom redu malignomi koštane srži (osim kronične limfatičke leukemije), rak dojke, pluća, štitne žlijezde i kostiju. U djece čije su majke za vrijeme trudnoće primile više od 0,05 Sv efektivne doze u 2. i 3. trimestru trudnoće statistički su značajno češće leukemije nego u njihovih vršnjaka čije majke nisu bile ozračene. Fetus koji je između 8. i 15. tjedna trudnoće primio dozu od 0,1Gy ima značajnu mogućnost razvoja blage mentalne retardacije.

3.1.4. OSTALI UČINCI ZRAČENJA

Do deformacija fetusa ili embrija može doći ako je u ranoj trudnoći zračena zdjelica majke. Kod visokih doza nerijetko se javljaju nakaznosti djece. Zaostali razvoj koštanog sustava zabilježen je kod djece izložene terapijskom zračenju ili kod one djece čije su majke bile u području izvođenja nuklearnih pokusa. To je vrlo bitno znati jer kod ozračenja embrija u ranom preembrionalnom razdoblju (0, do 3. tjedan) odnosno embrionalnom razdoblju (od 4. do 8. tjedna trudnoće) ili u fetalnom razdoblju (od 9. tjedna trudnoće do kraja trudnoće) može doći do malformacija djeteta. Iznimno, pri ozračenju u preembrionalnoj i embrionalnoj fazi može uništavanje nekih stanica u vrijeme razvoja pojedinih organa, ako embrij, a kasnije fetus preživi, izazvati teške kliničke slike kod novorođenčeta, a i kasnije u životu. Zato se učinci ozračenja embrija promatraju kao izdvojena kategorija. Ozračenje ploda u maternici može uzrokovati smrt djeteta, tjelesne deformacije, mentalnu zaostalost i pojavu raka. Ozračenje fetusa u periodu između 8. i 15. tjedna trudnoće dovodi do snižene inteligencije djece čije su majke bile ozračene u tom periodu. Teratogeni učinci opisani su već iznad praga od 0,01 Sv, ako je fetus bio ozračen u prvih 12 tjedana od začeća. Nacionalno vijeće za zaštitu od zračenja i mjerenja (NCRP) preporuča da fetus profesionalno izloženih majki ne dobije dozu veću od 5,0 mSv tijekom cijele trudnoće, da dnevna granica izlaganja ne prelazi 0,025 mSv, a da mjesečna ozračenost bude niža od 0,5 mSv. International Commission on Radiological Protection) - ICRP preporuča da 1,0 mSv bude ukupna fetalna izloženost tijekom cijele trudnoće. U cjelini, prema preporukama ICRP granice su ostvarive uz odgovarajuće mjere zaštite na radnom mjestu.

3.2. MEDICINSKO POSTUPANJE U SLUČAJU KONTAMINACIJE

3.5.1. KONTAMINACIJA

Kontaminacija radioaktivnim materijalom je svaka nepoželjna prisutnost radioaktivnog materijala u zraku, na radnim površinama, na predmetima, odjeći i koži (vanjska kontaminacija) ili u organizmu (unutrašnja kontaminacija) ako dođe do odlaganja radioaktivnog materijala u pojedina tkiva ili organe. Ponašanje radioaktivnog materijala unešenom u tijelo ovisi o njegovim fizikalnim i kemijskim

svojstvima. Neke se radioaktivne tvari raspoređuju u sva tkiva i organe dok su druge specifične za pojedina tkiva. Radioaktivna supstanca zrači sve dok se ne izluči iz organizma ili dok njena koncentracija u organizmu ne postane beznačajna zbog radioaktivnog raspada.

Sukladno tome vrši se uklanjanje dekontaminacija. Dekontaminacija je aktivnost kojom se potpuno ili dijelom uklanja radioaktivno onečišćenje korištenjem ciljanih fizičkih, kemijskih ili bioloških postupaka.

Vanjsku dekontaminaciju trebaju provesti osposobljene i posebno opremljene osobe vodeći pritom računa o tome da se kontaminacija ne proširi na osoblje u okolinu. Kod dekontaminacije osobe koje vrše dekontaminaciju moraju nositi osobna zaštitna sredstva. Dekontaminacija mora biti što brža nakon kontaminacije. Fizički postupci dekontaminacije su čišćenje posebnim usisavačima, mehaničko čišćenje i čišćenje abrazivnim sredstvima. Ne smije se oštetiti površina kontaminiranih površina. Kemijska dekontaminacija vrši se vodom, vodenom parom, detergentima i ionskim izmjenjivačima. Najčešće se radioaktivnim materijal s kože uklanja sapunom, vodom i blagim detergentom.

Kod kontaminacije kože najprije prati kožu vodom i sapunom. Kožu treba prati jednu do dvije minute, može i mekanom četkom. Zatim kožu sušiti u struju toplog zraka ili mehanički papirnatim ručnicima. Nakon postupka, ako je moguće izmjeriti razinu zračenja i postupak ponoviti. Ako nije dovoljno oprati kožu vodom i sapunom pere se koža detergentima ili otopinom natrijeva hipoklorita kroz jednu do dvije minute, a zatim ispiru vodom. Ovi se postupci trebaju i mogu ponavljati. Od jačih sredstava koristi se 4% natrijev hipermangan koji je jako oksidacijsko sredstvo. Do **unutrašnje kontaminacije** može doći ingestijom, inhalacijom ili kroz ozlijeđenu kožu. U slučaju nekih radionuklida kao što su tricij i neki spojevi koji sadrže jod apsorpcija može biti direktna i kroz neoštećenu kožu. Također radionuklidi mogu biti uneseni u organizam pogreškom pri aplikaciji radiofarmaka u dijagnostičke ili terapijske svrhe. Uglavnom: mala je vjerojatnost da će unošenje radionuklida u tijelo proizvesti odmah neko oštećenje pa uklanjanje tih radionuklida služi da bi se spriječili kasni učinci zračenja kao što je pojava raka.

3.3. ZDRAVSTVENI NADZOR IZLOŽENIH RADNIKA

Zdravstveni nadzor izloženih radnika provode ovlaštene medicina rada tj. zdravstvene ustanove koja obavljaju djelatnost medicine rada koje posjeduju ovlaštenje ministra nadležnog za zdravlje za obavljanje provjere zdravstvene sposobnosti izloženih osoba te psiholozi koji imaju važeću dopusnicu za obavljanje psihološke djelatnosti i dopusnicu za obavljanje djelatnosti u specifičnoj zdravstvenoj zaštiti radnika. Specijalist medicine rada/rada i sporta mora imati posebno stručno obrazovanje o primjeni mjera zaštite od ionizirajućeg zračenja te kada to zadovolji smije obavljati provjeru zdravstvene sposobnosti izloženih osoba, donositi ocjenu o zdravstvenoj sposobnosti, potpisati svjedodžbu o zdravstvenoj sposobnosti, donositi odluke u vezi zdravstvene zaštite izloženih osoba koje smatra potrebnima (npr. daljnji pregledi, provedbu dekontaminacije ili hitno dopunsko liječenje) i izvještavati pregledanu osobu o ustanovljenim bolestima, bolesnim stanjima i ostalim čimbenicima koji utječu na njezino stanje zdravlja i obavljanje poslova u području izloženosti, odnosno na obrazovanje za rad u području izloženosti. Zdravstvena sposobnost izloženih radnika određuje se prethodnim zdravstvenim pregledom, redovitim zdravstvenim pregledom, nadzornim zdravstvenim pregledom i izvanrednim zdravstvenim pregledom. Izložena osoba ima pravo na vlastiti zahtjev obaviti redoviti zdravstveni pregled i nakon prestanka rada u području izloženosti, ali ne češće od svake tri godine, osim u slučaju kada ima zdravstvene tegobe koje povezuje s izloženošću

ionizirajućem zračenju. Izloženi radnici moraju zadovoljiti opće uvjete utvrđene posebnim propisom i posebne uvjete zdravstvene sposobnosti za radno mjesto. Posebni uvjeti zdravstvene sposobnosti su uredan nalaz hematoloških testova i uredan nalaz stražnjeg pola leće te opće intelektualne sposobnosti iznad donje granice prosjeka, emocionalna stabilnost iznad donje granice prosjeka i perceptivne i psihomotorne sposobnosti u granicama ili iznad granica prosjeka.

Zapreke za rad u zoni izloženosti su: bolesti za koje se prema suvremenim medicinskim spoznajama zna da predstavljaju zapreku za rad u području izloženosti, odnosno za obrazovanje za rad u području izloženosti, a posebno:

- a) bolesti krvotvornih organa: refrakтерна anemija, neutropenija, trombocitopenija (sama ili kombinirana) ukoliko traju duže od godine dana, policitemija vera,
- b) maligna bolest, čija povećana učestalost se povezuje s izloženosti ionizirajućem zračenju, a za koju ne postoje klinički i drugi dokazi da je u potpunosti izliječena te dok traje terapija,
- c) bolesti ovisnosti (alkoholizam, tabletomanija, narkomanija), osim medicinski kontroliranih slučajeva, koji apstiniraju najmanje 6 mjeseci,
- d) duševnih i živčanih bolesti koje sprječavaju rad na siguran način u području izloženosti, odnosno obrazovanje za rad u području izloženosti, opće intelektualne sposobnosti ispod donje granice prosjeka, poremećaji osobnosti s izraženim asocijalnim ili antisocijalnim ponašanjem,
- e) bolesti, ozljede i anomalije središnjeg ili perifernog živčanog sustava i drugi poremećaji svijesti koji sprječavaju rad na siguran način u području izloženosti, odnosno obrazovanje za rad u području izloženosti.

Ocjena zdravstvene sposobnosti za rad u području izloženosti, odnosno obrazovanje za rad u području izloženosti može biti:

- 1. sposoban,
- 2. sposoban pod određenim uvjetima (uz navod uvjeta),
- 3. nesposoban (uz navod najmanjeg očekivanog trajanja perioda nesposobnosti),
- 4. ocjena nije dana (uz navod razloga).

Ocjena zdravstvene sposobnosti za rad u području izloženosti, odnosno obrazovanje za rad u području izloženosti upisuje se u svjedodžbu o zdravstvenoj sposobnosti.

Na ocjenu zdravstvene sposobnosti može se uložiti pisani prigovor Drugostupanjskom povjerenstvu pri Hrvatskom zavodu za zaštitu zdravlja i sigurnost na radu, u roku od 15 dana od dana uručjenja ocjene zdravstvene sposobnosti. Prigovor može podnijeti pregledana osoba i osoba koja je pregledanog uputila na zdravstveni pregled ili kod koje je pregledani zaposlen. Ocjena zdravstvene sposobnosti za rad u području izloženosti, odnosno obrazovanje za rad u području izloženosti koju donese Drugostupanjsko povjerenstvo je konačna.

Medicinsku dokumentaciju na osnovi koje je donesena ocjena ovlaštena medicina rada obvezna je čuvati sve dok pregledana osoba radi u području izloženosti ili se obrazuje za rad u području izloženosti. Nakon toga se dokumentacija mora čuvati sve dok pregledana osoba ne bude u starosnoj dobi višoj od 75 godina, a najmanje 30 godina od prestanka rada u području izloženosti.

4. ZAKONSKA PODLOGA

4.1. NAČELA ZAŠTITE OD IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA: OPRAVDANOST, OPTIMIZACIJA I OGRANIČENJE OZRAČENJA

Tri su osnovna načela zaštite od ionizirajućeg zračenja: opravdanost, optimizacija i ograničenje ozračenja. Svi koji koriste izvore ionizirajućeg zračenja obvezni su mjerama radiološke sigurnosti osigurati provedbu načela opravdanosti, optimizacije i ograničenja ozračenja.

Načelo opravdanosti u odnosu na djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja, odnosno nuklearnih djelatnosti ostvaruje se ako djelatnost koja uključuje ozračenje ljudi daje korist izloženim pojedincima ili društvu koja je u svim okolnostima veća od štetnosti zbog izlaganja ionizirajućem zračenju, uvažavajući gospodarske, socijalne i druge čimbenike. Načelo opravdanosti u odnosu na intervencije postiže se tako da svaka intervencija mora ublažiti posljedice izvanrednoga događaja, a posebno smanjiti izlaganje ljudi ionizirajućem zračenju zbog izvanrednog događaja.

Načelo optimizacije zaštite od ionizirajućeg zračenja u odnosu na djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja, odnosno nuklearnih djelatnosti ostvaruje se provedbom mjera zaštite kojima se izlaganje radnika i drugih osoba ionizirajućem zračenju od svih djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja, nuklearnih djelatnosti i svih izvora ionizirajućeg zračenja smanjuje toliko nisko koliko je razumno moguće unutar propisanih granica, uvažavajući tehničke, organizacijske, gospodarske, zdravstvene i socijalne čimbenike. Načelo optimizacije u odnosu na intervencije ostvaruje se tako da provedba, opseg i trajanje svake intervencije mora postići najveći razumno moguć pozitivan učinak.

Načelo ograničenja ozračenja provodi se tako da izloženost pojedinca od djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja, odnosno nuklearne djelatnosti mora biti ograničena, a primijenjene mjere radiološke i nuklearne sigurnosti moraju osigurati da izlaganje osoba ionizirajućem zračenju neće prijeći utvrđene granice.

Propisane granice su sljedeće:

Za izložene radnike:

- **efektivna doza** izloženih radnika ne smije u normalnim uvjetima tijekom rada biti veća od 100 mSv u razdoblju od pet uzastopnih godina, uz uvjet da niti u jednoj godini petogodišnjeg razdoblja efektivna doza ne smije biti veća od 50 mSv
- **ekvivalentna doza za očne leće** izloženih radnika ne smije u normalnim uvjetima rada biti veća od 150 mSv u jednoj godini
- **ekvivalentna doza za podlaktice, šake, stopala ili kožu** izloženih radnika ne smije u normalnim uvjetima rada biti veća od 500 mSv u jednoj godini, usrednjena preko 1 cm² površine bilo kojeg dijela kože, neovisno o dijelu kože koji je ozračen

Za osobe mlađe od 18 godina, ali starije od 16 godina, koje se obučavaju ili obrazuju za rad s izvorima ionizirajućeg zračenja tijekom obučavanja ili obrazovanja:

- efektivna doza do 6 mSv u jednoj godini,
- ekvivalentna doza za očne leće do 50 mSv u jednoj godini,

- ekvivalentna doza za podlaktice, šake, gležnjeve, stopala i kožu, usrednjena preko 1 cm² površine bilo kojeg dijela kože, neovisno o površini koja je ozračena, do 150 mSv u jednoj godini

Za pojedinog stanovnika:

- Efektivna doza u jednoj godini ne smije biti veća od 1 mSv od svih izvora ionizirajućeg zračenja koji su uključeni u djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja (u posebnim okolnostima, efektivna doza pojedinog stanovnika u jednoj godini smije biti do 5 mSv u jednoj godini s tim da u pet uzastopnih godina prosječna efektivna doza ne smije biti veća od 1 mSv godišnje)
- ekvivalentna doza za očne leće ne smije biti veća od 15 mSv u jednoj godini
- ekvivalentna doza za kožu ne smije biti veća od 50 mSv u jednoj godini, usrednjena preko 1 cm² površine bilo kojeg dijela kože, neovisno o površini koja je ozračena

Pojedina djelatnost s izvorima ionizirajućeg zračenja mora biti optimizirana tako da efektivna doza pojedinog stanovnika od te djelatnosti u godini dana ne bude veća od 0,3 mSv (ovo je preporučena granica ozračenja za pojedinog stanovnika, enlg. *dose constraint*).

Granice ozračenja **ne** odnose se na medicinsko ozračenje!

Nakon što izložena radnica ili osoba koja se obučava ili obrazuje za rad u području izloženosti nositelja odobrenja, odnosno korisnika obavijesti o svojoj trudnoći, isti je obvezan izloženoj radnici osigurati uvjete rada takve da **ekvivalentna doza za plod** bude toliko niska koliko je to razumno moguće postići, s minimalnom vjerojatnosti da ekvivalentna doza do kraja trudnoće dosegne 1 mSv.

4.2. MEDICINSKO OZRAČENJE, PROFESIONALNO OZRAČENJE I OZRAČENJE STANOVNIŠTVA

Ozračenje, definirano kao izlaganje ionizirajućem zračenju, osim na unutarnje i vanjsko, dijeli se i na medicinsko ozračenje, profesionalno ozračenje i ozračenje stanovništva.

Pod **profesionalnim ozračenjem** smatra se ozračenje radnika koji su izloženi radnici, u okviru njihovog radnog mjesta.

Izloženi radnik jest osoba za koju postoji vjerojatnost da tijekom obavljanja djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja ili nuklearne djelatnosti bude ozračena iznad granica ozračenja propisanih za pojedinog stanovnika, odnosno za koju postoji vjerojatnost da zbog prirode svoga posla u godini dana primi dozu veću od 1 mSv.

Medicinskim ozračenjem smatra se ozračenje sljedećih osoba:

- osoba izloženih ionizirajućem zračenju tijekom primjene izvora ionizirajućeg zračenja u dijagnostičke ili terapijske svrhe,
- osoba ozračenih u sklopu zdravstvenog pregleda za radno mjesto,
- osoba ozračenih u sklopu sustavnog pregleda (tzv. *screeninga*),
- osoba koje dragovoljno sudjeluju u medicinskim i biomedicinskim, dijagnostičkim ili terapijskim, istraživačkim programima koji uključuju uporabu izvora ionizirajućeg zračenja,
- osoba ozračenih u sklopu medicinsko-pravnih postupaka te

– osoba koje svjesno i dragovoljno pridržavaju i pomažu pacijentima tijekom dijagnostičkih ili intervencijskih pregleda ili postupaka u medicini i dentalnoj medicini uporabom izvora ionizirajućeg zračenja.

Ozračenje izloženog radnika u trenutku kad postaje jedna od gore navedenih osoba, iz profesionalnog prelazi u medicinsko ozračenje. Izloženi radnik u okviru svog radnog mjesta ne smije pridržavati nepokretne pacijente tijekom provedbe dijagnostičkog pregleda ili postupka uporabom rendgenskog uređaja.

Ozračenje pojedinca, odnosno pojedinog stanovnika smatra se svako ono ozračenje koje nije profesionalno ili medicinsko kao posljedica obavljanja raznih djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja.

4.3. PROPISI KOJIMA JE REGULIRANA ZAŠTITA OD IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

Zaštita od ionizirajućeg zračenja u Republici Hrvatskoj počiva na sljedećim važnim zakonima:

1. Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti ("Narodne novine" broj 141/13, 39/15, 130/17 i 118/18)
2. Zakon o prijevozu opasnih tvari ("Narodne novine" broj 79/07)

Prema odredbama Zakona o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti ("Narodne novine" broj 141/13, 39/15, 130/17 i 118/18) (dalje u tekstu: Zakon), tijelo državne uprave nadležno za poslove zaštite od ionizirajućeg zračenja, nuklearnu sigurnost i inspekcijski nadzor nad provedbom odredbi Zakona i propisa donesenih temeljem njega jest Ministarstvo unutarnjih poslova.

Zakon je izrađen u skladu sa sljedećim aktima Europske unije:

- Uredbom Vijeća (Euratom) br. 1493/93 od 8. lipnja 1993. o pošiljkama radioaktivnih tvari između država članica (SL L 148, 19. 6. 1993.)
- Uredbom Komisije (Euratom) br. 302/2005 od 8. veljače 2005. o primjeni nadzora sigurnosti Euratoma (SL L 54, 28. 2. 2005.)
- Uredbom Komisije (Euratom) br. 66/2006 od 16. siječnja 2006. o izuzeću prijenosa malih količina ruda, sirovina i posebnih fisibilnih materijala od primjene pravila poglavlja o opskrbi (SL L 11, 17. 1. 2006.)
- Direktivom Vijeća 2006/117/Euratom od 20. studenoga 2006. o nadzoru i kontroli pošiljaka radioaktivnog otpada i istrošenog goriva (SL L 337, 5. 12. 2006.)
- Direktivom Vijeća 2009/71/Euratom od 25. lipnja 2009. o uspostavi okvira Zajednice za nuklearnu sigurnost nuklearnih postrojenja (SL L 172, 2. 7. 2009.)
- Direktivom Vijeća 2011/70/Euratom od 19. srpnja 2011. o uspostavi okvira Zajednice za odgovorno i sigurno gospodarenje istrošenim gorivom i radioaktivnim otpadom (SL L 199, 2. 8. 2011.)
- Direktivom Vijeća 2013/59/Euratom od 5. prosinca 2013. o osnovnim sigurnosnim standardima za zaštitu od opasnosti koje potječu od izloženosti ionizirajućem zračenju, i o stavljanju izvan snage direktiva 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom i 2003/122/Euratom (SL L 13, 17. 1. 2014.)
- Direktivom Vijeća 2014/87/Euratom od 8. srpnja 2014. o izmjeni Direktive 2009/71/Euratom o uspostavi okvira Zajednice za nuklearnu sigurnost nuklearnih postrojenja (SL L 219, 25. 7. 2014.)

te standardom Safety Standards Series No. GSR Part 3, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards kojeg je izdala Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA).

Osim Zakonom, zaštita od ionizirajućeg zračenja regulirana je i sljedećim podzakonskim aktima donesenim na temelju tog zakona:

- Uredba o mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja te postupanjima u slučaju izvanrednog događaja (NN 24/18)
- Pravilnik o zdravstvenim uvjetima izloženih radnika i osoba koje se obučavaju za rad u području izloženosti (NN 66/18)
- Pravilnik o obavješćivanju, registriranju i odobrenjima te prometu izvorima ionizirajućeg zračenja (NN 54/18)
- Pravilnik o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja (NN 53/18)
- Pravilnik o uvjetima za primjenu izvora ionizirajućeg zračenja u svrhu medicinskog i nemedicinskog ozračenja (NN 42/18)
- Pravilnik o obrazovanju potrebnom za rukovanje izvorima ionizirajućeg zračenja, primjenu mjera radiološke sigurnosti i upravljanje tehničkim procesima u nuklearnim postrojenjima (NN 42/18)
- Pravilnik o praćenju stanja radioaktivnosti u okolišu (NN 40/18)
- Pravilnik o ovlašćivanju stručnih tehničkih servisa za obavljanje poslova radiološke sigurnosti (NN 40/18)
- Pravilnik o granicama ozračenja, preporučenom doznom ograničenju i procjenjivanju osobnog ozračenja (NN 38/18)
- Pravilnik o sadržaju te uvjetima, kriterijima i načinu odobravanja plana sanacije (NN 38/18)
- Pravilnik o nuklearnom osiguranju (NN 38/18)
- Pravilnik o stručnjacima za zaštitu od ionizirajućeg zračenja (NN 36/18)
- Pravilnik o zbrinjavanju radioaktivnog otpada i Iskorištenih Izvora (NN 12/18)

4.4. ORGANIZACIJA ZAŠTITE OD IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA U REPUBLICI HRVATSKOJ; DOZIMETRIJSKI NADZOR IZLOŽENIH RADNIKA, ODOBRENJA I DOZVOLE POTREBNE ZA OBAVLJANJE DJELATNOSTI S IZVORIMA IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

4.4.1. ORGANIZACIJA ZAŠTITE OD IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Sukladno Zakonu o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti (NN 141/13), (NN 39/15), (NN 130/17), (NN 118/18)

Ministarstvo unutarnjih poslova:

1. odobrava obavljanje nuklearne djelatnosti
2. odobrava obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja
3. odobrava uvoz, izvoz, prijevoz i provoz izvora ionizirajućeg zračenja
4. odobrava obavljanje djelatnosti zbrinjavanja radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora
5. provodi nezavisne analize sigurnosti i izdaje rješenja i suglasnosti za smještaj, projektiranje, gradnju, uporabu te razgradnju postrojenja u kojem će se obavljati nuklearna djelatnost i djelatnosti zbrinjavanja radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora, pritom pridržavajući se posebnih propisa kojima se uređuje područje gradnje

6. sudjeluje u postupku izdavanja lokacijske dozvole, građevinske dozvole i u postupku izdavanja uporabne dozvole za građevine u kojima su smješteni izvori ionizirajućeg zračenja ili se obavlja djelatnost s izvorima ionizirajućeg zračenja te u kojima se obavlja djelatnost zbrinjavanja radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora u skladu s propisom o gradnji
7. ovlašćuje i nadzire stručni rad ovlaštenih stručnih tehničkih servisa i ovlaštenih izvršitelja za nuklearnu sigurnost
8. organizira i nadzire, a po potrebi i provodi ispitivanja prisutnosti vrste i jakosti ionizirajućeg zračenja u okolišu, hrani i hrani za životinje i predmetima opće uporabe u redovitim uvjetima te u slučaju sumnje na izvanredni događaj
9. vodi očevidnike o dozvolama, suglasnostima, rješenjima i potvrdama, koje izdaje u okviru svojih ovlasti, te vodi i nadzire očevidnike o izvorima ionizirajućeg zračenja, nositeljima odobrenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja, djelatnosti zbrinjavanja radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora i nuklearne djelatnosti, korisnicima, izloženim radnicima, stupnju ozračenosti izloženih radnika te stupnju ozračenosti osoba izloženih medicinskom ozračenju i drugih osoba
10. obavlja inspekcijske poslove vezane uz nadzor provedbe odredbi ovoga Zakona i propisa donesenih na temelju ovoga Zakona
11. izrađuje stručne podloge za nastavne programe i planove za redovito i dopunsko obrazovanje te obnovu znanja iz područja radiološke sigurnosti
12. osigurava stručnu pomoć za provođenje uredbe o mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja te intervencija u slučaju izvanrednoga događaja
13. obavješćuje sredstva javnog informiranja, nadležna tijela, organizacije, udruge i međunarodne institucije o izvanrednim događajima vezanim uz izvore ionizirajućeg zračenja
14. osigurava stručnu pomoć i suradnju u poslovima suzbijanja nedozvoljenog prometa nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala tijelima državne uprave nadležnim za te poslove
15. koordinira rad relevantnih tijela državne uprave u situacijama kad je to određeno propisima donesenim na temelju ovoga Zakona
16. predlaže i definira nacionalne zahtjeve glede radiološke i nuklearne sigurnosti i nuklearnog osiguranja, uključujući prijetnju predviđenu projektnom osnovom i sudjeluje u njihovom utvrđivanju
17. promiče sigurnosnu kulturu i kulturu nuklearnog osiguranja
18. sudjeluje u postupku izdavanja suglasnosti za sanacijski program
19. prati stanje sigurnosti nuklearnih elektrana u regiji i provodi procjenu opasnosti od mogućih nuklearnih nesreća u njima, a osobito za Nuklearnu elektranu Krško u Sloveniji i Nuklearnu elektranu Paks u Mađarskoj
20. daje dozimetrijske procjene izlaganja ionizirajućem zračenju izloženih radnika, stanovništva od medicinskog ozračenja te od izlaganja ionizirajućem zračenju od radionuklida iz okoliša
21. provodi obveze koje je Republika Hrvatska preuzela prema međunarodnim konvencijama, ugovorima i sporazumima, a odnose se na zaštitu od ionizirajućeg zračenja, nuklearnu sigurnost, nuklearnu štetu i primjenu mjera zaštite u svrhu neširenja nuklearnog oružja
22. surađuje s međunarodnim i domaćim organizacijama i društvima s područja radiološke i nuklearne sigurnosti te imenuje svoje stručne predstavnike koji sudjeluju u radu tih organizacija i društava ili prate njihov rad
23. koordinira poslove tehničke suradnje s Međunarodnom agencijom za atomsku energiju za sve

sudionike iz Republike Hrvatske

24. potiče i podupire znanstveni i razvojnoistraživački rad, potiče stručna, statistička i druga istraživanja u skladu sa zahtjevima i potrebama razvoja radiološke i nuklearne sigurnosti u Republici Hrvatskoj

25. izdaje upute za provođenje međunarodnih preporuka i normi te oblikuje standarde i metode u praćenju stanja radiološke i nuklearne sigurnosti

26. organizira dopunsko stručno obrazovanje te obnovu znanja o primjeni mjera radiološke sigurnosti i mjera nuklearnog osiguranja

27. obavlja i druge poslove iz svoje nadležnosti na temelju ovoga Zakona, propisa donesenih na temelju ovoga Zakona i drugih propisa.

Osobe koje su na radnim mjestima izložene ionizirajućem zračenju moraju udovoljavati posebnim zdravstvenim uvjetima. Zdravstveni pregledi provode se prema odredbama *Pravilniku o zdravstvenim uvjetima izloženih radnika i osoba koje se obučavaju za rad u području izloženosti (NN 66/18)*. U svrhu provedbe zdravstvenog nadzora, Ministarstvo zdravlja ovlastilo je **medicine rada** u Republici Hrvatskoj čiji rad koordinira Hrvatski zavod za zaštitu zdravlja i sigurnost na radu.

Na temelju ovlaštenja koje imaju, medicine rada moraju izvješćivati Ministarstvo unutarnjih poslova, Ministarstvo zdravlja i Hrvatski zavod za zaštitu zdravlja i sigurnost na radu o svim danim ocjenama radne sposobnosti. Temeljem ovih izvješća zdravstveno stanje osoba koje rade s izvorima ionizirajućeg zračenja prati se na razini države, a u cilju pravovremene intervencije.

Uz već navedene čimbenike u organizaciji zaštite od ionizirajućeg zračenja, nezaobilazni su i **ovlašteni stručni tehnički servisi** koje za obavljanje stručnih poslova zaštite od ionizirajućeg zračenja ovlašćuje Ministarstvo unutarnjih poslova.

Stručni poslovi zaštite od ionizirajućeg zračenja za koje je potrebno ovlaštenje su:

1. mjerenje operativnih dozimetrijskih veličina potrebnih za procjenu osobnog vanjskog ozračenja osoba
2. procjenjivanje osobnog unutarnjeg ozračenja osoba
3. redovito godišnje ispitivanje zatvorenih radioaktivnih izvora i/ili električnih uređaja koji proizvode ionizirajuće zračenje u medicinskim djelatnostima i ispitivanje zatvorenih radioaktivnih izvora i/ili električnih uređaja koji proizvode ionizirajuće zračenje u nemedicinskim djelatnostima te davanje mišljenja na osnovi mjerenja i proračuna.
4. radiološki nadzor mjesta rada i ispitivanje uvjeta rada te izrada dokumenata iz kojih je vidljivo udovoljava li radni okoliš, prostorije i uvjeti rada propisanim uvjetima radiološke sigurnosti
5. ispitivanje i praćenje vrste i aktivnosti radioaktivnih tvari u zraku, tlu, moru, rijekama, jezerima, podzemnim vodama, oborinama, vodi za piće, hrani i potrošačkim proizvodima
6. ispitivanje koncentracije radona i radonovih potomaka u zraku.

♦ **POPIS OVLAŠTENIH STRUČNIH TEHNIČKIH SERVISA** (abecednim redom)

EKOTEH DOZIMETRIJA d.o.o.

Zagreb, Vladimira Ruždjaka 21

ovlašten za:

- mjerenje osobnog vanjskog ozračenja izloženih radnika ili osoba koje se obučavaju ili obrazuju za rad s izvorima ionizirajućeg zračenja

- ispitivanje rendgenskih uređaja, akceleratora i drugih uređaja koji proizvode ionizirajuće zračenje, te davanje mišljenja s procjenom opasnosti na osnovi mjerenja i proračuna
- ispitivanje zatvorenih radioaktivnih izvora i uređaja sa zatvorenim radioaktivnim izvorima te davanje mišljenja s procjenom opasnosti na osnovi mjerenja i proračuna
- ispitivanje otvorenih radioaktivnih izvora te davanje mišljenja s procjenom opasnosti na osnovi mjerenja i proračuna
- ispitivanje prostorija u kojima se radi s izvorima ionizirajućeg zračenja te izrada dokumenata iz kojih je vidljivo udovoljava li prostorija propisanim uvjetima zaštite od ionizirajućeg zračenja

INSTITUT RUĐER BOŠKOVIĆ

Zagreb, Bijenička cesta 54

ovlašten za:

- mjerenje osobnog vanjskog ozračenja izloženih radnika ili osoba koje se obučavaju ili obrazuju za rad s izvorima ionizirajućeg zračenja
- ispitivanje rendgenskih uređaja, akceleratora i drugih uređaja koji proizvode ionizirajuće zračenje, te davanje mišljenja s procjenom opasnosti na osnovi mjerenja i proračuna
- ispitivanje zatvorenih radioaktivnih izvora i uređaja sa zatvorenim radioaktivnim izvorima te davanje mišljenja s procjenom opasnosti na osnovi mjerenja i proračuna

- ispitivanje otvorenih radioaktivnih izvora te davanje mišljenja s procjenom opasnosti na osnovi mjerenja i proračuna
- ispitivanje prostorija u kojima se radi s izvorima ionizirajućeg zračenja te izrada dokumenata iz kojih je vidljivo udovoljava li prostorija propisanim uvjetima zaštite od ionizirajućeg zračenja
- ispitivanje i praćenje vrste i aktivnosti radioaktivnih tvari u zraku, tlu, moru, rijekama, jezerima, podzemnim vodama, oborinama, vodi za piće, hrani i predmetima opće uporabe
- ispitivanje koncentracije radona i radonovih potomaka u zraku

INSTITUT ZA MEDICINSKA ISTRAŽIVANJA I MEDICINU RADA

Zagreb, Ksaverska cesta 2

ovlašten za:

- mjerenje osobnog vanjskog ozračenja izloženih radnika ili osoba koje se obučavaju ili obrazuju za rad s izvorima ionizirajućeg zračenja
- ispitivanje rendgenskih uređaja, akceleratora i drugih uređaja koji proizvode ionizirajuće zračenje, te davanje mišljenja s procjenom opasnosti na osnovi mjerenja i proračuna
- ispitivanje zatvorenih radioaktivnih izvora i uređaja sa zatvorenim radioaktivnim izvorima te davanje mišljenja s procjenom opasnosti na osnovi mjerenja i proračuna
- ispitivanje otvorenih radioaktivnih izvora te davanje mišljenja s procjenom opasnosti na osnovi mjerenja i proračuna
- ispitivanje prostorija u kojima se radi s izvorima ionizirajućeg zračenja te izrada dokumenata iz kojih je vidljivo udovoljava li prostorija propisanim uvjetima zaštite od ionizirajućeg zračenja
- ispitivanje i praćenje vrste i aktivnosti radioaktivnih tvari u zraku, tlu, moru, rijekama, jezerima, podzemnim vodama, oborinama, vodi za piće, hrani i predmetima opće uporabe
- ispitivanje koncentracije radona i radonovih potomaka u zraku

SVEUČILIŠTE J.J.STROSSMAYERA U OSIJEKU

OSIJEK, TRG SV.TROJSTVA 3

ovlašten za:

- ispitivanje koncentracije radona i radonovih potomaka u zraku

4.4.2. DOZIMETRIJSKI NADZOR IZLOŽENIH RADNIKA

Pod dozimetrijskim nadzorom podrazumijeva se mjerenje osobnog ozračenja, odnosno procjenjivanje efektivne doze. Stupanj osobnog ozračenja mjeri se osobnim dozimetrima za mjerenje vanjskog ozračenja (obvezno filmdozimetrima ili termoluminiscentnim dozimetrima (TLD)), a po potrebi i drugim dodatnim osobnim dozimetrima uz izravno ili odgođeno očitavanje primljene doze) te provjerom razine zračenja na radnim mjestima i stupnja radioaktivnog onečišćenja osoba ili radnog okoliša i drugim ispitivanjima.

Na temelju rezultata mjerenja dobivenih osobnim dozimetrom procjenjuje se efektivna doza za cijelo tijelo i upisuje se u osobni dozimetrijski karton za svakog izloženog radnika.

Stupanj izloženosti vanjskom ozračenju izloženih radnika obvezno se mjeri osobnim dozimetrima u dvanaest mjernih razdoblja godišnje.

Nositelj odobrenja ili vanjski izvođač mora osigurati provođenje kategorizacije svojih izloženih radnika, u cilju praćenja i nadzora, prema sljedećem kriteriju:

1. izloženi radnici kategorije A su radnici koji bi mogli u jednoj godini primiti:

- efektivnu dozu višu od 6 mSv ili
- ekvivalentnu dozu višu od 15 mSv za očnu leću ili
- ekvivalentnu dozu višu od 150 mSv za kožu i ekstremitete.

2. izloženi radnici kategorije B su radnici koji nisu klasificirani kao radnici kategorije A.

Provođenje kategorizacije izloženih radnika mora se osigurati prije početka rada u području izloženosti.

Prilikom provedbe kategorizacije pojedinog izloženog radnika potrebno je uzeti u obzir najmanje sljedeće:

- vrijednosti ukupne efektivne ili ekvivalentne doze za pojedinog izloženog radnika ili izložene radnike na istim ili sličnim poslovima dobivene iz rezultata njihovog osobnog dozimetrijskog nadzora u neprekinutom trajanju od godine dana s početkom u mjesecu stupanja na snagu ovog Pravilnika
- procijenjene vrijednosti efektivne ili ekvivalentne doze iz mjerenja u sklopu radiološkog nadzora mjesta rada sukladno posebnom propisu, uzimajući u obzir sve poslove koje obavlja pojedini izloženi radnik te pripadajuće radno opterećenje
- moguće ozračenje.

Nositelj odobrenja i vanjski izvođač obvezni su najmanje jednom godišnje preispitivati kategorizaciju svojih izloženih radnika, a osobito pri svakoj izmjeni radnih uvjeta ili opisa posla koji mogu utjecati na rizik od ozračenja izloženih radnika te na temelju preporuke iz zdravstvenog nadzora izloženog radnika sukladno posebnom propisu te o tome u pisanom obliku obavijestiti svog izloženog radnika o rezultatima kategorizacije.

Prilikom provedbe kategorizacije i preispitivanja kategorizacije svojih izloženih radnika nositelj odobrenja i vanjski izvođač dužni su savjetovati se sa stručnjakom za zaštitu od ionizirajućeg zračenja, a mora se osigurati i sustavno praćenje ozračenja izloženih radnika kategorije A, sukladno analizi rizika propisanoj posebnim propisom, na temelju pojedinačnog mjerenja osobnog ozračenja koje provodi dozimetrijski servis. Također, nositelj odobrenja mora osigurati praćenje ozračenja svojih ili vanjskih izloženih radnika kategorije B na način koje će nedvosmisleno dokazati da su ispravno kategorizirani. Osobni dozimetar za utvrđivanje efektivne doze za cijelo tijelo, bez obzira na vrstu, obvezno se nosi na lijevoj strani prsiju, a ako se nosi zaštitna pregača, ispod zaštitne pregače.

Ako izloženi radnik uz obvezne osobne dozimetre nosi i dodatne dozimetre zbog naravi posla koji obavlja: iznad zaštitne odjeće, sa stražnje strane tijela, na ruci, blizu očiju i slično, podaci o primljenim dozama na tim mjestima mjerenja, unose se u osobni karton primljenih doza uz napomenu na kojem mjestu su nošeni.

Dozimetrijski karton sadrži podatke o osobnom ozračenju svakog radnika.

Zahtjev za uvid u dozimetrijski karton izloženog radnika, odnosno za davanje izvoda iz dozimetrijskog kartona može podnijeti izloženi radnik osobno ili osoba odgovorna za zaštitu od ionizirajućeg zračenja u nositelju odobrenja koji je poslodavac tog izloženog radnika.

Nošene dozimetre osoba odgovorna za zaštitu od ionizirajućeg zračenja (koju je sukladno Zakonu imenovao nositelj odobrenja) mora dostaviti ovlaštenom stručnom tehničkom servisu koji provodi osobnu dozimetriju najkasnije petnaest dana poslije isteka prethodnog mjernog razdoblja (tj. do 15. u mjesecu).

Ako izloženi radnik kod istog poslodavca radi na više radnih mjesta koja su u području izloženosti, na svim radnim mjestima koja su u području izloženosti obvezan je nositi isti osobni dozimetar.

Ako izloženi radnik radi u području izloženosti dva ili više poslodavca, svaki od njih mora mu osigurati poseban osobni dozimetar. Ministarstvo unutarnjih poslova u očevidniku osigurava evidenciju primljenih doza za tog radnika.

Ako izloženi radnik izgubi ili ošteti osobni dozimetar ili se i nakon tri mjeseca od isteka roka za povrat dozimetar ne vrati ovlaštenom stručnom tehničkom servisu za osobnu dozimetriju, za predmetno razdoblje mjerenja u osobni karton primljenih doza upisat će se da nije bilo moguće procijeniti efektivnu dozu.

U slučaju da se dozimetar izgubi ili ošteti, potrebno je o tome u pisanom obliku obavijestiti ovlašteni stručni tehnički servis.

Stupanj izloženosti unutarnjem ozračenju kod izloženih radnika koji rade s otvorenim radioaktivnim izvorima, određuje se jednom godišnje izravnim mjerenjem radioaktivnosti u cijelom tijelu ili u kritičnim organima, neizravnim procjenom temeljem mjerenja koncentracije radionuklida u biološkim uzorcima ili proračunom očekivane efektivne doze od unošenja radionuklida u organizam iz radnog okoliša u kojem je mjerenjem utvrđena koncentracija radionuklida i na drugi način kojim se mogu osigurati vjerodostojni rezultati.

Stupanj izloženosti unutarnjem ozračenju određuje se proračunom efektivne doze i upisuje u osobni karton primljenih doza izloženog radnika koji radi s otvorenim radioaktivnim izvorima uz napomenu da se radi o unutarnjem ozračenju i načinu na koji je doza procijenjena.

Stupanj izloženosti unutarnjem ozračenju provode stručni tehnički servisi ovlašteni za mjerenje osobnog unutarnjeg ozračenja izloženih radnika ili osoba koje se obučavaju ili obrazuju za rad s izvorima ionizirajućeg zračenja.

4.4.3. ODOBRENJA I DOZVOLE POTREBNE ZA OBAVLJANJE DJELATNOSTI S IZVORIMA IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

Svaka pravna ili fizička osoba, tijelo državne uprave ili tijelo lokalne i područne (regionalne) samouprave koje pri obavljanju određene djelatnosti namjerava koristiti izvore ionizirajućeg zračenja mora prethodno ishoditi odobrenje za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja. U smislu Zakona, djelatnost s izvorima ionizirajućeg zračenja jest ljudska aktivnost tijekom koje može doći do povećanja ozračenja pojedinca od umjetnog izvora ionizirajućeg zračenja ili od prirodnih izvora ionizirajućeg zračenja kada se obrađuju zbog fizijskih ili fertilnih svojstava, osim u slučaju ozračenja pri izvanrednom događaju.

Odobrenje za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja daje Ministarstvo unutarnjih poslova. Postupak ishođenja odobrenja ovisi o djelatnosti i vrsti izvora koji se pri obavljanju te djelatnosti koristi.

Pravna ili fizička osoba, tijelo državne uprave ili tijelo lokalne i područne (regionalne) samouprave kojem je dano odobrenje za obavljanje određene djelatnosti s izvorom ionizirajućeg zračenja naziva

se *nositelj odobrenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja* (dalje u tekstu: *nositelj odobrenja*).

Djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja za koje je potrebno ishoditi odobrenje za obavljanje djelatnosti su:

a) s radioaktivnim izvorima:

- proizvodnja radioaktivnih izvora
- uporaba radioaktivnih izvora
- uvoz i izvoz radioaktivnih izvora
- prijevoz radioaktivnih izvora
- servisiranje i popravljane radioaktivnih izvora i uređaja u koji su ugrađeni radioaktivni izvori
- postavljanje i ugradnja te demontiranje radioaktivnih izvora i uređaja u koji su ugrađeni radioaktivni izvori
- prodaja i svaka druga vrsta prometa radioaktivnih izvora
- sanacija.

b) s rendgenskim uređajima, akceleratorima i drugim električnim uređajima koji proizvode ionizirajuće zračenje:

- proizvodnja
- uporaba
- uvoz i izvoz

- postavljanje te demontiranje
- servisiranje i popravljanje
- prodaja i svaka druga vrsta prometa.

Zahtjev za davanjem odobrenja za obavljanje djelatnosti podnosi se Ministarstvu unutarnjih poslova na odgovarajućem obrascu i prilažu se svi potrebni dokumenti.

Prvo odobrenje za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja daje se na rok od 5 godina.

Nositelj odobrenja obavezan je dva mjeseca prije isteka roka valjanosti odobrenja za obavljanje djelatnosti zatražiti obnovu istog, ako namjerava i nadalje obavljati istu djelatnost.

Obnovljeno odobrenje za obavljanje djelatnosti daje se na rok od najduže 10 godina, ovisno o vrsti izvora ionizirajućeg zračenja i djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja za koju se odobrenje traži, kao i o riziku vezanim uz tu djelatnost.

U slučaju prestanka obavljanja djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja, nositelj odobrenja i korisnik obavezan je o tome u pisanom obliku obavijestiti Ministarstvo unutarnjih poslova u roku od 15 dana od dana prestanka obavljanja djelatnosti. Odobrenje za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja prestaje važiti s danom izvršnosti rješenja o brisanju nositelja odobrenja iz odgovarajućeg registra, bez obzira na rok na koje je dano.

Nositelj odobrenja, odnosno korisnik obavezan je izvor ionizirajućeg zračenja prijaviti za upis u središnji registar koji se vodi pri Ministarstvu unutarnjih poslova u roku od 15 dana od dana nabavke istog.

Po nabavci i prijavi izvora ionizirajućeg zračenja za upis u središnji registar koji se vodi pri Ministarstvu unutarnjih poslova, a prije početka njegove uporabe, nositelj odobrenja, odnosno korisnik, moraju od Ministarstva unutarnjih poslova ishoditi dozvolu za uporabu istog. Prije podnošenja zahtjeva za davanje dozvole za uporabu, nositelj odobrenja ili korisnik moraju osigurati da ovlašteni stručni tehnički servis ispita izvor. U slučaju akceleratora koji se koristi za radioterapiju u medicini, ispitivanje akceleratora provode medicinski fizičari nositelja odobrenja.

Dozvolu za uporabu, osim u slučaju otvorenih radioaktivnih izvora, Ministarstvo unutarnjih poslova izdaje za izvor ionizirajućeg zračenja koji je upisan u središnji registar izvora ionizirajućeg zračenja.

Dozvolu za uporabu za rendgenski uređaj ili akcelerator koji se koristi se za dijagnostiku ili terapiju u medicini ili stomatologiji ili njenu presliku potrebno je izvjesiti na vidno mjesto tako da je osobi koja koristi uređaj ili osobi koja je podvrgnuta dijagnostičkom ili terapijskom postupku uporabom tog uređaja razvidno da uređaj udovoljava uvjetima zaštite od ionizirajućeg zračenja sukladno važećim propisima. Dozvola za uporabu ili njena preslika za pokretni rendgenski uređaj koji se koristi u operacijskim dvoranama ili u bolesničkim sobama mora se nalaziti uz upravljački uređaj istog, pričvršćena na prikladan način.

Dozvola za uporabu izvora ionizirajućeg zračenja daje se na rok od dvanaest mjeseci. U slučaju zatvorenih radioaktivnih izvora koji su izvedeni tako da apsorbirana doza u jedinici vremena na udaljenosti 0,1 m od bilo koje dostupne površine zatvorenog radioaktivnog izvora ili uređaja u kojem se nalazi zatvoreni radioaktivni izvor ni pod kojim uvjetom ne može prijeći 1 μGy na sat, dozvola za uporabu daje se na rok od 5 godina. Rok valjanosti uvijek je naznačen na samoj dozvoli za uporabu.

Osim nakon navedenog perioda od 12 mjeseci, odnosno 5 godina, dozvola za uporabu prestaje važiti i u sljedećim slučajevima:

- nakon obavljenih značajnijih popravaka, preinake ili zamjena dijelova kojima se može bitno utjecati na promjenu uvjeta proizvodnje ionizirajućeg zračenja, a prije ponovnog početka uporabe,
- prije početka uporabe na novom mjestu uporabe, ako su izvori ionizirajućeg zračenja premješteni s jednog mjesta na drugo,
- poslije svakog graditeljskog zahvata ili prenamjene prostorije u kojoj je izvor ionizirajućeg zračenja smješten, a kojima se mogu promijeniti uvjeti zaštite od ionizirajućeg zračenja unutar i izvan te prostorije

Da bi se izvor ionizirajućeg zračenja nastavio koristiti, mora biti ponovo ispitan i mora biti zatražena nova dozvola za uporabu, prije isteka važeće.

Osobu odgovornu za zaštitu od ionizirajućeg zračenja obavezan je imenovati svaki nositelj odobrenja, odnosno korisnik.

Osoba odgovorna za zaštitu od ionizirajućeg zračenja u zdravstvenim, znanstvenim i obrazovnim ustanovama, nositeljima odobrenja za obavljanje djelatnosti provjere kakvoće radiografijom te nositeljima odobrenja za obavljanje nuklearne djelatnosti mora imati završen preddiplomski i diplomski sveučilišni studij ili integrirani preddiplomski i diplomski sveučilišni studij.

Osoba odgovorna za zaštitu od ionizirajućeg zračenja u ostalim nositeljima odobrenja i korisnicima mora imati završen preddiplomski sveučilišni studij ili stručni studij u trajanju od najmanje tri godine sukladno aktu nositelja odobrenja o provedbi mjera zaštite od ionizirajućeg zračenja i mjera osiguranja kvalitete.

Osoba odgovorna za zaštitu od ionizirajućeg zračenja mora imati posebno obrazovanje o primjeni mjera zaštite od ionizirajućeg zračenja stečeno redovnim obrazovanjem ili dopunskim obrazovanjem.

Obveze osobe odgovorne za zaštitu od ionizirajućeg zračenja:

- provodi unutarnju kontrolu nad primjenom mjera radiološke sigurnosti,
- skrbi o uporabi zaštitne opreme i uređaja za mjerenje osobnoga ozračenja izloženih radnika,
- skrbi o provedbi provjere zdravstvene sposobnosti izloženih radnika,
- skrbi o stručnoj osposobljenosti izloženih radnika za rukovanje izvorima ionizirajućeg zračenja i primjeni mjera radiološke sigurnosti te obnovi znanja izloženih radnika,
- skrbi o pregledima izvora ionizirajućeg zračenja u propisanim rokovima,
- nazoči inspekcijskom nadzoru i očituje se na nalaz inspektora,
- osigurava vođenje svih propisanih evidencija,
- organizira provedbu zaštitnih mjera u slučaju izvanrednog događaja.

Osoba odgovorna za zaštitu od ionizirajućeg zračenja obvezna je bez odgađanja izvijestiti Ministarstvo unutarnjih poslova o povredi odredbi Zakona i podzakonskih akata donesenih na temelju Zakona kojom su ugroženi život i zdravlje ljudi.

Ako su povredom odredbi Zakona i podzakonskih akata donesenih na temelju Zakona ugroženi priroda ili okoliš, osoba odgovorna za zaštitu od ionizirajućeg zračenja obvezna je o tome bez odgađanja izvijestiti tijelo državne uprave nadležno za zaštitu okoliša i Ministarstvo unutarnjih poslova.

Obveze osobe odgovorne za zaštitu od ionizirajućeg zračenja propisane su Zakonom.

4.5. INSPEKCIJSKI NADZOR NAD IZVORIMA IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

Inspekcijski nadzor nad provedbom odredbi Zakona i podzakonskih akata donesenih na temelju Zakona obavljaju inspektori i viši inspektori za radiološku i nuklearnu sigurnost Ministarstva unutarnjih poslova (dalje u tekstu: inspektori).

Poslove inspektora u Ministarstvu unutarnjih poslova mogu obavljati osobe koje su završile sveučilišni diplomski studij iz područja prirodnih, tehničkih i biotehničkih znanosti te iz područja biomedicine i zdravstva, a imenuje ih ravnatelj ministar nadležan za unutarnje poslove.

Protiv prvostupanjskog rješenja koje je donio inspektor nije dopuštena žalba, ali se može pokrenuti upravni spor.

Inspektor ima službenu iskaznicu i značku kojima dokazuje službeno svojstvo, identitet i ovlasti.

U obavljanju inspekcijskog nadzora inspektor je ovlašten fotografirati ili snimiti osobe, pregledati, fotografirati ili snimiti zgrade i druge građevine te sve prostorije i prostore u njima, luke, dokumentaciju, propisane očevidnike, opremu, osobe, sredstva rada i poslovanja koji su podvrgnuti inspekcijskom nadzoru, vozila, poslovne knjige, videozapise, audiozapise, ugovore, isprave i drugu poslovnu dokumentaciju koja omogućuje uvid u poslovanje nadzirane pravne ili fizičke osobe, uzimati izjave odgovornih osoba i iskaze svjedoka, obavljati uzorkovanja, a po potrebi koristiti i usluge istaknutih stručnjaka i pravnih osoba.

Inspekcijski nadzor se provodi u skladu sa stupnjevitim pristupom i godišnjim programom inspekcije za radiološku i nuklearnu sigurnost, uzevši u obzir i dosadašnje rezultate inspekcijskog nadzora koji su provedeni nad odgovarajućom fizičkom ili pravnom osobom.

Inspektor je dužan o provedbi neposrednog inspekcijskog nadzora obavijestiti odgovornu osobu nadzirane pravne osobe i fizičku osobu najkasnije dva dana prije početka inspekcijskog nadzora, ako je dostupna. Iznimno inspektor može obaviti inspekcijski nadzor bez prethodne najave u slučaju postojanja razloga za hitno postupanje, ali je dužan o provedbi neposrednog inspekcijskog nadzora i svojoj nazočnosti obavijestiti odgovornu osobu nadzirane pravne osobe i fizičku osobu.

5. SPECIFIČNI ASPEKTI ZAŠTITE PRI RADU S RENDGENSKIM UREĐAJIMA U DENTALNOJ MEDICINI

Cilj zaštite od ionizirajućeg zračenja je spriječiti nastanak determinističkih učinaka koji su posljedica izlaganja ionizirajućem zračenju i ograničiti pojavu stohastičkih učinaka na najmanju moguću mjeru te osigurati da pri obavljanju djelatnosti kod kojih dolazi do izlaganja ionizirajućem zračenju to izlaganje bude opravdano, odnosno da korist od tog izlaganja uvijek bude veća od štete.

Polazeći od činjenice da se zaštita od ionizirajućeg zračenja zasniva na pretpostavci linearne veze između doze i učinka, gdje ne postoji tako mala doza za koju bi mogli tvrditi da smo apsolutno sigurni, Međunarodna komisija za radiološku zaštitu u Publikaciji 60 (ICRP,1991) preporuča da se uporaba ionizirajućeg zračenja, odnosno sustav radiološke zaštite zasniva na sljedećim načelima:

Opravdanost

Ni jednu djelatnost s izvorima ionizirajućeg zračenja ne smijemo započeti ako nismo sigurni da ćemo polučiti veću korist za izložene pojedince ili društvo od štete koju izloženost može prouzročiti.

Optimizacija

Doza koju primi pojedinac, iz bilo kojeg izvora, broj izloženih osoba, odnosno vjerojatnost izlaganja ionizirajućem zračenju, mora se održavati toliko nisko koliko je razumno moguće, a u skladu s gospodarskim i socijalnim čimbenicima koji se moraju uzeti u obzir. Za ovaj princip često se rabi skraćenica od engleskog *As Low as Reasonably Achievable*, ALARA.

Ograničenje

Odnosi se na ograničenje ozračenja pojedinca s tim da izlaganje pojedinca mora biti niže od zakonom utvrđenih granica. Kao i većina drugih ljudskih zanimanja i profesionalno bavljenje ionizirajućim zračenjem nosi sa sobom određen rizik. U slučaju determinističkih učinaka, apsolutni kriterij prihvatljivosti je doza koja mora biti ispod praga za takve učinke. Nasuprot tome, za stohastičke učinke je, zbog nepostojanja praga, potrebno stvoriti relativne kriterije prihvatljivosti. Ti kriteriji trebaju se zasnivati na usporedbi radiološkog rizika s ostalim rizicima profesionalnog ili javnog života. Nivo sigurnosti na radnim mjestima gdje se koriste izvori ionizirajućeg zračenja treba biti kao na radnim mjestima na kojima se izvori ne koriste, a priznata su kao radna mjesta s visokim stupnjem sigurnosti. Načelo ograničenja doze neprimjenljivo je na pacijente.

Specifični aspekti zaštite pri radu s rendgenskim uređajima u dentalnoj medicini većim dijelom regulirani su sa sljedeća dva pravilnika: [Pravilnik o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja \(NN 53/18\)](#) kojim se utvrđuju uvjeti kojima moraju udovoljavati rendgenski uređaji, akceleratori i drugi električni uređaji koji proizvode ionizirajuće zračenje te prostor i postrojenja u kojima su isti smješteni ili se koriste, zaštitna oprema i osobna zaštitna oprema te način, opseg i rokovi mjerenja propisanih parametara i provjere kvalitete rendgenskih uređaja, akceleratora i drugih električnih uređaja koji proizvode ionizirajuće zračenje, provjere ispravnosti osobnih zaštitnih sredstava i opreme, provjere ispravnosti mjernih uređaja, kao i sadržaj programa osiguranja kvalitete te [Pravilnik o uvjetima za primjenu izvora ionizirajućeg zračenja u svrhu medicinskog i nemedicinskog ozračenja \(NN 42/18\)](#) kojim se propisuju uvjeti, način i mjere zaštite:

- osoba izloženih ionizirajućem zračenju tijekom primjene izvora ionizirajućeg zračenja u dijagnostičke ili terapijske svrhe,
- osoba ozračenih u sklopu zdravstvenog pregleda za radno mjesto,
- osoba ozračenih u sklopu sustavnog pregleda,
- osoba koje dragovoljno sudjeluju u medicinskim i biomedicinskim, dijagnostičkim ili terapijskim, istraživačkim programima koji uključuju uporabu izvora ionizirajućeg zračenja,
- osoba ozračenih u sklopu medicinsko-pravnih postupaka te
- osoba koje svjesno i dragovoljno pridržavaju i pomažu pacijentima tijekom dijagnostičkih ili intervencijskih pregleda ili postupaka u medicini i dentalnoj medicini uporabom izvora ionizirajućeg zračenja.

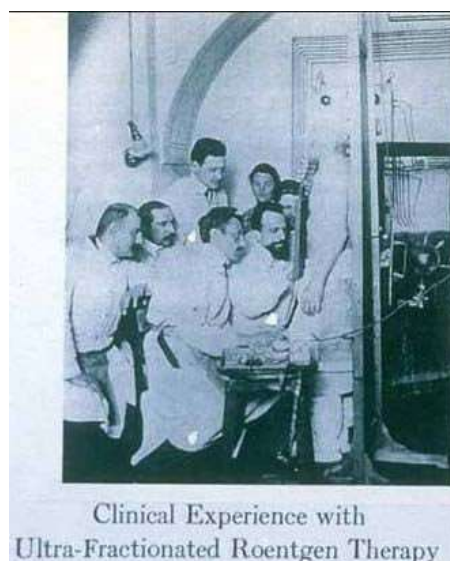
5.1. VRSTE I TIPOVI RENDGENSKIH UREĐAJA KOJI SE KORISTE U DENTALNOJ MEDICINI

W.C.Röntgen (1845-1923) je 1895. otkrio do tada nepoznato zračenje. U zamračenoj prostoriji on je Crookesovu cijev potpuno omotao u fotografski crni papir kako bi se bolje vizualizirao učinak katodnih zraka na cijevi. Slučajno je ploča sa slojem barijeva platinocijanida, tvari koja fluorescira, bila odložena na stolu nedaleko Crookesove cijevi. Zbog tamnog omotača iz cijevi nije mogla izaći vidljiva svjetlost, ali je tijekom pokusa Roentgen opazio da ploča fluorescira bez obzira na udaljenost od Crookesove cijevi. Intenzitet fluoresciranja se pojačavao s približavanjem ploče bliže cijevi te je bilo nesumnjivo podrijetlo uzroka fluoresciranja. Tako je otkrio rendgensko zračenje (u početku zvane x zrakama) i istražio njegova svojstva (ionizira zrak, prodire kroz tvari, ne otklanja se u električnom i magnetskom polju, eksponira film, na tkivu stvara opekline). Otkriće je objavio u Nature, Jan. 23 1896 i Science, Feb.14 1896. Već u siječnju 1896. napravljena je prva snimka šake (slika 1).



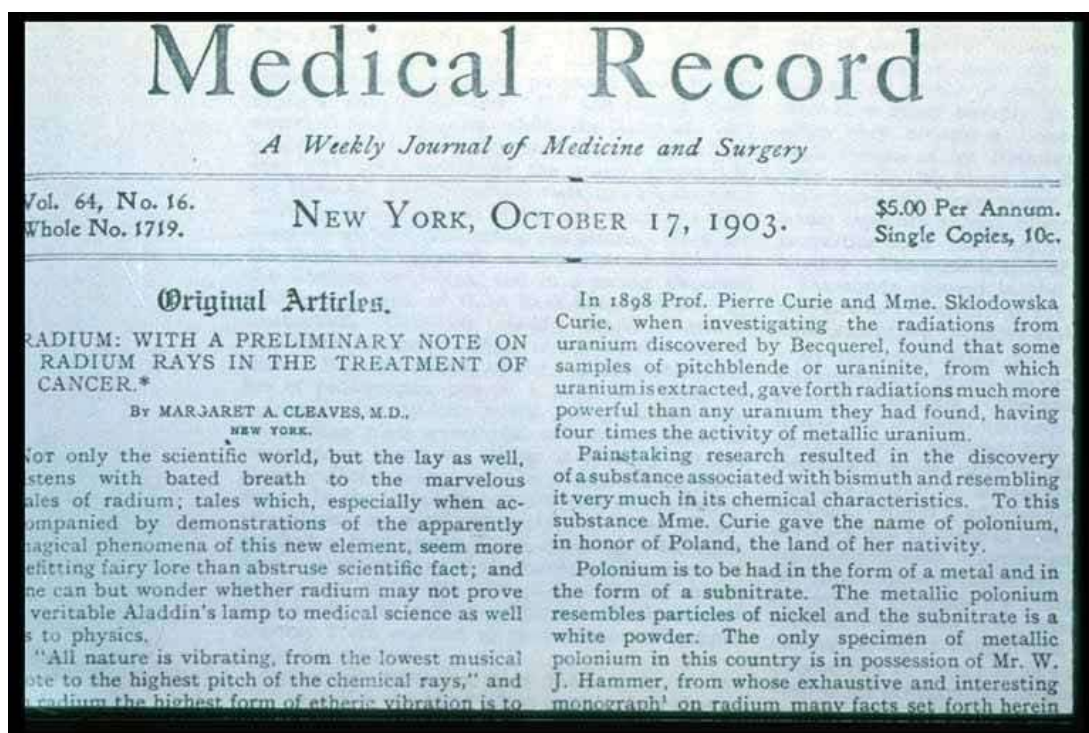
Slika 1. Snimka šake koju je napravio Rendgen 1896. godine

Gotovo odmah je prepoznata mogućnost uporabe rendgenskog zračenja u medicini za dijagnostiku, a poslije i za terapiju (Slika 2).



Slika 2. Prve terapije rendgenskim zrakama. Preuzeto s www.iaea.org

U počecima primjene rendgenskog zračenja vrlo malo pažnje pridavalo se mogućim štetnim učincima (jer je korist pri primjeni u medicini bila velika) (Slika 3).



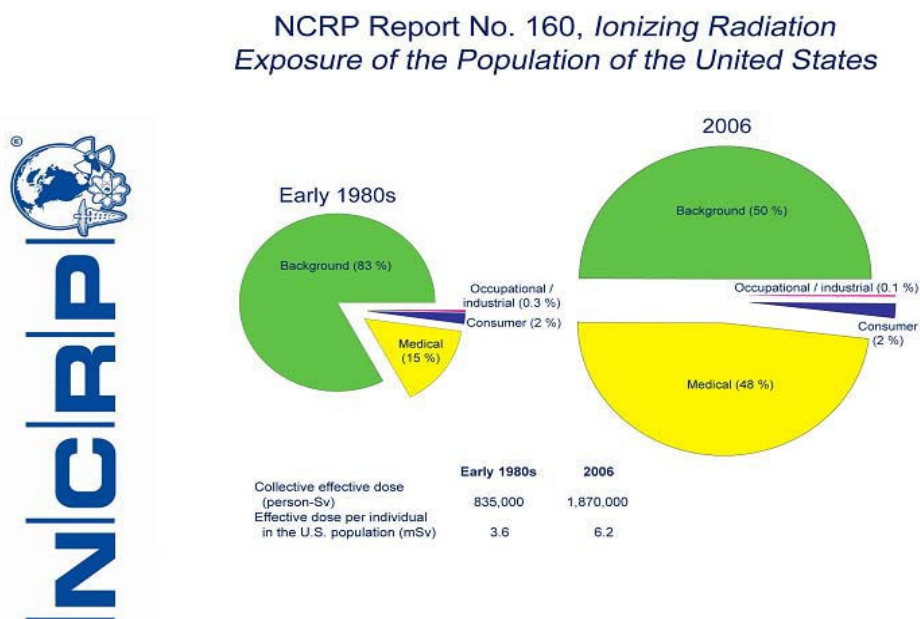
Slika 3. Opis rendgenskog zračenja u medicinskom časopisu iz 1903. godine kao 'Aladinova lampa u medicinsku znanost' i 'magični fenomen'.

Zbog toga je trebalo gotovo 30 godina za definiranje prve fizikalne jedinice za mjerenje zračenja. Do tada se koristila biološka jedinica 1 SED (SED, *skin erythem dose*), kao doza koja uzrokuje erythemu kože. Tek 1928. godine Međunarodna komisija za radiološke mjere i jedinice (*International Commission for radiation units*, ICRU) godine definirala je jedinicu koja se zasniva na svojstvu ionizacije,

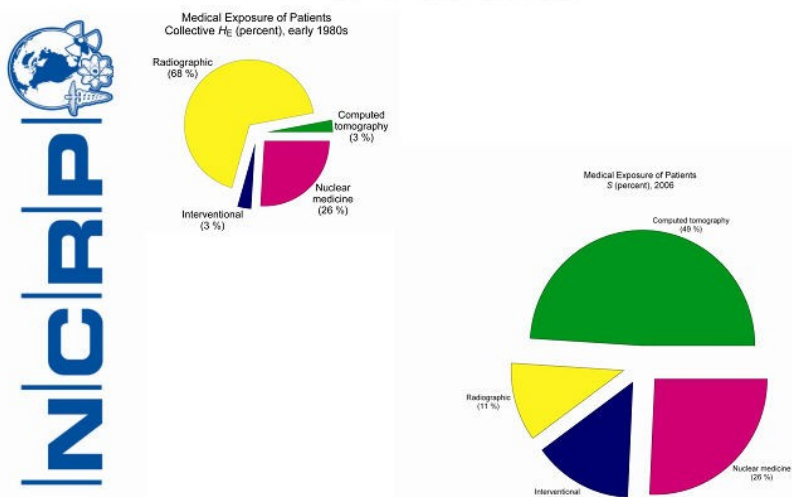
expozicija (X). Ekspozicija (X) je definirana kao naboj (dQ) koji je stvoren ionizacijom u masi zraka (dm) kroz koju prolazi rendgensko zračenje:

$$X = \frac{dQ}{dm}, \text{ s jedinicom Rendgen (danas, u SI sustavu, C/kg).}$$

U zadnje vrijeme dolazi do ubrzanog rasta broja postupaka u kojima se koristi rendgensko zračenje u medicini, ponajviše zbog sve veće dostupnosti i sve većih mogućnosti uređaja. Na slici 4 prikazan je porast medicinskog ozračenja i uporabe CT uređaja u Sjedinjenim Američkim Državama u zadnjih 20 godina.



Comparison of Medical Exposures of Patients

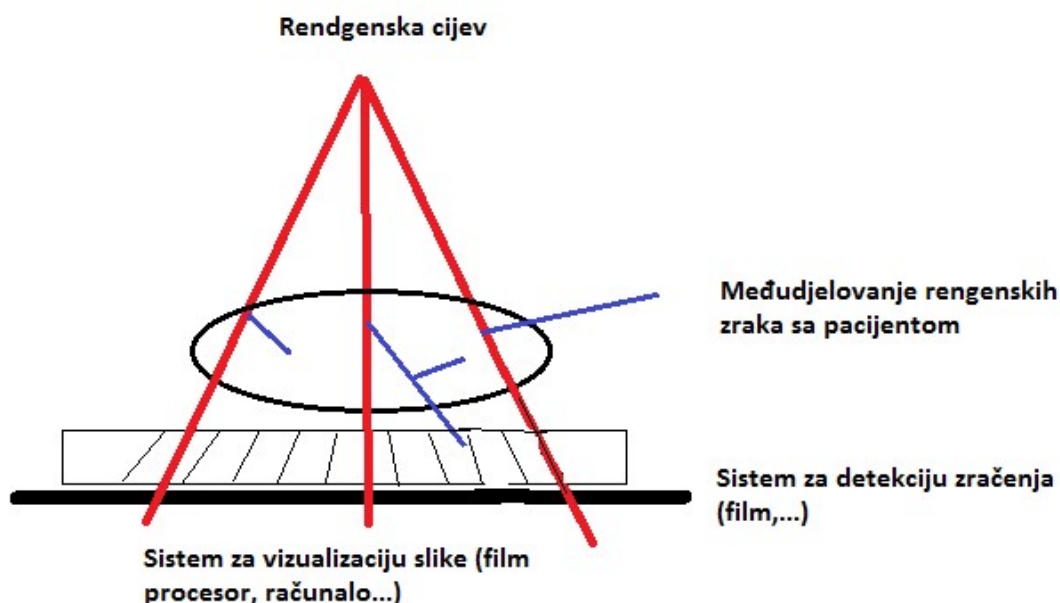


Slika 4. Početkom 80-ih godina prošlog stoljeća u SADa ozračenje prosječnog stanovnika od umjetnih izvora ionizirajućeg zračenja bilo je 15% ukupnog ozračenja. 2006. godine ovo ozračenje doseglo je 50% (slika gore). Preko 95% tog ozračenja je medicinsko ozračenje. Ovaj rast s 0,5 mSv na 3 mSv

godišnje, većinom je uzrokovan porastom broja CT pregleda (slika dolje). Podaci su preuzeti iz NCRP Reporta 160,

Medicinski cilj, isto kao i cilj zaštite od ionizirajućeg zračenja je upotrijebiti rendgensko zračenje na način da se dobije dovoljno dobra dijagnostička informacija, uz što je manje moguće ozračenje radnika i pacijenata. Sam nastanak, način korištenja i detekcija rendgenskog zračenja je vrlo važan za zaštitu od ionizirajućeg zračenja u medicini. Fizikalna načela na osnovi kojih radi dijagnostika rendgenskim zračenjem možemo podijeliti na tri dijela koja su važna za dobivanje dijagnostičke informacije te zaštitu pacijenta i radnika (Slika 5):

1. Rendgenska cijev s filterima i kolimatorom koji usmjerava rendgenski snop pravih svojstava na pacijenta;
2. Međudjelovanje rendgenskog zračenja s materijalima kroz koje prolazi što rezultira dijagnostičkom informacijom;
3. Sistem za detekciju rendgenskog zračenja i vizualizaciju dijagnostičke informacije.



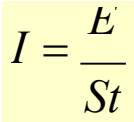
Slika 5. Fizikalna načela i dijelovi sistema za dijagnostiku rendgenskim zračenjem.

5.1.1. Rendgenska cijev s filterima i kolimatorom koji usmjerava rendgenski snop pravih svojstava na pacijenta

Na Slici 6 prikazana je shema rendgenske cijevi.

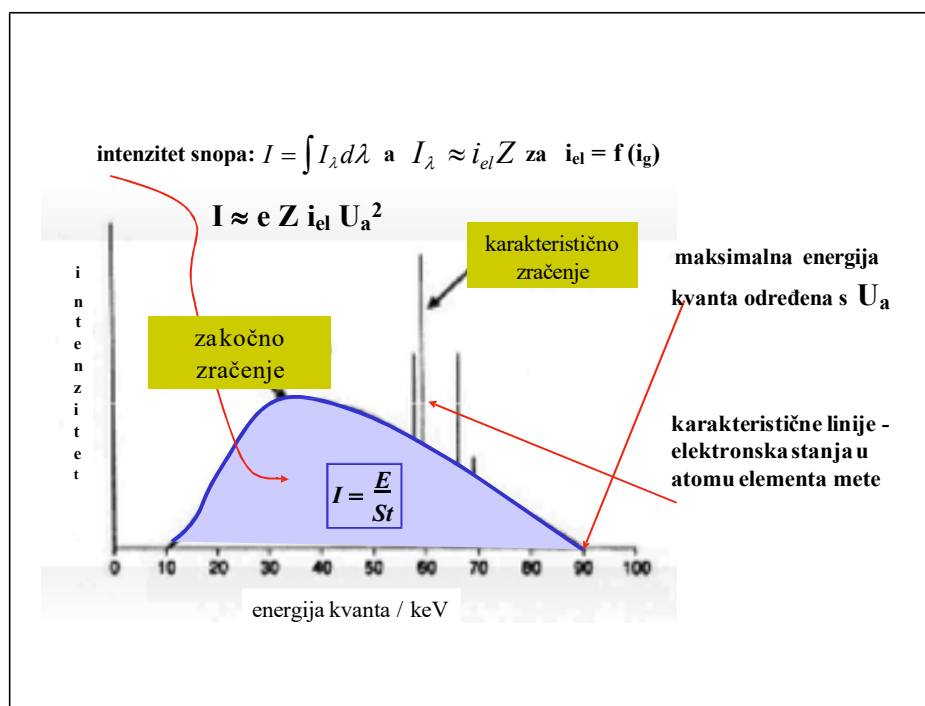
Rendgensko zračenje nastaje u rendgenskoj cijevi koja je pojednostavljeno prikazana na Slici 6. Rendgenska cijev se uvijek sastoji od dvije elektrode: negativne (katoda) i pozitivne (anoda). Elektroni nastaju emisijom iz zagrijane žarne niti katode. Broj stvorenih elektrona ovisi o temperaturi katode i vrsti materijala od kojeg je katoda (veći Z, veća temperatura => veći intenzitet snopa). Danas su katode najčešće izrađene od wolframa ($Z_{W}=74$). Elektroni potom ulaze u jako električno polje između katode i anode i pod utjecajem električnog polja se ubrzavaju. Rendgenska cijev mora biti zrakoprazna (s visokim vakuumom) kako se elektroni ne bi sudarali s molekulama zraka i raspršivali

- zakočno zračenje (bremsstrahlung)
- Karakteristično zračenje materijala mete



Zakočno zračenje nastaje „sudaranjem“ elektrona s atomima anode. Elektroni tada gube svoju kinetičku energiju koja se većinom pretvara u toplinu koja zagrijava anodu i potrebno ju je hladiti. Oko 1% energije se nastavlja širiti kroz prostor elektromagnetskim valovima s frekvencijom (energijom) rendgenskog zračenja. Elektroni „sudarima“ s atomima mete ne moraju izgubiti svu energiju odjednom, nego mogu izgubiti bilo koji dio energije. Na slici 7 prikazan je energijski spektar rendgenskog zračenja elektrona ubrzanih naponom između anode i katode 90 kV. Elektroni koji dođu do anode imaju energiju 90 keV (1 eV = 1 elektron volt, tj. energija koju dobije jedan elektron ubrzanjem u električnom polju kad pređe razliku napona od 1 volt (1 eV = $1,6 \times 10^{-19}$ J)). Nastalo elektromagnetsko zračenje može imati bilo koju energiju do 90 keV.

51



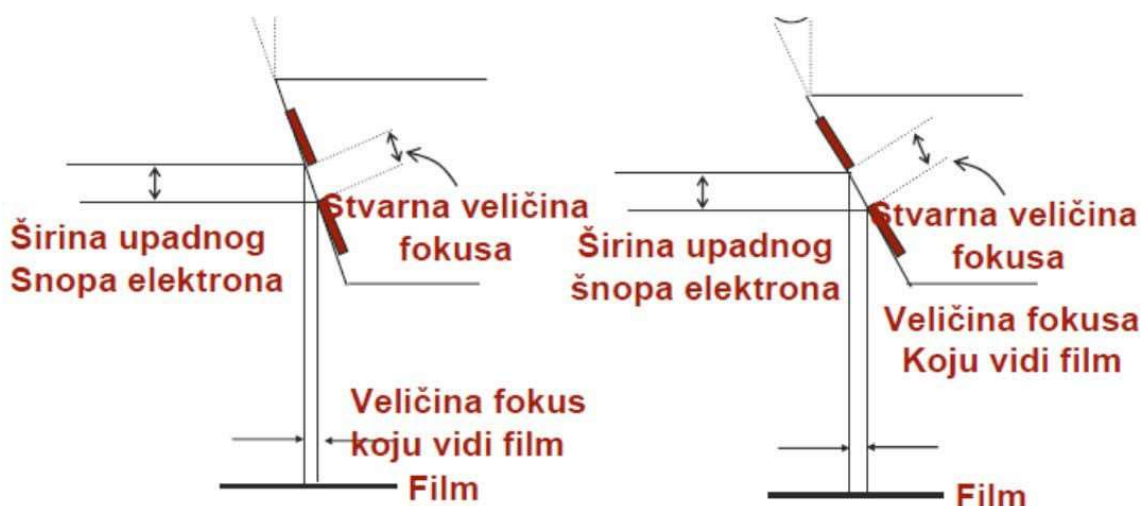
Slika 7. Energijski spektar rendgenskog zračenja. Preuzeto iz J.Br njas-Kraljević: Struktura materije i medicinska dijagnostika, Medicinska knjiga 2001.

Obzirom na to da se snop rendgenskog zračenja koji je nastao sastoji od fotona različitih energija (Slika 7), ne možemo govoriti o energiji rendgenskog snopa nego samo o kvaliteti zračenja, odnosno naponu (kVp) kojim se ubrzavaju elektroni. Kako je već opisano u poglavlju fizika zračenja, rendgensko zračenje opada eksponencijalno prolaskom kroz materijal i ne možemo definirati debljinu materijala koje će ga u potpunosti zaustaviti, nego samo debljinu materijala koje će zaustaviti pola intenziteta zračenja, poludebljinu apsorpcije, HVL (od engl. *Half Vale Layer*). U Tablici 1 dane su poludebljine apsorpcije za različite kvalitete rendgenskog zračenja i štitove izrađene od betona i olova.

Kvaliteta zračenja	HVL (mm)	
	Beton	Olovo
50 kVp	4.3	0,06
100 kVp	10,6	0,27
200 kVp	25	0,52
500 kVp	36	3.6
1 MVp	44	7.9
2 MVp	64	12.5
5 MVp	96	16.5
10 MVp	119	16.6
20 MVp	137	16.3

Tablica 1. Poludebljina apsorpcije (HVL) za različite kvalitete rendgenskog zračenja

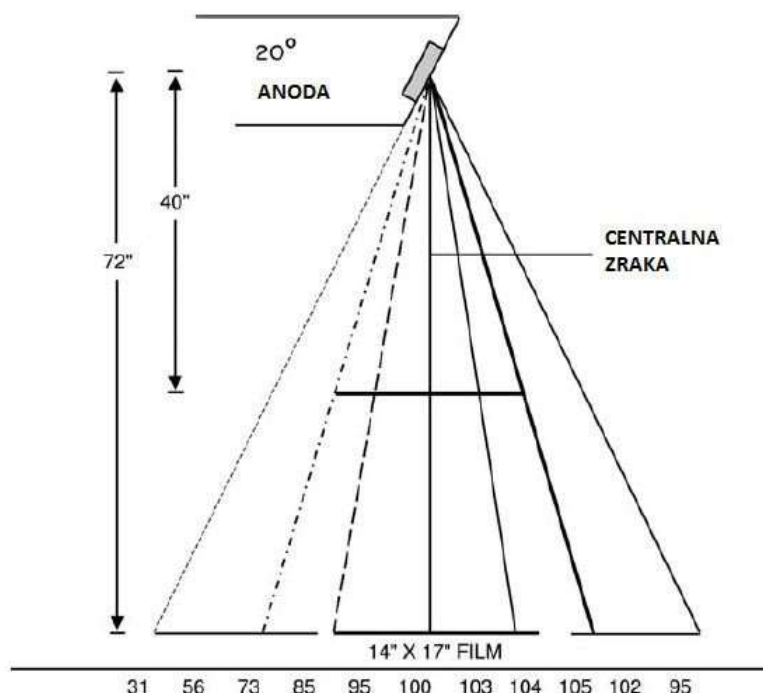
Anoda je u rendgenskoj cijevi najčešće napravljena od materijala s visokim atomskim brojem kako bi bila što efikasnija u zaustavljanju elektrona koji dolaze od katode. Najčešće su to volfram, renij ili molibden. Zbog velike topline koja se oslobađa u ovim „sudarima“ anoda rotira kako se ne bi rastalila. Također se pri izboru materijala od kojeg se izvodi anoda mora paziti na temperaturu taljenja (temperatura taljenja volframa je 3400 °C). Kako bi polusjena na radiološkoj snimci bila što manja, anoda, koja je zapravo izvor i žarište rendgenskog snopa, treba biti što manja. Tako se veličina žarišta anode od 0,1 do 0,5 mm (malo žarište) koristi kad je potrebna visoka rezolucija slike (npr. pri radiografijama pluća i koštanog sustava), dok se veliko žarište (1 do 1,5 mm) koristi pri dijaskopijama ili drugim pretragama s velikim opterećenjem rendgenske cijevi. Obzirom da želimo usmjeriti što veći dio nastalog rendgenskog zračenja prema pacijentu, anoda se izvodi pod kutom u odnosu na snop (slika 6). Na taj način je velika površina anode izložena elektronima, uzrokujući raspodjelu topline na veliku površinu, ali se povećanjem kuta površine anode u odnosu na upadni snop elektrona smanjuje veličina žarišta koju 'vidi' film, odnosno povećava se rezolucija dok je i dalje ista površina anode izložena elektronima (slika 8).



Slika 8. Postavljanje anode u snop elektrona pod kutom kako bi što veća površina anode bila izložena elektronima, ali je žarište (koje vidi film) vrlo malo.

Ovakva izvedba anode ima i lošu stranu, takozvani 'heel' efekt, odnosno opadanje intenziteta rendgenskog snopa u ravnini okomitoj na prostiranje snopa, u smjeru anode (Slika 9).

'Heel' efekt je uzrokovan povećanom apsorpcijom zračenja u samom materijalu anode i tim je veći čim je veći kut anode u odnosu na upadni snop elektrona. Intenzitet zračenja svakako opada od centralne zrake prema rubovima zbog razlike u udaljenosti, ali 'heel' efekt prevladava ovaj efekt. Jasno je da će u slučaju snimanja homogenog tkiva stalne debljine izlazni snop biti nehomogen i umanjiti kvalitetu slike.



Slika 9. Prikaz 'heel' efekta zbog zakrivljenja anode u odnosu na snop elektrona.

Međutim, u slučaju nehomogenog tkiva ili tkiva nejednake debljine možemo 'heel' efekt iskoristiti postavljajući deblji ili radiološki gušći dio tkiva na stranu katode kako bi kroz takvo tkivo prolazio dio snopa većeg intenziteta.

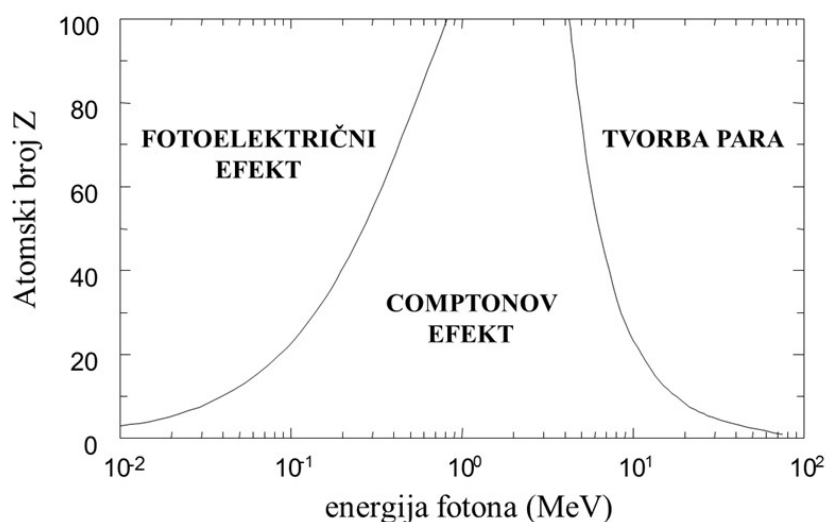
Dakle, za proizvodnju rendgenskog zračenja potrebna je rendgenska (zrakoprazna) cijev na koju je doveden visoki napon i izvor elektrona u njoj. Napon može iznositi više stotina kV, ali u rendgenskoj dijagnostici koriste se naponi do 150 kV. Struja elektrona izražena u miliamperima (mA) ovisi o tehnici pregleda: od 1-5 mA tijekom dijaskopije do 1000 mA pri radiografiji. Što je veće ubrzanje, odnosno što je veći napon, stvaraju se fotoni s većom energijom, tj. 'tvrđi' fotoni koji su prodorniji od fotona s malom energijom (Tablica 1). Intenzitet zračenja se podešava promjenom jakosti struje grijanja na katodi, odnosno brojem proizvedenih elektrona. Nastali snop fotona se fokusira oblikom anode, ali ipak se fotoni šire na sve strane. Zbog toga je kućište rendgenske cijevi izrađeno od materijala koje je slabo propusno za rendgensko zračenje (dopušteno je zračenje kroz kućište, *leakage radiation*, 1 mGy/h na 1 m udaljenosti od cijevi uz maksimalno opterećenje cijevi). Korisni snop rendgenskog zračenja propušta se kroz prozor na kojem nema zaštite, a ograničen je kolimatorom kojim se usmjerava snop i ima mogućnost promjene veličine prozora, pa tako i snopa.

Za fotone male energije postoji velika vjerojatnost međudjelovanja s materijalima kroz koje prolaze. To znači da će takvi fotoni prilikom prolaska rendgenskog snopa kroz pacijenta vrlo vjerojatno predati energiju pacijentu, povećavajući ozračenje pacijenta, a neće doći do detektora. Dakle, fotoni malih energija su nepoželjni i zbog toga se u snop prije ulaska u pacijenta ugrađuju filteri koji iz snopa odstranjuju fotone malih energija. Prema propisima važećim u Republici Hrvatskoj, snopovi kvalitete do 70 kVp moraju biti filtrirani s 1,5 mm Al, do 100 kVp, 2 mm Al i preko 100 kVp s najmanje 3 mm Al.

5.1.2. Međudjelovanje rendgenskog zračenja s materijalima kroz koje prolazi što rezultira dijagnostičkom informacijom

Na slici 5 prikazan je način nastanka radiološke snimke. Pri prolazu rendgenskog zračenja kroz tvar, pa i kroz živu tvar, apsorpcija, uz mnoge druge faktore, ovisi o gustoći i sastavu te tvari, te o energiji rendgenskog snopa. U tvari različite gustoće (kosti, mišići, tjelesne šupljine, ...) rendgensko zračenje različito se apsorbira, ovisno o koeficijentu apsorpcije. Dakle, na izlazu iz objekta (pacijenta) rendgensko zračenje nosi plošnu sliku intenziteta koji odražavaju put kroz koji su prošli, odnosno prosječan koeficijent apsorpcije. Ako rendgensko zračenje ozrači film ili detektor bilo koje druge vrste, na njima nastaje slika koja pokazuje raspored većih ili manjih intenziteta zacrnjenja. Analizom tih zacrnjenja mogu se razlučiti organi i tkiva. Informaciju o tkivu nose samo primarni fotoni. Fotoni koji su međudjelovali s tkivom izgubili su dio energije, pa se povećava vjerojatnost da će se apsorbirati u tkivu povećavajući ozračenje pacijenta. Osim toga, takvi fotoni su promijenili smjer, te će ozračiti okolinu ili ostaviti trag na detektoru koji neće dati pravu informaciju. Isto tako može se stvoriti i dodatni raspršni foton koji će također ozračiti pacijenta, okolinu ili dati krivu informaciju na detektoru. Kako bi na detektor došli samo primarni fotoni, iza pacijenta se postavlja rešetka koja sprječava put raspršenim fotonima. S druge strane, rešetka apsorbira dio zračenja te je potreban veći ulazni intenzitet snopa kako bi dovoljno zračenja doprlo do detektora što povećava ozračenje pacijenta. Ako koristimo snopove koji ozračuju mali volumen, tada je manje raspršnog zračenja i nema potrebe za rešetkom (npr. pedijatrijska radiografija).

Međudjelovanje rendgenskog zračenja s pacijentom događa se najviše fotoelektričnim ili Comptonovim efektom, ovisno o energiji snopa i materijalu kroz koji snop prolazi (Slika 10).

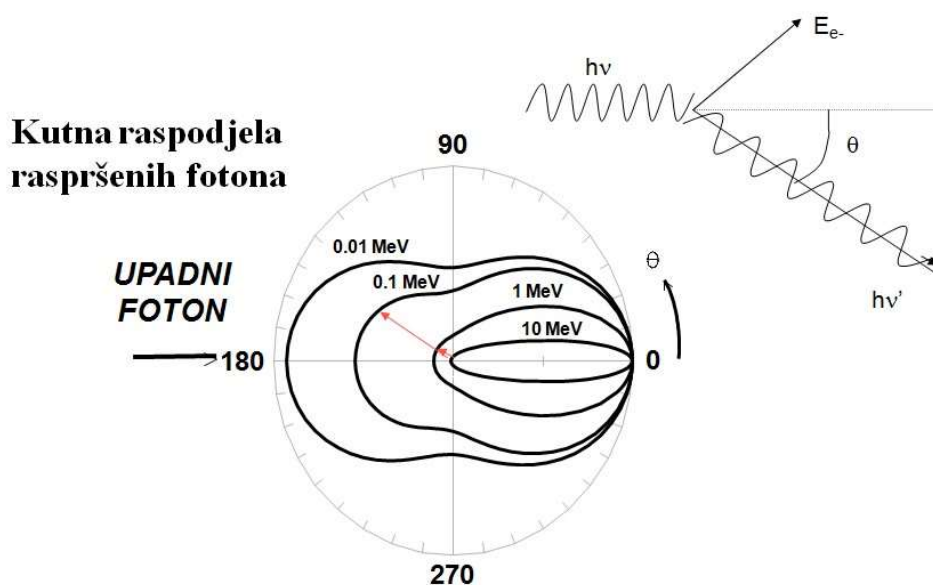


Slika 10, Međudjelovanje fotona s tvari: ovisnost o energiji i atomskom broju

Fotoelektrični efekt je dominantan za male energije i materijale visokog rednog broja (Z), ne stvara se puno raspršnog zračenja i slika je u tim slučajevima vrlo oštra. Međutim, zbog male energije rendgenskog snopa, vrlo mali dio zračenja dolazi do detektora i apsorbira se u pacijentu. Zbog toga se upotrebljavaju veće energije, pa do izražaja dolazi Comptonov efekt (Slika 11). Tako dolazi do više raspršenja te se na slici povećava šum, ali je ozračenje pacijenta manje jer više fotona dolazi do detektora. Daljnjim povećavanjem energije rendgenskog snopa smanjuje se vjerojatnost međudjelovanja fotona i tvari, čime se dodatno smanjuje ozračenje pacijenta i okoline te smanjuje šum na slici, ali se tako smanjuje i kontrast. Zapravo je svaka izabrana tehnika oslikavanja kompromis dobre slike i ozračenja pacijenta.

Primjer: Rendgenski snop kvalitete 80 kVp prolazi kroz tkivo debljine 0,5 cm i koeficijenta apsorpcije $0,34 \text{ cm}^{-1}$. Dio fotona koji će biti apsorbiran u tom tkivu je približno: $0,5 \cdot 0,34 = 17\%$. Ako povećamo napon na rendgenskoj cijevi na 100 kVp apsorpcijski koeficijent se smanji na $0,161 \text{ cm}^{-1}$ i iz ovakvog snopa će biti apsorbirano približno 8% fotona. Ovo znači dvostruko manji kontrast za snop većeg napona (i energije fotona). S druge strane, snop 100 kVp je puno prodorniji i potrebna je puno manja ulazna doza kako bi dobili dovoljnu dozu na detektoru. To znači da će za snop veće energije ozračenje pacijenta biti manje.

Uz to, pri Comptonovom efektu nastaju raspršeni fotoni čiji je smjer gotovo jednoliko raspršen u svim smjerovima za snopove kvalitete koji se koriste u radiologiji (Slika 11). To znači da u svakoj točki pacijenta kroz koju prolazi rendgenski snop dolazi do raspršenja fotona jednoliko na sve strane. Kako je na ulasku u pacijenta intenzitet snopa najveći i opada eksponencijalno, tako je i raspršenje najveće na ulasku u pacijenta i opada kako opada i intenzitet snopa (eksponencijalno).



Slika 11. Kutna raspodjela raspršenih fotona nakon Comptonovog efekta u ovisnosti o energiji.

5.1.3. Sistem za detekciju rendgenskog zračenja i vizualizaciju snimke

Raspodjela intenziteta rendgenskog snopa na izlazu iz pacijenta ovisi o razlikama tkiva kroz koja je snop prošao i upravo ta informacija se vizualizira detektorima zračenja. Detektor zračenja je bilo koji materijal koji se mijenja kada je izložen ionizirajućem zračenju:

- Promjena boje
- Kemijske promjene
- Emisija svijetlosti
-

Dijelimo ih na aktivne detektore (direktno očitavanje promjene) i pasivne detektore (obrada detektora prije očitavanja).

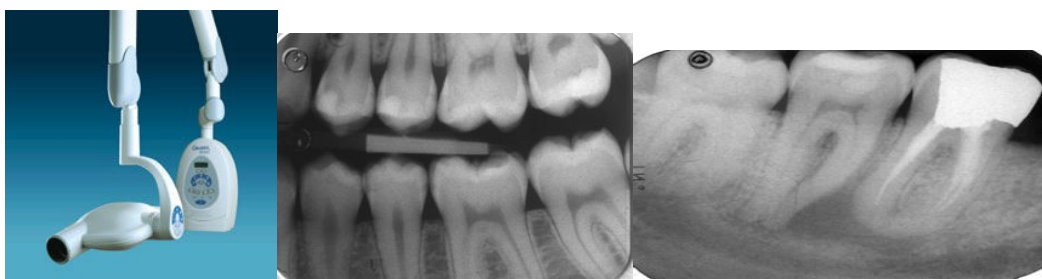
Najčešće se u dijagnostici još uvijek koristi kemijski detektor, film. Obzirom da je film slabo osjetljiv na ionizirajuće zračenje, koristi se u kombinaciji s fluorescentnom folijom. Najveći problem korištenja filma je održavanje stalne kvalitete snimke prilikom procesa razvijanja. Tako su sve češće u uporabi poluvodički detektori čija je osnovna prednost laka pretvorba u digitalni zapis čime je omogućena vizualizacija pomoću računala što znači jednostavniji način rada, povećana brzina rada i lakše čuvanje

zapisa. Digitalni detektori su ograničene rezolucije, ali to nadomještaju povećanim kontrastom te računalnom manipulacijom snimkom i polako preuzimaju glavnu ulogu u radiološkoj dijagnostici. Međutim, treba naglasiti da je poznavanje mogućnosti detektora i sredstava za vizualizaciju snimke i njihovih ograničenja iznimno važno za pravilnu interpretaciju mjerenja (u ovom slučaju radiološke snimke).

5.1.4. Vrste dentalnih rendgenskih uređaja

Dijagnostičke rendgenske uređaje koji se koriste u dentalnoj medicini prema namjeni možemo podijeliti na:

- uređaji za pojedinačno snimanje zubi (slika 12) (odnosno *intraoralni* (bitewing, periapical and occlusal))



Slika 12. Rendgenski uređaj za pojedinačno snimanje zubi.

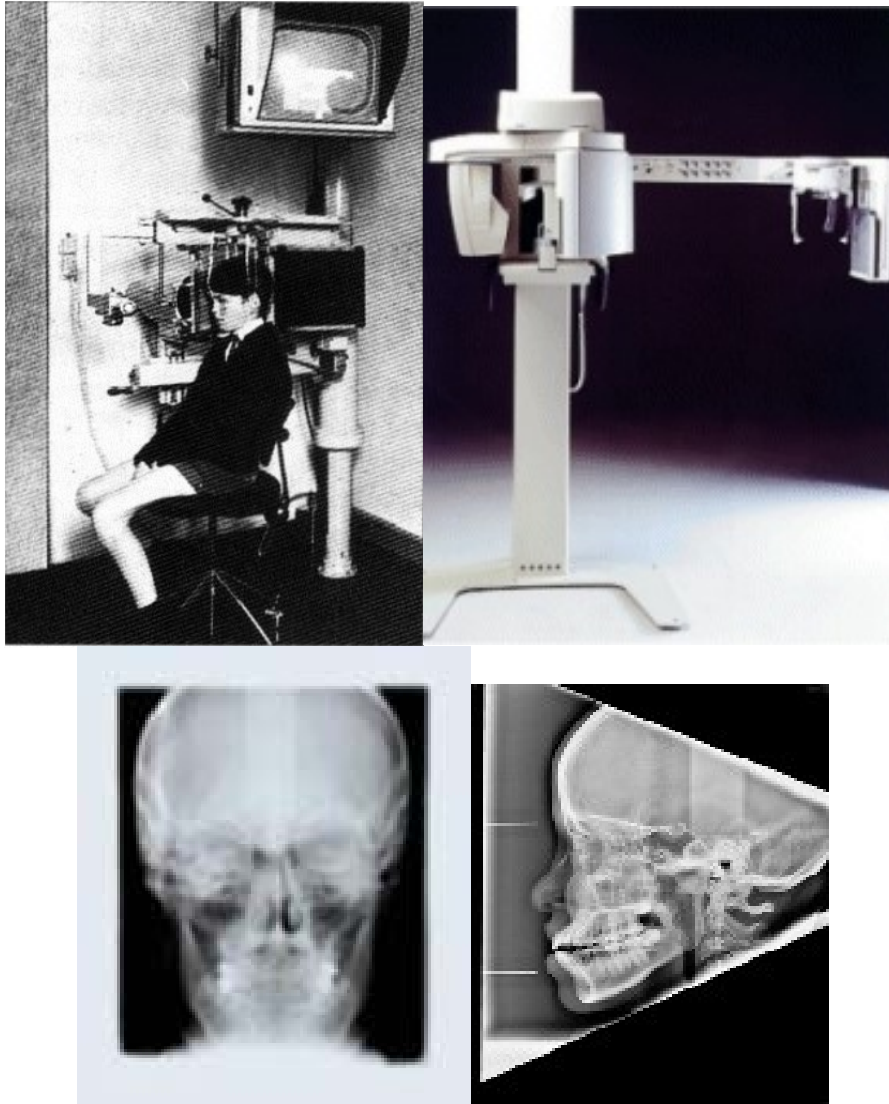
- uređaji za panoramsko snimanje čeljusti (slika 13) (daje panoramsku sliku svih zuba obje čeljusti)



Slika 13. Rendgenski uređaj za panoramsko snimanje zubi.

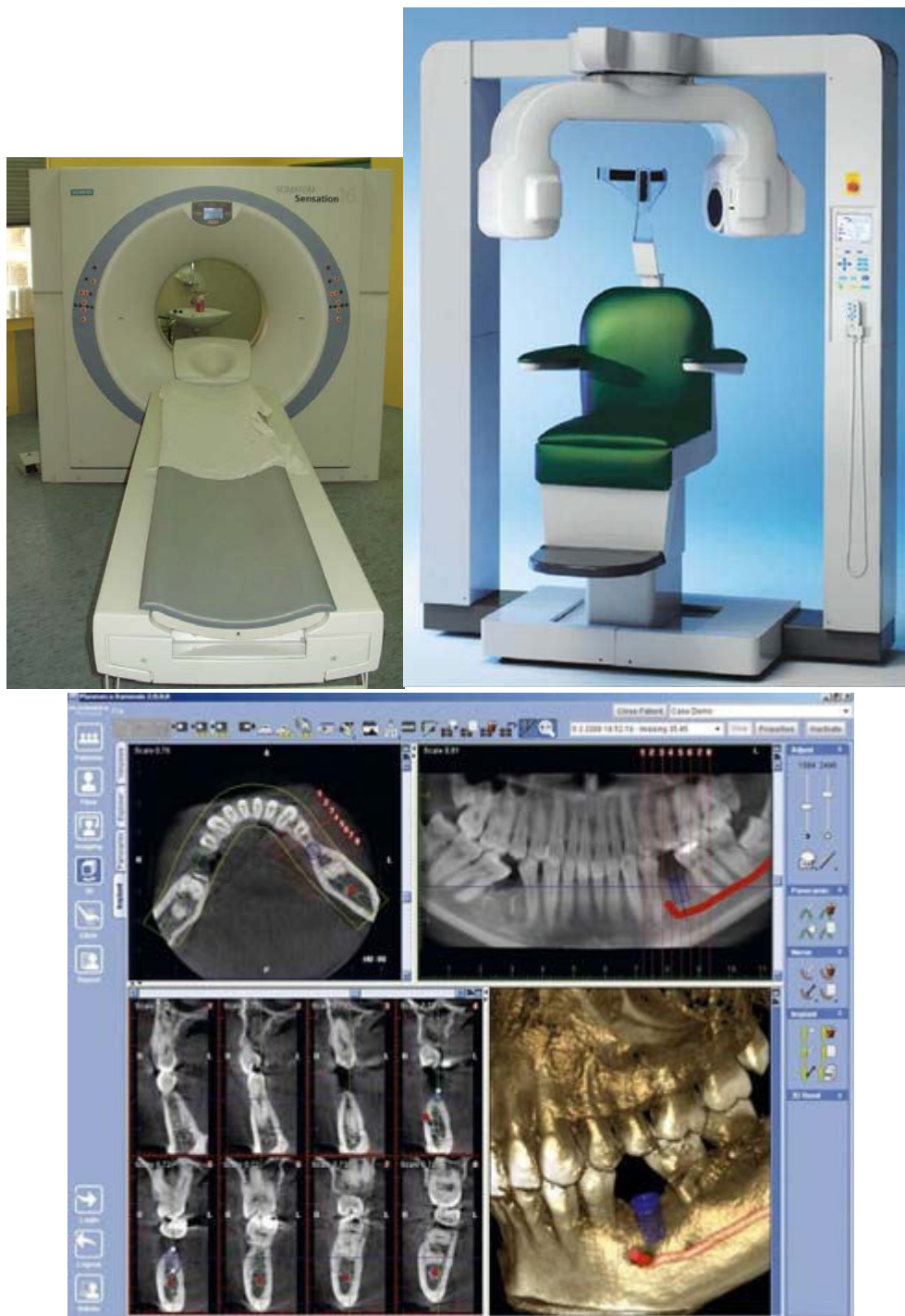
- uređaji za kefalometriju (slika 14)

Kefalometrija (grč. *Κεφαλό*=glava i *μέτρον*=mjerenje) ili kefalometrijska radiografija (eng. *cephalometric radiography*) je standardizirana metoda izrade radiografskih snimki glave koje se mogu koristiti za mjerenja kranija i orofacijalnog kompleksa. Snimka koja je rezultat ovog postupka naziva se kefalogram (slika 14).



Slika 14. Rendgenski uređaj za kefalometriju.

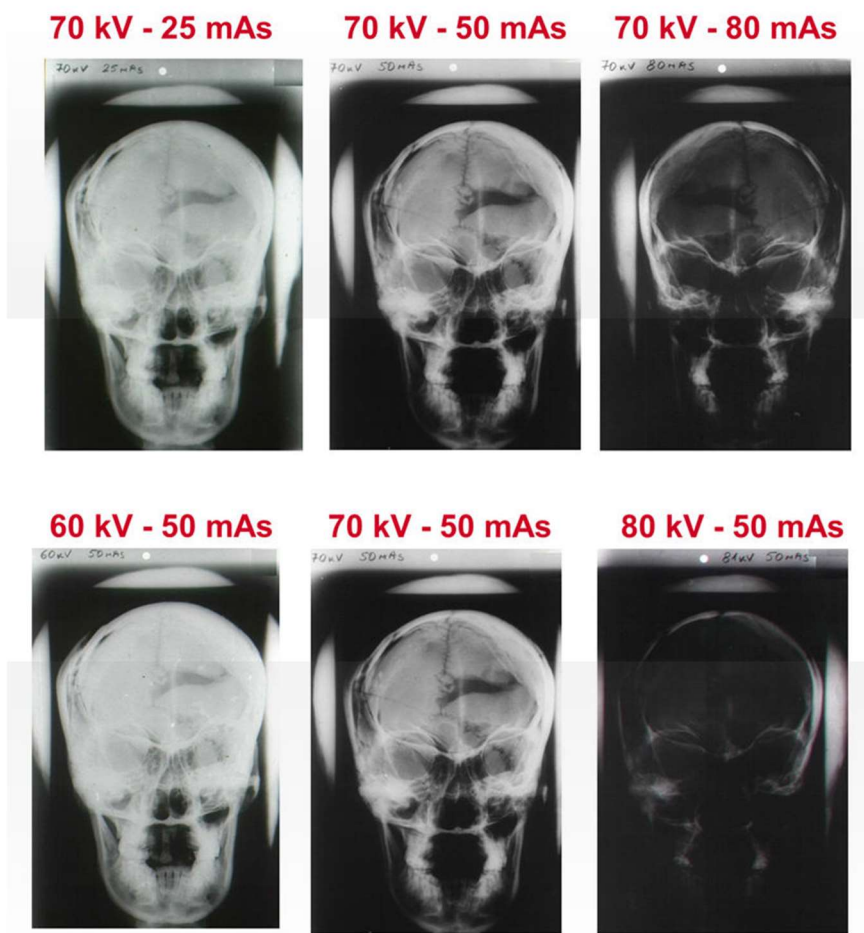
- uređaji za kompjutoriziranu tomografiju i cone-beam CT (CBCT) (slika 15) (uređaji kojima je moguće snimati slojeve tijela te je omogućen volumni prikaz). Kompjutoriziranu tomografiju (slika 15. lijevo) moguće je koristiti i u dentalnoj medicini, ali sve više su u uporabi namjenski CT uređaji - dentalni CBCT (slika 15. desno).



Slika 15. Kompjutoriziranu tomografiju (lijevo) moguće je koristiti i u dentalnoj medicini, ali sve više su u uporabi namjenski CT uređaji - dentalni CBCT (desno).

Svi uređaji rade na prethodno opisan način, dakle rendgenski snop proizveden u rendgenskoj cijevi prolazi kroz pacijenta i detekcijom izlaznog snopa analiziramo razlike u apsorpcijskim svojstvima tkiva.

Samim izborom napona rendgenske cijevi (kVp) i struje (mAs) možemo značajno utjecati na kvalitetu slike (Slika 16 i slika 17), a samim time i na ozračenje pacijenta i osoblja.



Slika 16. Promjenom struje uz isti napon mijenjamo kvalitetu slike, ali i povećavamo intenzitet zračenja, odnosno više zračenja dolazi do detektora (gore). Promjenom napona, uz istu struju, snop rendgenskog zračenja je prodorniji i više fotona dođe do detektora (dolje).

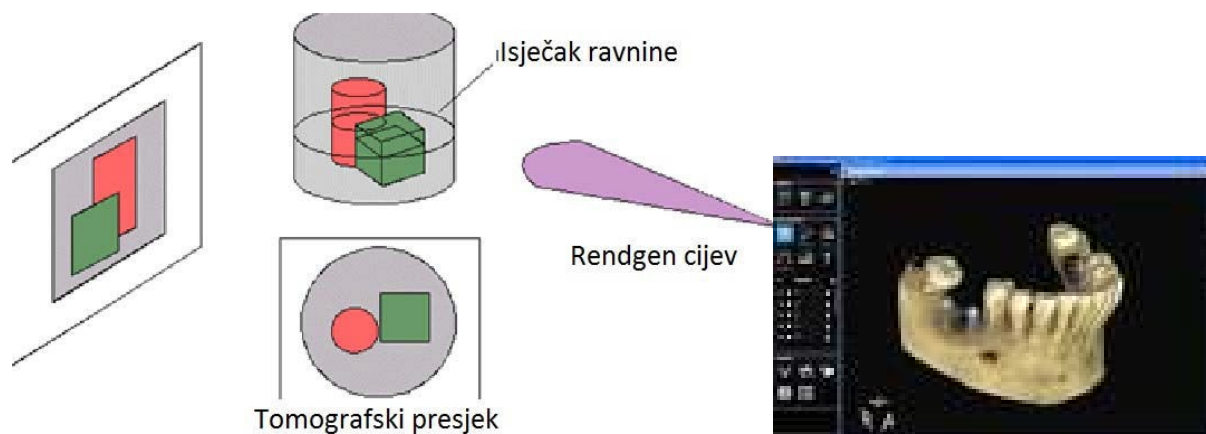


Slika 17. Prikaz kako izborom napona (kVp) i struje (mAs) možemo utjecati na kvalitetu slike i ozračenje. Na slici je prikazana snimka s prevelikom strujom (mAs) što rezultira teškom vidljivošću finih detalja, karijes je teže detektirati.

Tijekom godina tehnologija je napredovala te samim tim i izvedbe rendgenskih cijevi i detektora. Primjer je uporaba digitalnih detektora koja omogućuje vizualiziranje struktura te manipulaciju snimkom ili matematičku obradu nekoliko snimki radi sinteze u jednu dijagnostičku informaciju

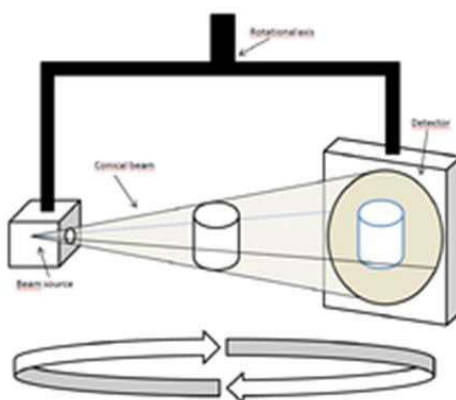
(kompjutorizirana tomografija), ubrzani način rada, lakše spremanje i prijenos dijagnostičke informacije te manje problema s razvijanjem filma koje je unosilo najviše nesigurnosti u dijagnostici rendgenskim zračenjem.

Kompjutorizirana tomografija koristi višestruke snimke određene anatomije iz čega je moguće izračunati volumnu raspodjelu apsorpcijskih koeficijenata tkiva te ih prikazati nijansama sivila (slika 18). Kako se radi o računici koju je moguće dovoljno točno i brzo riješiti samo metodama numeričke matematike, za izračun je potrebno računalo te se metoda i zove kompjutorizirana tomografija.



Slika 18. Postupak snimanja prilikom kompjutorizirane tomografije (CT) i primjer 3D rekonstrukcije i prikaza anatomije računalom (desno).

Međutim, kompjutorizirana tomografija koristi uske snopove zračenja te je za veći volumen potrebno pomicati pacijenta u snopu. Uski snop zračenja ima prednost zbog manjeg raspršenja u snopu, odnosno manje zračenja koje nosi krivu informaciju pa je dijagnostička informacija točnija. Od ranih 90ih prošlog stoljeća u dentalnoj medicini u uporabi su uređaji za kompjutoriziranu tomografiju sa širokim snopom (CBCT, cone-beam CT). Ovi uređaji imaju prednost jednostavnije izvedbe, manjeg ozračenja pacijenta i rađeni su za dentalnu medicinu pa su protokoli i računalni programi bolje prilagođeni za ovu namjenu. Obzirom na povećano raspršenje u snopu, dijagnostička informacija je nešto lošija što se očituje artefaktima i povećanim omjerom kontrast/šum (CNR). Uz to, zbog CsI detektora s malom vremenskom rezolucijom (sporiji su) vrijeme postupka je nešto dulje (cca 10 s), što uz složeniju rekonstrukciju slike CBCTe produljuje vrijeme postupka u odnosu na multi-slice CT (praktično u stvarnom vremenu). Na slici 19 je prikazan je način rada CBCT uređaja.



Slika 19. Prikaz načina rada CBCT uređaja.

U Tablici 2 prikazane su tipične efektivne doze za pretrage koje se uobičajeno koriste u radiološkoj dijagnostici i dentalnoj dijagnostici. Iz samih podataka vidi se da ozračenje pacijenta ovisi o vrsti i debljini tkiva kroz koje rendgenski snop prolazi, potrebnoj kvaliteti snimke i broja snimki. Očekivano, najviše efektivne doze primaju pacijenti koji su se snimaju kompjutoriziranom tomografijom jer je za dobivanje dijagnostičke informacije potreban najveći broj snimki. CBCT tehnike su podijeljene na tehnike s malim snopom (manje od 10 cm radi snimke gornje i donje čeljusti i više od 10 cm radi snimke maksilofacijalnog područja).

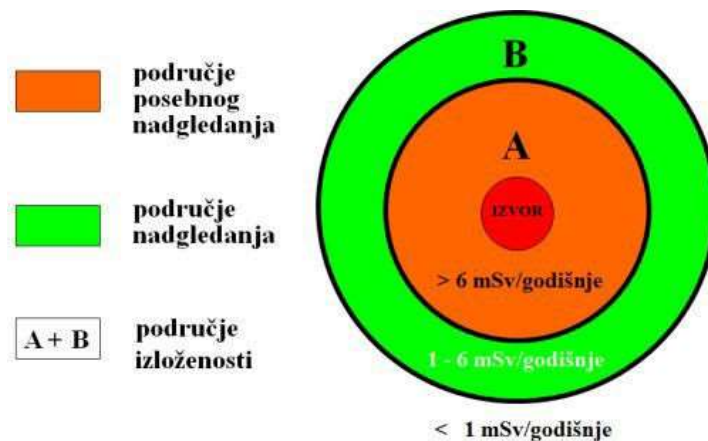
Dijagnostički postupak	Tipična efektivna doza (mSv)	Ekvivalentni broj PA snimki pluća	Prosječan ekvivalentni period pozadinskog zračenja
Pluća (jedna PA snimka)	0,02	1	3 dana
Lubanja	0,07	3.5	11 dana
Torakalna kralježnica	0,7	35	4 mjeseca
Lumbalna kralježnica	1.3	65	7 mjeseci
Kuk	0,3	15	7 tjedana
Zdjelica	0,7	35	4 mjeseca
Abdomen	1.0	50	6 mjeseci
IVU	2.5	125	14 mjeseca
Barium swallow	1.5	75	6 mjeseci
Barium meal	3	150	16 mjeseci
Barium follow through	3	150	16 mjeseci
Barium enema	7	350	3.2 godine
CT glave	2.3	115	1 godina
CT prsa	8	400	3.6 godine
CT Abdomena ili zdjelice	10	500	4.5 godine
Intraoralna snimka zuba	0,001-0,01	<1	<1 dan
Anterior maxillary occlusal	0,008	<1	<1 dan
Panoramska slika	0,004-0,03	1	3 dana
Lateralna kefalometrijska snimka	0,003	<1	<1 dan
1 presjek CT	0,1 – 0,2	10	4 tjedna
CT mandibule	0,36-1.2	16-60	7 tjedana – 6 mjeseci
CT maksile	0,1-3.3	10-165	1 mjesec-18 mjeseci
CBCT-dento-alveolar	0,01-0,67	1-32	1 dan – 4 mjeseca
CBCT - craniofacial	0,03-1.07	1-55	5 dana-6 mjeseci

Tablica 2. Tipične efektivne doze za pretrage koje se uobičajeno koriste u radiološkoj dijagnostici i dentalnoj medicini (podatci su iz dokumenta Europske komisije, [Referral criteria for imaging, update 2008, RP 118](#), [European guidelines on radiation protection in dental radiology, RP 136](#), [European Commission, 2004](#), [Cone beam CT for dental and maxillofacial radiology – Evidence based guidelines, European Commission, RP 172, 2012](#)).

5.2. PROSTORIJE U KOJIMA SE KORISTE RENDGENSKI UREĐAJI

Prostorije u kojima se koriste rendgenski uređaji projektirane su prema osnovnom načelu zaštite od ionizirajućeg zračenja, ALARA (*As Low As Reasonable Achievable*: Što manje, uz razumno postupanje). Pravilnikom o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja (NN 53/18) utvrđeni su uvjeti za prostor i postrojenja u kojima su smješteni rendgenski uređaji.

Zakonom o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti (NN 141/13, NN 39/15, NN 130/17 i NN 118/18) definirano je *područje izloženosti* kao područje na kojem postoji mogućnost da pojedinac ili grupa ljudi bude izložena ionizirajućem zračenju iznad granice ozračenja propisane za pojedinog stanovnika (1 mSv godišnje). Područje izloženosti dijeli se na područje nadgledanja i područje posebnog nadgledanja (Slika 20). Posebna prostorija s upravljačkom jedinicom električnog uređaja (kontrolna soba) koji proizvodi ionizirajuće zračenje smatra se područjem izloženosti.



Slika 20, Podjela područja oko izvora zračenja

Nositelj odobrenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja uporabom električnih uređaja koji proizvode ionizirajuće zračenje (dalje u tekstu: nositelj odobrenja) mora nadzirati radne uvjete u području izloženosti. Područje izloženosti u smislu obvezne provedbe mjera zaštite od ionizirajućeg zračenja postoji samo tijekom emitiranja ionizirajućeg zračenja. Na svim ulazima mora biti obilježeno oznakom prikazanom na Slici 21 te oznakom koja sadrži podatke o vrsti izvora ionizirajućeg zračenja s naznakom radi li se o području nadgledanja ili području posebnog nadgledanja te o riziku vezanim uz izvor.



Slika 21. Oznaka opasnosti od ionizirajućeg zračenja

Upozoravajuće svjetlo treba biti postavljeno na ulaznim vratima u prostoriju u kojoj se nalazi rendgenski uređaj. Pozornost treba posvetiti i prekidačima koji isključuju rendgenski uređaj. Po potrebi treba omogućiti otvaranje vrata samo iznutra kad je uređaj u uporabi. Ugradnja prekidača koji isključuje rendgensko zračenje ako se vrata slučajno otvore ima dvojbenu vrijednost. Takvi sustavi mogu uvjetovati češće ponavljanje izlaganja pacijenta zračenju, a time i veće ozračenje osoblja. Svaki ulaz u područje posebnog nadgledanja mora biti:

(a) opremljen uređajem koji obavještava svjetlosnim ili zvučnim signalom osobu koja ulazi ili ovlaštenog radnika o ulasku u to područje

(b) zaključan osim tijekom razdoblja u kojem je ulaz u područje potreban s primjerenim nadzorom tijekom ulaska.

Stacionarni električni uređaji koji proizvode ionizirajuće zračenje moraju biti smješteni u najmanje dvije odvojene prostorije. U jednu se prostoriju postavlja dio uređaja koji emitira ionizirajuće zračenje, a u drugu prostoriju se postavlja upravljačka jedinica (kontrolna soba). Ovo se ne odnosi na rendgenske uređaje koji se u dentalnoj medicini koriste za pojedinačno snimanje zubi. Za ovakve uređaje kabel upravljačke jedinice mora biti dovoljno dug da je uključivanje uređaja moguće iz susjedne prostorije ili se izloženi radnik koji uključuje taj uređaj mora zaštititi zaštitnim paravanom čiji zaštitni učinak ne smije biti manji od jednakovrijednog učinka olova debljine 0,4 mm.

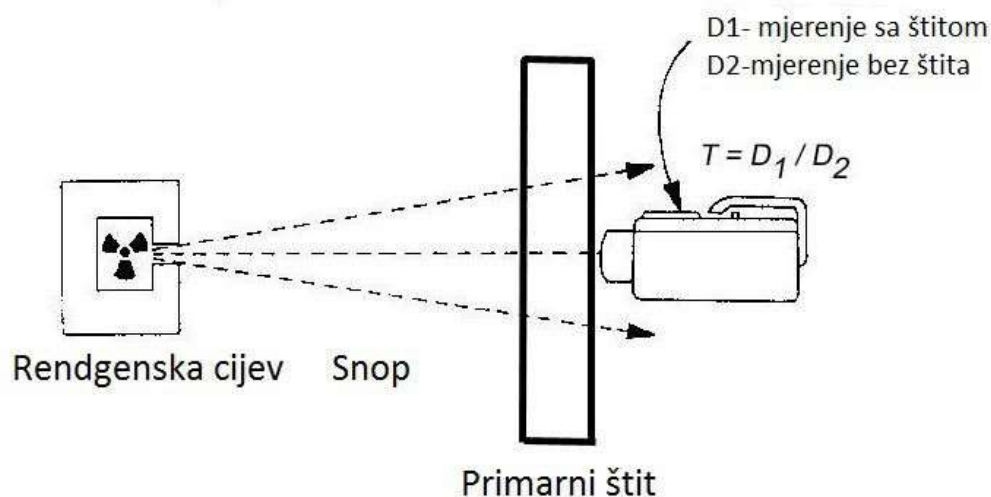
Ako se već u fazi zamišljanja i projektiranja radiološkog odjela posveti posebna pozornost ugradnji zaštitnih materijala i odjela sukladno mjerama radiološke sigurnosti, to može na kraju doprinijeti kako smanjenju izlaganja zračenju, tako i ekonomičnosti izgradnje i, kasnije, rada. Zaštita mora biti tako projektirana da za svaku orijentaciju izravnog snopa zraka iz bilo kojeg rendgenskog uređaja osobe izvan prostorije ili iza zaštitnog ekrana nisu izloženi dozama iznad propisanih granica. Procjena moguće ozračenosti radi se uzimajući u obzir doprinose izravnog snopa, raspršenog zračenja i zračenja koje istječe iz kućišta (leakage). Računica se zasniva na fizikalnim zakonima uzimajući u obzir vrstu radiološke opreme, korištenje (workload), smještaj, ima li više cijevi u jednoj prostoriji, usmjerenje cijevi, smještaj operatera i okolne prostorije (zauzetost i usmjerenost).

Pri proračunu zaštite od zračenja (štita) koriste se najgori razumni mogući uvjeti jer je previše zaštite bolje od premalo.

Na kraju izgradnje potrebno je kontrolirati moguće konstrukcijske probleme:

- Zid od cigle (mjesto gdje je žbuka)
- Spojevi olovnih ploča bez preklapanja
- Šuplje cigle ili blokovi
- Olovno staklo
- Spojevi oko olovnih vrata

U konačnici potrebna je provjera mjerenjima od strane ovlaštenih stručnih tehničkih servisa (slika 22).



Transmisijski faktor T prikazuje efikasnost štita

Slika 22. Provjera mjerenjima od strane ovlaštenih stručnih servisa nakon izgradnje prostora u kojima će se koristiti rendgenski uređaj. Preuzeto s www.iaea.org

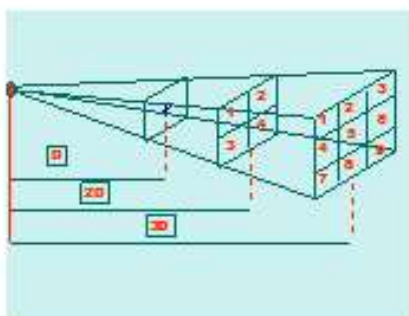
5.3. SPECIFIČNI ASPEKTI ZAŠTITE I ZAŠTITNA SREDSTVA

Osnovni načini zaštite od ionizirajućih zračenja su udaljenost, vrijeme i štit (slike 23, 24, 25). Da bi ozračenje bilo što manje, udaljenost mora biti što veća, vrijeme što kraće i potrebno je koristiti štit. Svaki od ovih načina zaštite potrebno je koristiti razumno kako bi imali najveći efekt, a ne bi ugrozili ishod ili kvalitetu postupka.

UDALJENOST

$$\text{intenzitet} = \frac{\text{broj fotona}}{\text{površina}}$$

Intenzitet zračenja, I , opada s kvadratom udaljenosti.



udaljenost	intenzitet zračenja
d	I
2d	$I = \frac{I}{2^2} = \frac{I}{4}$
3d	$I = \frac{I}{3^2} = \frac{I}{9}$

VEĆA UDALJENOST → MANJA DOZA

• UDALJENOST
• VRIJEME
• ŠTIT

Slika 23. Ovisnost udaljenosti i doze pri izlaganju ionizirajućem zračenju

S udaljenošću od izvora, doza zračenja koju može primiti osoba izložena zračenju opada s kvadratom udaljenosti (Slika 23). Pri radiografiji udaljenost između rendgenske cijevi i osobe koja je izložena je manje-više stalna te se treba zakloniti iza štita.

VRIJEME

Doza pojedinca proporcionalna je vremenu izlaganja zračenju.

vrijeme izlaganja	doza
t	D
2t	2D
3t	3D

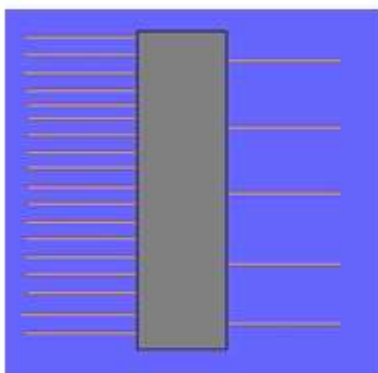


$$\frac{\text{UDALJENOST}^2 \cdot \text{VRIJEME}}{\text{ŠTIT}}$$

Slika 24. Ovisnost doze zračenja o vremenu izlaganja

Doza kojoj je izložen pojedinac izravno je proporcionalna trajanju zračenja (Slika 24). Ako se udvostruči vrijeme izlaganja uz iste ostale parametre, doza će biti dvostruka.

ŠTIT



Umetanjem štita između izvora zračenja i osobe koja je izložena zračenju, može se bitno smanjiti doza.



$$\frac{\text{UDALJENOST}^2 \cdot \text{VRIJEME}}{\text{ŠTIT}}$$

Slika 25. Umanjenje doze zračenja postavljanjem štita u snop.

Stavljanjem štita između izvora ionizirajućeg zračenja i osobe koja je izložena zračenju može se bitno smanjiti doza (Slika 25). Materijal koji se najčešće rabi u dijagnostičkoj radiologiji jest olovo koje može biti rabljeno u obliku lima ili u olovnom staklu. Naravno, i svi drugi materijali mogu poslužiti za zaštitu. Smanjenje intenziteta zračenja iza štita može se lako odrediti ako se poznaje sloj poludebljine materijala (HVL) koji je za svaki materijal određen i prikazan u prikladnim tablicama (Tablica 1). Ako

se umjesto olova koristi bilo koji drugi materijal, njegov zaštitni učinak se izražava kao ekvivalent zaštite olova. U tablicama su često dani i podaci o sloju jedne desetine materijala, to je debljina koja propušta samo jednu desetinu ulaznog zračenja.

Specifični načini zaštite od ionizirajućeg zračenja zasnivaju se na gore navedenim općim načinima zaštite i pravilima dobre prakse.

Pri radu u kontrolnoj sobi zaštita radnika osigurana je dobrom izvedbom projekta zaštite od ionizirajućeg zračenja za prostor u kojem se koristi rendgenski uređaj, dok se za rad u prostoriji u kojoj se nalazi rendgenski uređaj mogu se koristiti i dodatna zaštitna sredstva: zaštitna pregača, rukavice, štit za štitnjaču, različiti zasloni ili zavjese sa zaštitnim učinkom. Zaštitni učinak se definira prema zaštitnom učinku olova i u Tablici 1 dan je zaštitni učinak olova za različite kvalitete rendgenskih snopova zajedno sa zaštitnim učinkom betona. Uz to, dobar način rada dodatno će umanjiti ozračenje pacijenta i radnika.

Nositelj odobrenja **dužan je osigurati** zaštitnu opremu i osobna zaštitna sredstva koja kakvoćom i količinom odgovaraju postojećim uvjetima. S druge strane, radnici koji se nalaze u prostoriji s rendgenskom cijevi provodeći dijagnostički postupak i osobe koje im pri tome pomažu **moraju koristiti** ta zaštitna sredstva.



Slika 26. Neka od mogućih zaštitnih sredstava

Svojstva zaštitnih sredstava (slika 26) su propisana:

- (1) Zaštitna pregača mora osobu koja je koristi pokrivati od ključnih kostiju do polovice potkoljenice, obuhvaćajući bedra.
- (2) Zaštitne rukavice moraju imati poseban prostor za svaki prst i dosezati do laktova.
- (3) Zaštitni učinak pregača, rukavica, ovratnika i naočala mora biti jednakovrijedan učinku olova debljine najmanje 0,25 mm.
- (4) Zaštitni učinak pregače pri naponu rendgenske cijevi iznad 100 kV ne smije biti manji od učinka olova debljine 0,35 mm.
- (5) Zaštitne pregače i rukavice ne smiju se savijati, ne smiju biti oštećene, a njihova cjelovitost i ispravnost mora se redovito kontrolirati.

Ako usporedimo debljinu ovih zaštitnih sredstava s vrijednostima danim u Tablici 1, jasno je da su zaštitna sredstva slabo učinkovita ako se nalazimo direktno u snopu. Npr. ako se radi o rendgenskom snopu 100 kVp (HVL=0,27 mm Pb), pregača jednakovrijedne debljine olova 0,35 mm smanjiti će intenzitet snopa na 40% od početnog. Međutim, ako se s istom pregačom nalazimo izloženi raspršnom zračenju, dakle zračenju manje energije, na primjer, 50 kVp (HVL=0,06 mm Pb) intenzitet snopa iza pregače će pasti na 1,7% početnog intenziteta. Uz to, ako se dio tijela ili olovne rukavice

nađu u snopu, to će zbog automatske kontrole ekspozicije (AEC) koja osigurava da dovoljno zračenja dođe do detektora slike, uzrokovati povećanje intenziteta zračenja. Zbog toga će doći do dodatnog ozračenja i pacijenta i osoblja koje se nalazi u prostoriji s rendgenskim uređajem. Iz ovoga je jasno da su zaštitna sredstva svrhovita samo ako se nalazimo izloženi raspršnom zračenju, a nikako primarnom. Zbog ovoga izloženi radnici ne smiju biti izloženi korisnom snopu rendgenskog uređaja i ne smiju pridržavati kasete s filmovima tijekom provedbe dijagnostičkog i intervencijskog postupka. Ako je nemoguće izbjeći dio tijela u snopu, treba voditi računa o tome i prilagoditi način rada kako ne bi došlo do dodatnog ozračenja pacijenta i radnika (AEC detektor ne smije biti dodatno prekriven dijelom tijela u snopu ili treba koristiti 'ručni' način rada).

Obzirom na mogućnost čestog izlaganja, izloženi radnici u okviru svog radnog mjesta, trudnice, žene za koje postoji vjerojatnost trudnoće i osobe mlađe od 18 godina ne smiju pridržavati nepokretne pacijente tijekom provedbe dijagnostičkog pregleda ili postupka uporabom rendgenskog uređaja. To rade osobe koje nisu izloženi radnici i za koje se pretpostavlja da je to iznimno rijetko. Osobe koje nisu izloženi radnici, a koji tijekom provedbe dijagnostičkog pregleda ili postupka uporabom rendgenskog uređaja pridržavaju nepokretne pacijente i druge osobe koje ne mogu samostalno ostati u položaju potrebnom za provođenje tog pregleda ili postupka, moraju koristiti zaštitne pregače jednakovrijednog zaštitnog učinka kao i olovo debljine od najmanje 0,5 mm, a po potrebi i zaštitne rukavice, zaštitne okovratnike i naočale s olovnim staklima istog zaštitnog učinka.

Najkraće rečeno, mjere zaštite mogu se svrstati u nekoliko nepisanih pravila koja moraju postati običaj:

- † Primjenjuj osnovne načine zaštite: vrijeme, udaljenost, štitove.
- † Ne dopusti da rutina postane razlog smanjenoj sigurnosti.
- † Nikad ne budi u izložen primarnom snopu.
- † Uvijek stavi zaštitnu pregaču ako nisi iza zaštitnog paravana ili u zaštićenoj kabini ili prostoru.
- † Uvijek nosi osobni dozimetar tijekom rada ispod olovne pregače na lijevoj strani prsiju.
- † Nikad ne pridržavaj pacijenta tijekom radiografije. Koristi pomagala ili neka članovi obitelji ili prijatelji pomognu pri pridržavanju pacijenta. Bolničko osoblje ne bi se trebalo koristiti rutinski zatu svrhu.
- † Osoba koja pridržava pacijenta mora nositi zaštitnu pregaču, rukavice a po potrebi i druga zaštitna sredstva.
- † Rabi zaštitna sredstva za gonade.
- † Vodi računa o pacijenticama obzirom na trudnoću. Provjeriti jesu li trudne prije početka pregleda ili postupka.
- † Uvijek smanji polje zračenja na najmanju moguću mjeru koja je dostatna za dijagnozu.

Svi radnici koji se nalaze u području IZLOŽENOSTI, a za vrijeme rada rendgenskog uređaja, moraju biti pod dozimetrijskim nadzorom. To su doktori dentalne medicine, radiolozi, radioterapeuti, medicinski fizičari, radiološki tehnolozi, kirurzi, kardiolozi, anesteziolozi, medicinske sestre, tehničari,... Osobni dozimetar se nosi na lijevoj strani prsiju, a ako se nosi zaštitna pregača, ispod zaštitne pregače kako bi se mogla procijeniti efektivna doza. Ako se nosi zaštitna pregača, dozimetar nošen ispod pregače pokazat će najvjerojatniju efektivnu dozu u najvećem broju slučajeva (ako se radnik nalazi u homogenom polju zračenja – kontrolna soba). Ako je polje zračenja nehomogeno ili postoje dijelovi tijela koji su zaštićeni pregačom, tada je procjena manjkava. U takvim slučajevima dobro je nositi i dodatne dozimetre izvan pregače ili dozimetre s direktnim očitanjem (Slika 27).

Uz primjenu ALARA principa (udaljenost, štit) uobičajene doze za djelatnike u dentalnoj medicini su manje od 0,2 mSv godišnje. Iako je prema dokumentu RP136 Europske komisije navedeno da je dozimetrijski nadzor za radnike koji rukuju rendgenskim uređajima u dentalnoj medicini poželjno, ali ne i neophodno, u Republici Hrvatskoj je propisan dozimetrijski nadzor.



Slika 27. Narukvica ili prsten s dozimetrom.

5.4. OSIGURANJE KVALITETE I OPTIMIZACIJA, UKLJUČUJUĆI PARAMETRE KOJI UTJEČU NA KAKVOĆU PRIMJENE IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

Nositelj odobrenja obavezan je ustrojiti, provoditi i održavati program osiguranja kvalitete sukladno vrsti i namjeni električnog uređaja koji proizvodi ionizirajuće zračenje, prilagođen vrsti, raznolikosti i opsegu postupaka koje obavlja. Program osiguranja kvalitete mora se ustrojiti, provoditi i održavati u skladu s uputama danim u [Pravilniku o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja \(NN 53/18\)](#).

Izloženi radnici koji rukuju električnim uređajem koji proizvodi ionizirajuće zračenje moraju biti upoznati s programom osiguranja kvalitete. Nositelj odobrenja obavezan je imenovati osobe odgovorne za provedbu Programa osiguranja kvalitete i osobe odgovorne za provedbu provjere kvalitete, sukladno uputama danim u gore navedenom pravilniku.

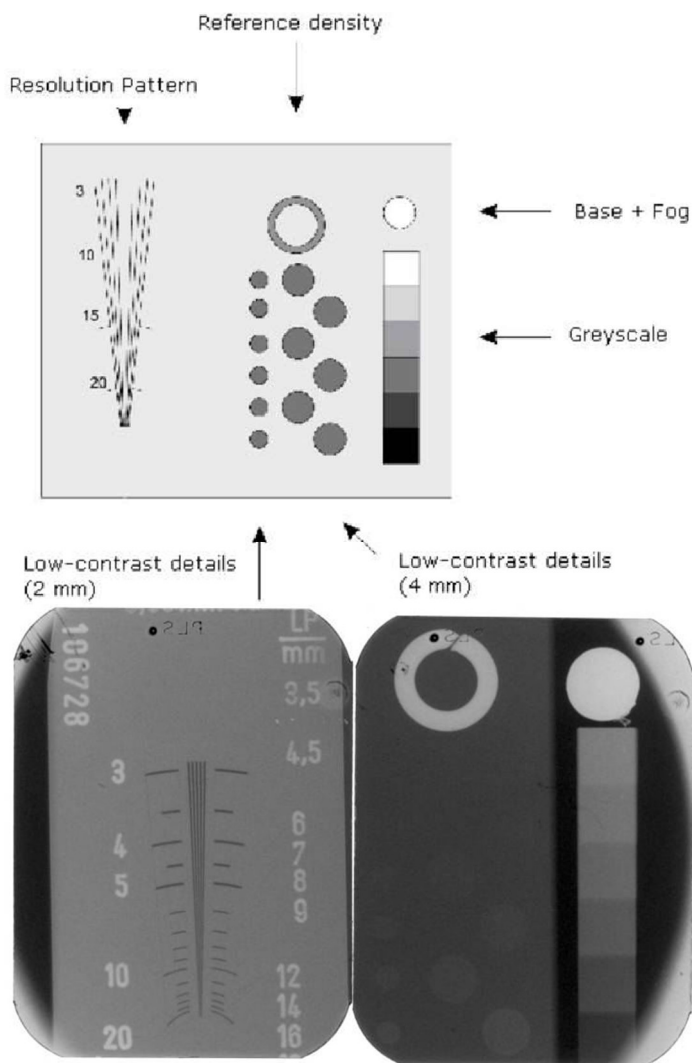
Nositelj odobrenja obavezan je provoditi provjeru kvalitete električnih uređaja koji proizvode ionizirajuće zračenje, sustava za razvijanje filmova te digitalnih receptora i čitača. Parametri koji se ispituju u sklopu provjere kvalitete električnog uređaja koji proizvodi ionizirajuće zračenje, sustava za razvijanje filmova te digitalnih receptora i čitača, granice dopuštenih odstupanja te rokovi ispitivanja određenih parametara dani su također u gore navedenom pravilniku.

Pravna ili fizička osoba koja proizvede, proda, isporuči, uveze, postavi, iznajmi ili na drugi način obavi drugu vrstu prometa električnog uređaja koji proizvodi ionizirajuće zračenje poslije njihove montaže, a prije predaje tih uređaja krajnjem korisniku mora osigurati prihvatno ispitivanje. Prihvatno ispitivanje služi radi usporedbe parametara zračenja i kvalitete slike s deklariranim. Sustav osiguranja kvalitete bi trebao osigurati stalnost tih parametara tijekom cijelog životnog vijeka uređaja. Kada se provjerom kvalitete utvrdi da uređaj ne udovoljava propisanim zahtjevima kvalitete, nositelj odobrenja obavezan je poduzeti radnje potrebne za otklanjanje uočenih nedostataka. Do uklanjanja nedostataka uređaj se ne smije nastaviti koristiti.

Cilj procesa kontrole kvalitete je osiguranje dobre zaštite radnika i pacijenata te istovremeno očuvanje terapijskog učinka ili kvalitete dijagnostičke informacije tijekom određenog vremenskog razdoblja. On mora biti u pisanom obliku kao skup pisanih provjera koje je potrebno izvršavati u određenim vremenskim razdobljima.

Ukratko, u dijagnostičkoj radiologiji, pa tako i u dentalnoj radiologiji, program osiguranja kvalitete sadrži pisana pravila o:

- Redovitim provjerama zaštitnih barijera i ozračenja osoblja
- Redovitim provjerama doza koje prima pacijent za određenu vrstu pretrage
- Redovitim provjerama kvalitete slike prema nekom od kriterija za kvalitetu slike- prema kriterijima danim od strane Europske komisije (EC [RP 136](#) i WC [RP 172](#))
- Redovitim provjerama značajki uređaja o kojima ovisi kvaliteta slike te uređaja za razvijanje slike



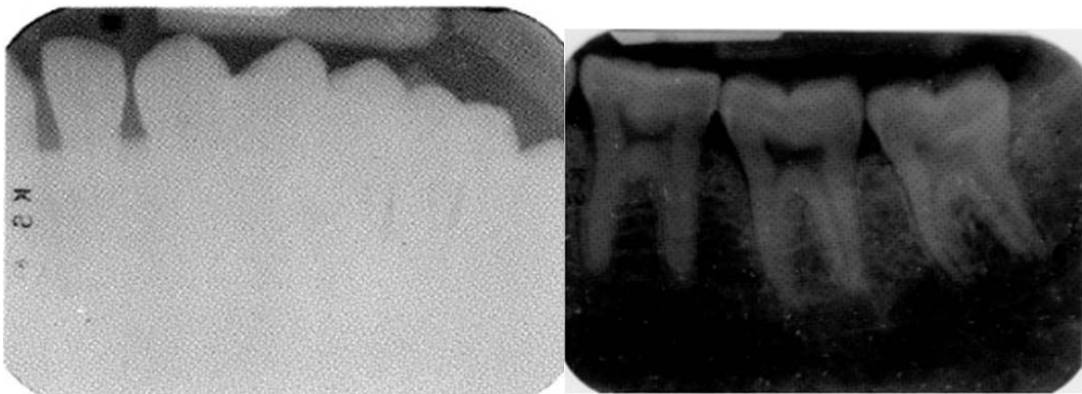
Slika 28. Snimka fantoma pomoću koji se može odrediti razlučivanje i kontrast uređaja kojim je snimka dobivena.

Na slici 28. su prikazane snimka fantoma pomoću koji se može odrediti razlučivanje i kontrast uređaja kojim je snimka dobivena. Slike su preuzete iz EC RP 136. Snimka mora na početku (pri prihvatnom ispitivanju) biti jednaka tijekom cijelog vremena korištenja uređaja (dio programa osiguranja kvalitete). Za sve uređaje program osiguranja kvalitete s potrebnim provjerama također se može naći u već navedenim dokumentima RP 136 i RP 172.

Primjeri dobre i loše prakse se vrlo lako nađu u svakodnevnoj radiološkoj praksi te su neka istraživanja i objavljena u znanstvenim časopisima. Većina takvih radova pokazuje da je pomak u kvaliteti slike i osiguranja pravilne doze zračenja za pacijente i osoblje lako moguće postići vrlo jednostavnim korektivnim akcijama (slike 29 - 32).



Slika 29. Primjer: izgrebana CR folija=> ne smije se koristiti



Slika 30, Podeksponiran film (lijevo), preeksponiran film (desno)

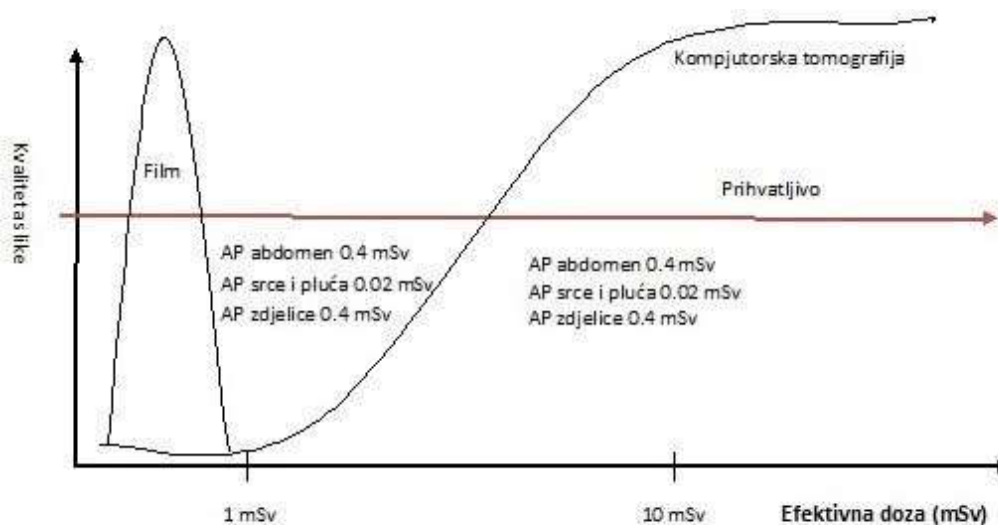


Slika 31. Slab kontrast i zacrnjenje (vjerojatno mala temperatura razvijanja, prebrz ciklus, razvijач prerijedak,...)



Slika 32. Kretanje pacijenta uzrokuje mutnu sliku.

Prilikom CT dijagnostike, obzirom na matematičku obradu signala pokazuje se da što je veća doza pacijenta, to je bolja kvaliteta slike (do neke granice). Slično je i s rendgenskim uređajima koji koriste digitalne receptore. Ovo je u suprotnosti s iskustvom s uređajima koji koriste film-folija sustave (slika 33).



Slika 33. Za razliku od analognih uređaja, digitalni (i CT) oprašaju preveliku dozu, odnosno prevelika doza ne smanjuje kvalitetu slike.

Istraživanja su pokazala da tehnika CT pregleda s dobrom kvalitetom slike može dozom za pacijenta premašiti optimalnu tehniku 8 puta, dok bi to za djecu bila i do 20 puta veća doza zračenja od potrebne jer se pokazalo da nije rijetko da se prilikom CT pregleda djece koriste protokoli koji su predviđeni za odrasle (Vasileva J, Rehani MM, et al IAEA survey of paediatric computed tomography practice in 40 countries in Asia, Europe, Latin America and Africa: procedures and protocols, European Radiology, 2013).

Slika 33 je pokazatelj da prijelaz na digitalne tehnike ne smanjuje potrebu za kontrolom kvalitete digitalnih tehnologija nego ih dapače i povećava jer moguće pogreške više nisu tako očite kao na

analognim uređajima. Upute za izradu priručnika kontrole kvalitete koje su dane na stranicama Ministarstva unutarnjih poslova vrijede i za digitalne uređaje.

Europska Komisija je u suradnji s relevantnim profesionalnim udruženjima propisala dobru radiološku praksu propisujući u već navedenim dokumentima RP136 i RP 172:

- Dobru radiološku tehniku
- Kvalitetu slike i detalje koji se moraju i ne smiju vidjeti na snimci
- Tipične doze

5.5. ZAŠTITA PACIJENTA, S NAGLASKOM NA ZAŠTITU TRUDNICA I DJECE

Dijagnostički pregled i intervencijski postupak uporabom rendgenskog uređaja mora se provoditi pod nadzorom doktora medicine specijalista radiologije, doktora dentalne medicine pri snimanju zubi, odnosno doktora medicine specijaliste druge grane medicine koji je odgovoran za ispravnost provedenog pregleda ili postupka i za primjenu mjera zaštite pacijenta od nepotrebnog ozračivanja.

Opravdanost, kao jedno od osnovnih načela zaštite od ionizirajućeg zračenja, propisana je od strane relevantnih profesionalnih udruženja i međunarodnih organizacija. Trenutno se kao preporuka u Europi koristi Referral Guidelines For Imaging, RP 118, European Commission 2008 koji je javno dostupan na

http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/publication/doc/118_update_en.pdf,

A za tehnike i uređaje koji se koriste u dentalnoj medicini:

- [European guidelines on radiation protection in dental radiology, RP 136, European Commission, 2004.](#)
- [Cone beam CT for dental and maxillofacial radiology – Evidence based guidelines, European Commission, RP 172, 2012](#)

Snimanje čeljusti i zuba smije se obavljati samo posebnim rendgenskim uređajima koji su namijenjeni za tu svrhu.

Napon rendgenske cijevi uređaja za pojedinačno snimanje zuba ne smije biti manji od 60 kV. Manji naponi stvaraju rendgenski snop fotona male energije koji nisu prodorni i potreban je veći intenzitet zračenja kako bi zračenje doprlo do detektora slike. S druge strane naponi veći od 70 kV stvaraju rendgenski snop koji stvara nedovoljno kontrastnu sliku te je današnja preporuka koristiti napone 60 kV do 70 kV za pojedinačno snimanje zubi. Ionizirajuće zračenje emitirano iz rendgenske cijevi rendgenskog uređaja za snimanje zubi mora biti filtrirano pomoću filtera:

- a) 1,5 mm debljine aluminija za napone cijevi do 70 kV,
- b) 2,5 mm debljine aluminija za napone cijevi iznad 70 kV,

a sastav i ekvivalentna debljina filtera moraju biti označeni na kućištu rendgenske cijevi.

Rendgenski uređaj za snimanje zubi mora imati tubus koji osigurava udaljenost žarište – koža pacijenta od najmanje 20 cm, s tim da udaljenost žarište – koža pacijenta uređaja za panoramsko snimanje čeljusti ne smije biti manja od 15 cm. Veličina ozračenog polja mjerena na vrhu tubusa rendgenskog uređaja za snimanje zubi koji se nabavlja nakon 2013. godine mora biti pravokutnog oblika veličine koja će korisni snop ograničiti na veličinu medija na koji se snima. Ova mjera je jedna od najjednostavnijih za smanjenje ozračenja pacijenta te se pokazalo da se zračenje smanjuje oko 60% u odnosu na okruglu veličinu snopa. Presjek polja korisnog snopa na nosaču kasete rendgenskih uređaja za panoramsko snimanje čeljusti ne smije biti veći od 1 cm x 15 cm. Veličina polja ionizirajućeg zračenja ne smije prelaziti veličinu otvora tubusa za više od 20%.

Osobe kojima se snimaju zubi moraju biti zaštićene pregačom ili štitnikom čija je zaštitna moć jednaka učinku olova najmanje 0,25 mm debljine.

Do 1980. godine najbrži filmovi korišteni za pojedinačno snimanje zubi bili su D klase. Filmovi E klase umanjili su dozu oko 50%, uz nešto lošiji kontrast na snimci i gubitak brzine pri većim zacrnjenjima. Zbog toga filmovi E klase nikada nisu ušli u širu uporabu, nego se njihovim promjenama i poboljšanjima došlo do filmova F klase koji dodatno smanjuju ozračenje pacijenta. Filmovi E i F brzine su preporučeni od strane EC za pojedinačne snimke zubi. Samorazvijajući filmovi manjih brzina i lošije kvalitete slike mogu se koristiti samo u posebnim slučajevima (npr. izvan radnog vremena kada komora za razvijanje nije dostupna). Za panoramsko snimanje i kefalometriju treba koristiti najbržu dostupnu film-folija kombinaciju, najmanje brzine 400,

U posljednje vrijeme, slično kao i u medicini, filmove zamjenjuju digitalni detektori. Bilo da se radi o CR (computer radiography) ili DR (digital radiography) sustavima. CR sustavi uključuju čitače (skenere) koji pretvaraju analognu sliku sa fosforescentnog medija u digitalni zapis, dok DR sustavi vrše tu pretvorbu izravno na detektoru. Pokazalo se da digitalni receptori korišteni za pojedinačno snimanje zubi značajno smanjuju dozu u odnosu na film (što ne znači da treba odustati od opravdanosti kao načela). Uz pravilnu primjenu dolazi do značajnog smanjenja ozračenja pacijenta, ali ako ove tehnologije ne koristimo u skladu s pravilima struke moguće je i povećanje ozračenja pacijenata. Naprimjer, moguća je preeksponirana (prekvalitetna snimka), neprimjetno ponavljanje (lako je obrisati sliku), uz to detektor je manje površine (potrebna dobra kolimacija i eventualno više ekspozicija za pokrivanje veće površine). Korištenje digitalnih receptora u ekstraoralnim snimkama ne mora nužno umanjiti ozračenje pacijenta te se za optimizaciju se u ovim slučajevima treba savjetovati s medicinskim fizičarem.

U Tablici 3 prikazani su efekti na ozračenje zbog različitih načina rada u usporedbi s radom s 70 kV, AC (izmjenični potencijal), 60 mm cilindrični snop s filmom E klase.

Oprema	Faktor povećanja ozračenja
Digitalni sistem (CR, DR)	x0,5-0,7
Pravokutna kolimacija (30 mm x 40 mm)	x0,5
F klasa film	x0,8
DC (stalni potencijal)	x0,8
Kratki konus (100 mm udaljenost izvor-koža)	x1.5
50 kV	x2
D klasa film	x2

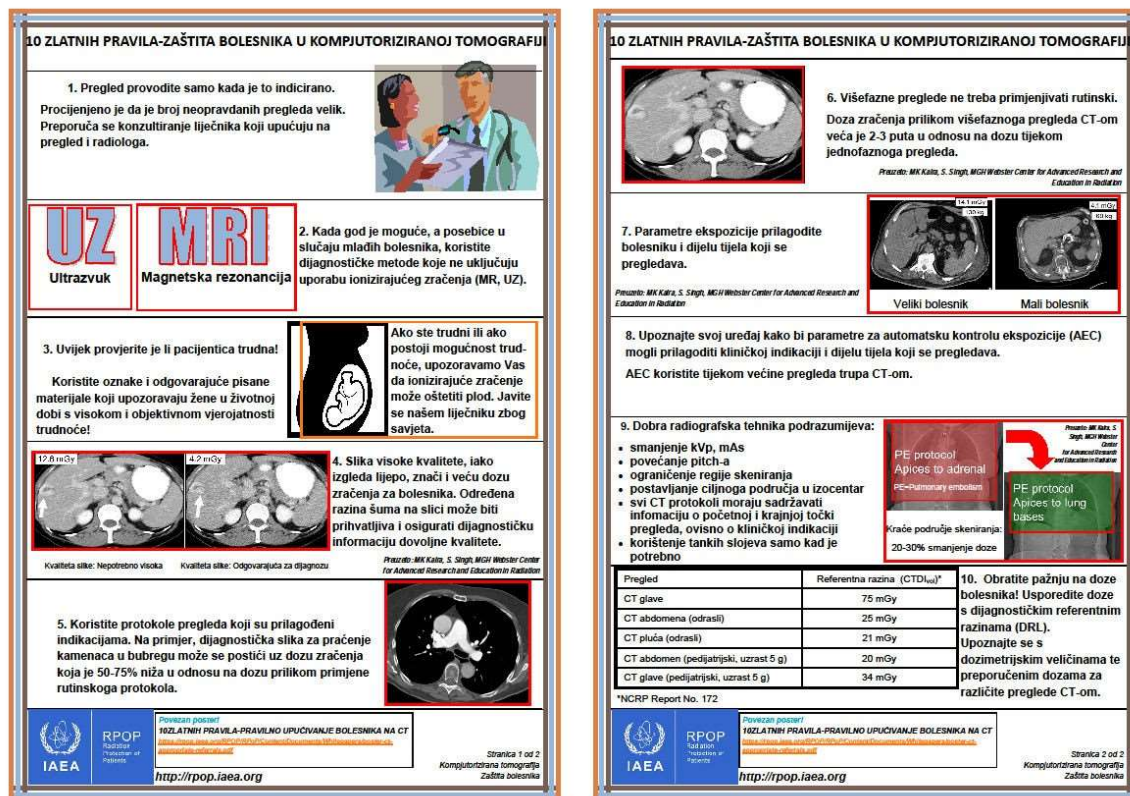
Tablica 3. Efekti na ozračenje zbog različitih načina rada u usporedbi s radom s 70 kV, AC (izmjenični potencijal), 60 mm cilindrični snop s filmom E klase.

Smanjenje ozračenja može se postići kupovinom nove opreme, ali i puno jeftinijim načinima kao što su uporaba pravokutnog kolimatora ili filma F klase, što svakako treba biti prioritet.

Za CBCT vrijede sva pravila kao i za CT uređaje u medicini, uz neka dodatna pravila. Posebno je ovo važno obzirom na visoke doze pacijenata pri ovakvim pregledima (tablica 2). Uređaji moraju biti izvedeni tako da korisni snop mora biti ograničen tako da njegov presjek ne prelazi ulaznu površinu aktivnog dijela detektora zračenja. Obzirom na visoke doze za pacijente, propisano je da uređaji koji se koriste za kompjutoriziranu tomografiju moraju prikazivati podatke potrebne za procjenu doze pacijenta. Također, kako bi se osigurala dobra dijagnostička informacija uz najmanju moguću dozu, uz rendgenski uređaj za kompjutoriziranu tomografiju mora na raspolaganju biti odgovarajući fantom za provjeru parametara kojima se može procijeniti kvaliteta slike i doza pacijenta. Prilikom početka rada, odnosno tijekom pripremnog razdoblja poslije uključjenja rendgenskog uređaja za kompjutoriziranu tomografiju, dok je u tijeku zagrijavanje i samopodešavanje rendgenske cijevi koja u tom razdoblju

zrači, u prostoriji u kojoj je uređaj smješten ne smije nitko boraviti. Također, izloženi radnik koji rukuje uređajem za kompjutoriziranu tomografiju tijekom pripremnog razdoblja poslije uključenja uređaja ne smije napustiti mjesto uz upravljačku jedinicu sve dok cijeli pripremi postupak nije završen.

Osnovna pravila zaštite od zračenja prilikom rada s CT uređajem dana su na posteru na slici 34:

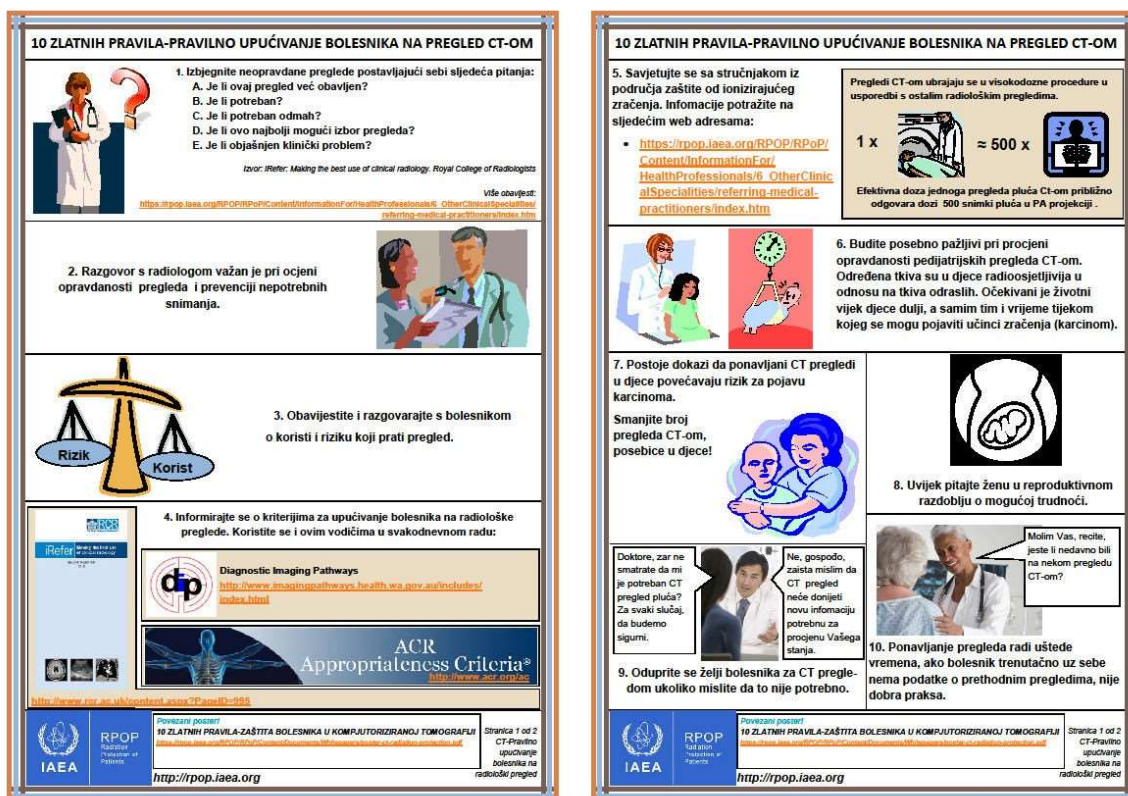


Slika 34. Osnovna pravila zaštite pacijenta od zračenja prilikom rada s CT uređajem.

Sami CBCT uređaji nisu posebno definirani zakonodavstvom RH za sada, ali nabrojati ćemo samo neke osnovne preporuke za siguran rad s ovakvim uređajima prema praksi u EU:

- napon i umnožak struja-vrijeme moraju imati mogućnost izmjene
- manji FOV - manje ozračenje
- veličina voxela mora biti najveća moguća koja i dalje daje dovoljno dobru dijagnostičku informaciju
- zaštita štitnjače je poželjna, ali uz pažljivo postavljanje kako ne bi dovela do ponavljanja snimanja
- tijekom radiografije vrijeme izlaganja je vrlo kratko (manje od sekunde) kako bi se spriječio utjecaj pokreta pacijenta na jasnoću slike. Međutim, pri uporabi CBCT zbog Csl detektora s malom vremenskom rezolucijom produljuje se vrijeme postupka (cca 10 s) te može doći do pomaka pacijenta i artefakta na snimci.

Također, obzirom na veliki porast broja pretraga kompjutorskom tomografijom važno bi bilo pridržavati se osnovnih pravila koja govore o načinu upućivanja pacijenata na ovu pretragu (naravno, vodeći računa o kriteriju opravdanosti ([Referral Guidelines For Imaging, RP 118, European Commission, update 2008](#))). Neka od najvažnijih pravila dana su na posteru na slici 35.



Slika 35. Pravilo upućivanje bolesnika na pregled CT-om.

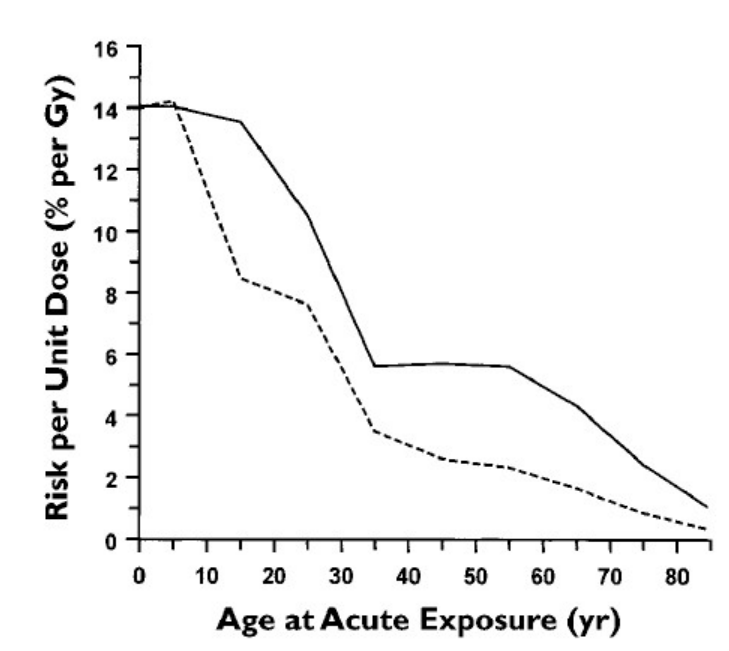
Naravno, opravdanost uporabe rendgenskog zračenja u dentalnoj medicini propisano je i posebnim preporukama Europske komisije, EC RP [136](#) i posebno za CBCT [RP 172](#). Ovo je vrlo važno poznavati obzirom na izrazito veliki porast broja radioloških postupaka u dentalnoj medicini i pojavu visokodoznih postupaka kao CBCT koja značajno poboljšavaju uslugu, ali je ozračenje pacijenta veliko.

Pridržavanje pravila struke i dobre radiološke prakse već opisane u tekstu ujedno znači i dobru zaštitu pacijenta. Uz ovo, jedan od zasigurno najboljih načina zaštite pacijenta (a samim tim i osoblja) je mjerenje i upisivanje doze pacijentu za svaku radiološku pretragu. Time se podiže i svijest o važnosti zaštite od zračenja obzirom da doze koju prime pacijenti prilikom radioloških pretraga nisu male (Tablica 2). Za svaki dijagnostički pregled ili intervencijski postupak proveden uporabom rendgenskog uređaja u pacijentov nalaz o pregledu ili postupku ili u medicinsku dokumentaciju potrebno je upisati odgovarajući skup relevantnih podataka na temelju kojih je moguće procijeniti dozu pacijenta. Parametri iz kojih se mogu procijeniti doze dani su u Pravilniku o uvjetima za primjenu izvora ionizirajućeg zračenja u svrhu medicinskog i nemedicinskog ozračenja (NN 42/18). Ako je rendgenski uređaj umjeren tako da se iz ovih parametara može procijeniti doza pacijenta ili ako je u rendgenski uređaj ugrađeno mjerilo brzine doze zračenja i/ili jedinica koja daje podatke o dozi pacijenta, umjesto gornjih podataka potrebno je upisati izmjerenu dozu u pacijentov nalaz o dijagnostičkom pregledu ili intervencijskom postupku ili u medicinsku dokumentaciju. Preporučene vrijednosti doza za provedbu određenog dijagnostičkog pregleda ili intervencijskog postupka u radiologiji dane su u Prilogu I gore navedenog pravilnika. Ministarstvo unutarnjih poslova obvezno je najmanje svakih 10 godina izraditi raspodjelu procijenjenih doza pacijenata za stanovništvo, a za relevantne grupe stanovništva ako procijeni potrebnim. Parametri za procjenu doze kod pojedinačnog snimanja zubi su napon rendgenske cijevi i struja i vrijeme ozračivanja (ili njihov umnožak), kod panoramskog snimanja iste vrijednosti ili u slučaju da je ugrađen DAP metar, DAP vrijednost. Za CBCT ili MSCT treba upisati CTDI ili DLP vrijednosti, odnosno u slučajevima kada CBCT uređaj daje podatak o DAP vrijednosti,

upisuje se DAP vrijednost. Pravilnikom o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja (NN 53/18) propisana je ova obveza za nositelja odobrenja.

Istim pravilnikom utvrđene su preporučene vrijednosti doze (engl. diagnostic reference level, DRL) za najčešće vrste pregleda (*diagnostic reference level, DRL*). Dijagnostičke referentne vrijednosti nisu ograničenje doze pacijenta nego služe za optimizaciju radiološke prakse. Međunarodna komisija za zaštitu od zračenja (ICRP) ju je definirala kao vrijednost treće kvartile (75%) svih doza koju primi pacijent prosječne veličine za svaku pojedinu vrstu pretrage. Usporedbom s Europskim, nacionalnim ili lokalnim vrijednostima moguće vrlo lako prepoznati neuobičajeno veliku dozu, te analizirati eventualne nedostatke u radu (uređaj, postupci, protokoli). Također je važno napomenuti da ako pacijent primi dozu veću od DRL vrijednosti, to ne znači da je došlo do pogrešnog načina rada, moguće je i da je doza bila klinički opravdana, ali ju potrebno moći objasniti. Kako je rečeno, u navedenom pravilniku dane su vrijednosti DRL za većinu postupaka koji se obavljaju u medicini, uz preporuku za određivanje lokalnih DRL vrijednosti koje bi se mogle analizirati kroz dulji period kako bi se mogla analizirati i radiološka praksa u cjelini. DRL-ovi za preglede uporabom rendgenskog zračenja u dentalnoj medicini još uvijek nisu određeni u RH te treba koristiti DRL iz literature u cilju optimizacije prakse.

Posebno je zaštita pacijenta važna ako se radi o djeci jer je poznato da su osjetljivija na zračenje od odraslih i do nekoliko puta. Analiza na osnovi podataka preživjelih eksploziju A-bombe dana je na slici 36.



Slika 36. Ovisnost rizika od zračenja i dobi prilikom ozračenja. Hall et al, Pediatric radiology, 2002

Obzirom na ubrzani rast broja CT pregleda tijekom zadnjih godina i visoku dozu zračenja pojedinog CT pregleda (Tablica 2), tijekom zadnjih desetljeća provode se velike multicentrične studije te retrospektivna istraživanja čiji prvi rezultati pokazuju kako i male doze zračenja (u usporedbi s A bombom) mogu uzrokovati povećani rizik za pojavu leukemije i tumora mozga u mlađe populacije (Pearce MS, Salotti JA, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study, Lancet, 2012).

Tisuće trudnih žena izloženo je ionizirajućem zračenju tijekom godine u svijetu. Nedostatak znanja je najčešći razlog uznemirenosti i nepotrebnog prekida trudnoće. Za većinu pacijentica izloženih

dijagnostičkim pregledima rendgenskim zračenjem rizik za fetus je minimalan. Naravno, izloženost zračenju mora biti medicinski opravdana (ICRP report 84, Međunarodna komisija za zaštitu od zračenja, 2000). Rizici, načini informiranja pacijentica i primjeri dani su u ICRP reportu 84, koji se može naći na www.icrp.org, a najvažniji dijelovi su u prezentaciji koja prati ovu skriptu. Prezentaciju možete pronaći na [engleskom](#) ili prijevod na [hrvatskom](#) jeziku.

Bez obzira na male rizike ozračenja fetusa u dijagnostičkoj radiologiji, ženu za koju postoji vjerojatnost trudnoće doktor medicine odgovarajuće specijalnosti koji odobrava dijagnostički pregled i intervencijski postupak i zdravstveni radnik koji neposredno provodi dijagnostički pregled i intervencijski postupak moraju prethodno upozoriti na opasnost izlaganja ionizirajućem zračenju u određenom razdoblju poslije mjesečnice zbog moguće trudnoće i nedvojbeno utvrditi jesu li ispunjeni uvjeti za daljnju provedbu dijagnostičkog postupka.

U slučaju mogućnosti trudnoće žene i u slučaju trudnoće žene samo doktor medicine odgovarajuće specijalnosti koji odobrava dijagnostički, intervencijski ili terapijski pregled ili postupak uporabom izvora ionizirajućeg zračenja može odobriti daljnju provedbu tog pregleda ili postupka, ako za neodgodivu primjenu tog postupka postoje opravdani medicinski pokazatelji, posebno u slučaju područja abdomena ili zdjelice, pri čemu utvrđuje uvjete provedbe tog pregleda ili postupka kojim će se osigurati najmanje moguće ozračenje pacijentice i ploda, a da se pri tom dobiju dijagnostički podaci optimalne kakvoće, odnosno željeni učinci postupka ili terapije.

Na vidljivu mjestu u čekaonici mora biti istaknuto pisano upozorenje ženama u životnoj dobi s visokom i objektivnom vjerojatnosti trudnoće:

»Ako ste trudni ili kod Vas postoji mogućnost trudnoće, upozoravamo Vas da ionizirajuće zračenje može oštetiti plod. Javite se našem liječniku zbog savjeta«.

Zdravstveni radnik koji provodi dijagnostički postupak može prije početka postupka zatražiti i izjavu žene u pisanom obliku da je upoznata s rizicima izlaganja ionizirajućem zračenju u slučaju trudnoće ili moguće trudnoće.

5.6. MOGUĆE OPASNOSTI, NEZGODE, RJEŠAVANJE NEZGODA

Prve ozljede od izlaganja ionizirajućem zračenju opažene su još krajem 19. stoljeća od početka uporabe rendgenskih zraka u medicinske svrhe. Najveći broj ozljeda zapravo se i dogodio u to pionirsko vrijeme kad su spoznaje o štetnosti rendgenskog zračenja tek prikupljane. Najčešće su to bile otvorene rane, gubitak kose i dlaka ili anemija. Liječnici koji su rabili rendgenske uređaje, a još češće pacijenti bili su ugroženi najprije zbog siromašne tehnologije koja je uvjetovala da se puno vremena utroši za dobivanje koliko toliko dobre slike. Već od 1910, godine te ozljede su uočene i o izlaganju se počela voditi skrb, a učinci zračenja su znanstveno ispitivani i o njima se izvješćivalo zainteresiranu javnost. Ubrzo je napretkom tehnologije uz površinske ozljede utvrđeno da radiolozi češće obolijevaju od leukemije i kod njih se pojavljuju tumori češće no kod drugih liječnika. To se povezivalo s ionizirajućim zračenjem. Ubrzo je počeo razvitak i uporaba zaštitnih sredstava: olovne rukavice, pregače i drugo. A počelo se i s mjerenjima razina zračenja u blizini rendgenskih cijevi.

Do danas broj ozljeda i izvješća o prekomjernim ozračenjima osoba koje sudjeluju u medicinskoj dijagnostici s rendgenskim uređajima postao je gotovo rijetkost. Danas je pažnja s osoblja pomaknuta na zaštitu pacijenta.

Nositelj odobrenja koji provodi dijagnostičke, intervencijske ili terapijske preglede ili postupke uporabom izvora ionizirajućeg zračenja mora provesti posebno istraživanje u slučaju izvanrednog događaja u kojem je sudjelovao pacijent. Pod izvanrednim događajem smatra se:

a) Pogrešno ozračivanje zbog:

- uporabe pogrešnog izvora ionizirajućeg zračenja,
- primjene zračenja na pogrešnog pacijenta ili na pogrešno tkivo,
- pridijeljena je pogrešna doza ili je na pogrešan način pridijeljena,

b) Ozračena je trudnica,

c) Ozračenje potrebno za dobivanje dijagnostičke informacije uz preporučene parametre za dijagnostički postupak sustavno je veće od uobičajenih ili od preporučenih vrijednosti doza za istu vrstu dijagnostičkog postupka,

d) Tijekom ozračivanja dogodio se kvar uređaju zbog kojeg je pacijent prekomjerno ozračen ili je mogao biti prekomjerno ozračen.

U slučaju izvanrednog događaja nositelj odobrenja je obavezan:

a) Procijeniti dozu pridijeljenu pacijentu tijekom izvanrednog događaja,

b) Poduzeti mjere u svrhu sprečavanja sličnog izvanrednog događaja u budućnosti,

c) Sastaviti očevidnik i izvješće o izvanrednom događaju i dostaviti ga ministarstvu nadležnom za zdravlje i inspektoru za radiološku i nuklearnu sigurnost Ministarstva unutarnjih poslova.

d) Izvijestiti pacijenta i njegovog izabranog liječnika o izvanrednom događaju.

Nositelj odobrenja obavezan je očevidnik i izvješće čuvati najmanje deset godina od dana sastavljanja istih.

5.7. NACIONALNI I MEĐUNARODNI PROPISI, PREPORUKE I STANDARDI

Obzirom na dugogodišnju praksu korištenja rendgenskog zračenja u medicini, pravila dobre prakse su propisana od strane međunarodnih organizacija, i to prvenstveno:

Europska komisija:

http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation_protection/medical/publications_en.htm

Međunarodna komisija za zaštitu od zračenja (International commission for radiation protection, ICRP)

www.icrp.org

Međunarodna organizacija za atomsku energiju (International atomic energy agency, IAEA)

<http://www.iaea.org>; rpop.iaea.org:

Preporuke ovih međunarodnih organizacija preuzete su i u nacionalnom zakonodavstvu Republike Hrvatske kroz Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti (NN 141/13, NN 39/15, NN 130/17 i NN 118/18) i pravilnicima koji izviru iz tog zakona.

Posebno se korisnom pokazala web stranica Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) koja opisuje zaštitu pacijenta (rpop.iaea.org), te edukacijski materijali s praktičnim primjerima i video zapisima postupaka u radiologiji:

https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/AdditionalResources/Training/1_TrainingMaterial/index.htm).