

Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja
Југословенско друштво за заштиту од зрачења
Југословенско друштво за заштита од зрачење
Jugoslovansko društvo za zaščito pred sevanji
Yugoslav Radiation Protection Association

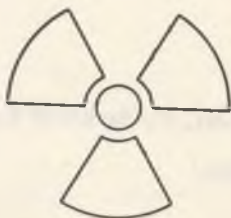
MJERE ZAŠTITE I ZDRAVSTVENI NADZOR OSOBA KOJE KORISTE IZVORE ZRAČENJA U ZDRAVSTVU



1988.

Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja
Југословенско друштво за заштиту од зрачења
Југословенско друштво за заштита од зрачење
Jugoslavansko društvo za zaščito pred sevanji
Yugoslav Radiation Protection Association

MJERE ZAŠTITE I ZDRAVSTVENI NADZOR OSOBA KOJE KORISTE IZVORE ZRAČENJA U ZDRAVSTVU



1988.

Seminar

"Mjere zaštite i zdravstveni nadzor osoba koje koriste
izvore zračenja u zdravstvu"

Cavtat 13 - 15. X. 1988.

Organizator Seminara: Jugoslavensko društvo za zaštitu od zračenja u suradnji
s Institutom za medicinska istraživanja i medicinu rada
Sveučilišta u Zagrebu i
Institutom za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča,
Beograd

Sponzori Seminara: Samoupravna interesna zajednica znanosti SR Hrvatske
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada
Sveučilišta u Zagrebu
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča,
Beograd

Zbornik uredili: Dj. Horvat, P. Marković i S. Marković

P R E D G O V O R

Ovaj zbornik radova sadrži tekstove predavanja održanih na seminaru "Mjere zaštite i zdravstveni nadzor osoba koje koriste izvore zračenja u zdravstvu" (Cavtat, 13. - 15.10.1988.). Kao što se i iz naslova seminara vidi, namijenjen je osoblju koje rukuje s izvorima ionizirajućih i neionizirajućih zračenja u zdravstvenim radnim organizacijama, ali i svim ostalim, zainteresiranim za tu problematiku.

Radovi obiluju izvanredno korisnim informacijama, od osnovnih karakteristika ionizirajućih zračenja, ispravnog korištenja njihovih izvora, bioloških učinaka zračenja, mjerama zaštite, te zakonskom regulativom, koja se odnosi na to područje.

Tekstovi radova nisu stručno recenzirani, pa odgovornost za njihov sadržaj snose sami autori. U pripremi za objavljivanje, ovdje publicirani tekstovi prepisani su, ali nisu vraćeni autorima radi korekcija. Za eventualno nastale štamparske greške odgovoran je Izdavački odbor ovog zbornika.

Zagreb, august 1988.

Izdavački odbor

Zakonski propisi u oblasti zaštite od ionizirajućih zračenja u medicini Gunarić V. Republički komitet za zdravstvenu i socijalu zaštitu SRH	7
Osnovni pojmovi i principi u oblasti radijacione dozimetrije i zaštite Marković P. Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča, Beograd Prirodnomatemički fakultet Kragujevac	16
Biološki učinci zračenja na ljudski organizam Stojanović D. Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča, Beograd	35
Uslovi korišćenja i pravila o radu sa zatvorenim i otvorenim izvorima jonizujućih zračenja Marković S. Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča, Beograd	44
Tehničke mere zaštite od jonizujućih zračenja pri medicinskoj primeni zatvorenih i otvorenih izvora zračenja Tomašević M. Univerzitetski klinički centar, OOUR Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović" - Beograd	61
Kontrola radne sredine pri radu sa izvorima jonizujućih zračenja Ristić Dj. Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča, Beograd	68
Spremljanje kvalitete in kvantitete rentgenskega sevanja v medicinski diagnostiki in terapiji v SRS Fortuna T. Zavod SRS za varstvo pri delu, Ljubljana	76
Osobna dozimetrija Cerovac H. Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada Sveučilišta u Zagrebu	79
Radijacioni akcidenti Marković S. Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča, Beograd	83
Zdravstveni nadzor lica koja rade u zoni jonizujućih zračenja Panov D. Čremošnik-Pajić P. Univerzitetski klinički centar, OOUR Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović" - Beograd Institut za zdravstvenu zaštitu Novi Sad	88
Biodozimetrijska kontrola Horvat Dj. Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada Sveučilišta u Zagrebu	93

	Str.
Biološki efekti nejonizujućih zračenja Jeremić M. Univerzitetski klinički centar, OOUR Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović" - Beograd	96
Zaštita medicinskog osoblja od mikrotalasnog zračenja Djordjević Z. Institut za primenjenu fiziku - Beograd	107
Zadaci službe zaštite od zračenja u radnoj organizaciji Marković S. Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča, Beograd	109

ZAKONSKI PROPISI U OBLASTI ZAŠTITE OD IONIZIRAJUĆIH ZRAČENJA U MEDICINI

Oblast zaštite od ionizirajućih zračenja u cjelini, pa tako i dio o zaštiti u području medicinske djelatnosti regulirana je Saveznim zakonskim propisima. Osnovni zakonski propis je Zakon o zaštiti od ionizirajućih zračenja i o posebnim mjerama sigurnosti pri upotrebi nuklearne energije koji je objavljen u Sl. listu SFRJ br. 62/ od 23. studenog 1984. godine. Na osnovu ovog Zakona doneseni su pravilnici koji detaljnije obradjuju ovo područje, a objavljeni su u Sl. listu SFRJ br. 40/ od 18. srpnja 1986. godine.

Očekujemo da će do kraja godine biti donesen novi republički zakon SRH o zaštiti od ionizirajućih zračenja, a do tada je na snazi Zakon o mjerama za zaštitu od ionizirajućih zračenja i za sigurnost nuklearnih objekata i postrojenja koji je objavljen 12. svibnja 1981. godine u NN br. 18.

Takodjer moramo napomenuti da je problematika zaštite od ionizirajućih zračenja vrlo kompleksna a saznanja tako promjenjiva tako da su već mnoge odredbe Pravilnika od 1986. godine u toku izmjena.

U ovom prikazu dali smo kratak pregled značajnih odredbi zakonskih propisa u domeni ionizirajućih zračenja u medicini.

Već šest mjeseci nakon otkrića Wilhelma Konrada Röntgena 1896 znalo se o štetnim učincima X zraka na živo tkivo. Nažalost, nekritičnost, odnosno neopreznost bila je velika, tako da su naučni radnici ispitivali izlaz cijevi izlažući se zračenju i pri tome su mjerili vrijeme potrebno da se podraži koža. Više od 300 osoba je kasnije umrlo od raznih oblika malignih bolesti. Sličan put saznanja prošao se i za ostale vidove ionizirajućih zračenja, od Bequerela i Curyievih sličnim iskustvima, a ipak 1915 godine jedna kompanije iz New Jersey-a, Radium Luminous Materials Company zaposlila je desetine djevojaka da mješavinom sulfida radija i cinka premažu brojčanike satova pomoću kistova koje su vlažile ustima. Ubrzo su lokalni zubari shvatili da se radi o novoj bolesti i nazvali je "radijska čeljust". U slijedećih 10 godina četiri djevojke su umrle od raka kostiju i aplastične anemije.

Vrijeme i žrtve učinile su da je znanstvenicima postalo jasno da je potrebno poduzeti organizirane mjere zaštite od zračenja. Godine 1928. na drugom Medjunarodnom kongresu radiologa osnovano je neovisno stručno tijelo: Medjunarodna komisija za radiološku zaštitu (ICRP) sa ciljem da se utvrde osnovne smjernice za zaštitu od zračenja. I dan danas se preporuke ICRP-ea usvajaju kao osnova za donošenje nacionalnih propisa za zaštitu od prevelike izloženosti radnika i stanovništva zračenju. Tako se i naši propisi oslanjaju na preporuke ICRP-ea.

Polazni motiv Zakona o zaštiti od ionizirajućih zračenja i o posebnim mjerama sigurnosti pri upotrebi nuklearne energije je zaštita života i zdravlja ljudi i čovjekove okoline od štetnih djelovanja ionizirajućih zračenja, koji su od interesa za cijelu zemlju i medjunarodnu zajednicu, te radi stvaranja uvjeta za sigurnost nuklearnih objekata.

Na osnovi zakona doneseni su pravilnici kojima se detaljnije nego u prijašnjim propisima regulira upotreba izvora ionizirajućih zračenja u medicini i drugim oblastima, kao i zaštitu profesionalno izloženih lica, pacijenata i cjelokupne populacije.

U sl. listu SFRJ br. 40 od 18. srpnja 1986. godine objavljeni su slijedeći pravilnici kojima se pobliže regulira područje primjene ionizirajućih zračenja u medicinske svrhe:

1. Pravilnik o stavljanju u promet i upotrebi radioaktivnih tvari iznad određene granice aktivnosti, rendgenskih aparata i drugih aparata koji proizvode ionizirajuća zračenja, te o zaštitnim mjerama od zračenja tih izvora.
2. Pravilnik o uvjetima za primjenu izvora ionizirajućih zračenja u medicini.
3. Pravilnik o načinu vođenja evidencije o izvorima ionizirajućih zračenja, te o ozračenju stanovništva i osoba koje su pri radu izložene djelovanju ionizirajućih zračenja.
4. Pravilnik o granicama iznad kojih stanovništvo i osobe koje rade s izvorima ionizirajućih zračenja ne smiju biti izloženi ozračenju te o mjerenjima stupnja izloženosti ionizirajućim zračenjima osoba koje rade s izvorima tih zračenja i o provjeri kontaminacije radne okoline.
5. Pravilnik o stručnoj spremi, zdravstvenim uvjetima i zdravstvenim pregledima osoba koje mogu raditi s izvorima ionizirajućih zračenja,
6. Pravilnika o načinu skupljanja, evidentiranja, obrade, čuvanja, konačnog smještaja i ispuštanja radioaktivnih otpadnih tvari u čovjekovu okolinu.

Ad 1

Ovim Pravilnikom regulirani su uvjeti pod kojima se stavljaju u promet, uvjeti pod kojima se mogu koristiti radioaktivne materije iznad određene granice aktivnosti, rendgen aparati koji se koriste u medicinskoj dijagnostici i terapiji, kao i drugi aparati koji mogu proizvoditi parazitsko X zračenje. Izvore ionizirajućih zračenja mogu nabavljati samo one radne organizacije, zajednice, organi i pojedinci koji su za nabavu dobili odobrenje republičkog odnosno pokrajinskog organa nadležnog za poslove zdravstva. Moramo napomenuti da još mnoge radne organizacije nabavljaju rendgen aparate bez prethodno zatraženog odobrenja uz prezentaciju dokumentacije o tipu aparata i prostorije u koje se namjerava smjestiti, a što su dužene u skladu sa ranije rečenim. I tada se nerijetko događaju neželjene posljedice, skupocjeni rendgen aparati ne odgovaraju normativima prostorije, ili pak rendgen aparat ima neke nedostatke, tako da se ne može izdati odobrenje za rad, kako bi zaštitili i pacijente i profesionalno osoblje od prevelikog ionizirajućeg zračenja

Radioaktivne materije koje se stavljaju u promet, također podliježu navedenim propisima ali samo u slučajevima ako je njihova ukupna ili specifična aktivnost veća od određenih vrijednosti.

U prvom stavu pravilnika definiran je pojam granice aktivnosti. Radionuklidi su prema svojoj radio toksičnosti svrstani u četiri skupine (tablica 1)

skupina radiotoksičnosti radioaktivnih tvari	specifična aktivnost Bq/kg	ukupna aktivnost Bq
I	$7,40 \times 10^4$	$3,7 \times 10^3$
II	$7,40 \times 10^5$	$3,7 \times 10^4$
III	$7,40 \times 10^6$	$3,7 \times 10^5$
IV	$7,77 \times 10^7$	$3,7 \times 10^6$

U prvu skupinu svrstani su radionuklidi vrlo visoke radiotoksičnosti kao što su: Sr⁹⁰, Po 210, Ra 226, Ra 228 i t.d.

U drugu skupinu spadaju radionuklidi visoke radiotoksičnosti Na 22, Ca 45, Co 60, itd.

U treću skupinu spadaju radionuklidi srednje radiotoksičnosti: Be 7, O 15, N 16 itd.

U četvrtu skupinu spadaju radionuklidi niske radiotoksičnosti: H 3, C 11, C 14, N 13 i td.

Radionuklid koji se najčešće koristi u nuklearnoj medicini za dijagnostička ispitivanja "In vivo", Tc 99 m, svrstan je u grupu najniže radiotoksičnosti.

Izvori ionizirajućih zračenja moraju se čuvati samo u specijalno opremljenim spremištima i pod strogo definiranim uslovima, tako da se svako ozračivanje radnika koji sa njima rukuju ili se nalaze u njihovoj blizini svode na što je moguće manju mjeru.

Prijevoz i prenos izvora ionizirajućeg zračenja kao i aparata koji mogu proizvesti ionizirajuće zračenje, unutar radne organizacije kao i van radne organizacije podliježe zakonskim propisima.

Izvori ionizirajućih zračenja mogu se prenesti i prevoziti jedino ako se nalaze u specijalnim zaštitnim kontejnerima, kako bi se spriječilo preveliko ozračenje ljudi u okolini a takodjer i gubljenje izvora. Prevoz i prijenos izvora van radne organizacije, a u pojedinim slučajevima i unutar radne organizacije može se vršiti samo uz prethodno nabavljeno odobrenje nadležnog organa. S druge strane slična je situacija kada korisnik izvora ionizirajućeg zračenja prestane korištenje istog. U tom slučaju korisnici su dužni o tome obavijestiti nadležni organ koji je odobrio upotrebu istih, a za prostorije u kojima su čuvani ili upotrebljavani otvoreni izvori ionizirajućih zračenja, mora se utvrditi da su bezopasne za upotrebu u druge svrhe i da se prema potrebi izvrši dekontaminacija.

Ako se zatvoreni izvori ionizirajućeg zračenja koriste za intersticijalnu ili intrakaviternu terapiju moraju se koristiti pokretni zaštitni paravani, manipulatori i zaštitni kontejneri, a sve u cilju zaštite osoblja i drugih pacijenata od nepotrebnog ozračivanja.

Svi radovi sa otvorenim izvorima ionizirajućih zračenja razvrstani su u tri klase (tablica 2).

radiotoksičnost radionuklida	minimalne količine koje su značajne	aktivnost na mjestu rada		
		klasa radova u Bq		
		III	II	I
I skupina vrlo visoke radio-toksičnosti	3,7 kBq	do 370 kBq	370kBq-370 MBq	više od 370 MBq
II skupina visoke radio-toksičnosti	37 kBq	do 3,7 MBq	3,7MBq-3,7 GBq	više od 3,7 GBq
III skupina srednje radio-toksičnosti	370 kBq	do 3,7 MBq	37MBq-37 GBq	više od 37 GBq
IV skupina niske radiotoksičnosti	3,7 MBq	do 370 MBq	370MBq-370 GBq	više od 370 GBq

Takodjer su određene granice za kontaminaciju zidova i podova prostora u kojima se radi sa otvorenim izvorima ionizirajućih zračenja, zatim i odjeća i koža osoblja koje s njima radi (tablica 3). Posebna odredba govori o maksimalno dozvoljenoj aktivnosti radionuklida koja ne smije biti u tijelu pacijenata pri njihovom otpuštanju iz zdravstvene ustanove. Aktivnosti radionuklida u ovim slučajevima ne smiju premašivati slijedeće vrijednosti:

- 1,1 GBq za P 32
- 0,55 GBq za J 131
- 0,37 GBq za Au 196 ili Y 90

površina prostorije za rad i stvari u njoj	odijelo zaposlenih osoba	koža zaposlenih osoba
alfa emiter $4 \times 10^4 \text{ Bq/m}^2$	Alfa emiter $4 \times 10^3 \text{ Bq/m}^2$	Alfa emiter $8 \times 10^2 \text{ Bq/m}^2$
Beta-gama emiter $4 \times 10^5 \text{ Bq/m}^2$	Beta-gama emiter $4 \times 10^4 \text{ Bq/m}^2$	Beta-gama emiter $8 \times 10^3 \text{ Bq/m}^2$

Iako se ove odredbe odnose na stacionarnu terapiju, trebalo bi imati na umu, da bi u duhu zaštite od ionizirajućeg zračenja - ozračivanje što manje to bolje, bilo potrebno da se i pacijentima što su bili samo u procesu dijagnostike pomoću radionuklida, da iscrpna preporuka kako da se ponašaju nakon dijagnostičkog postupka, Zbog istog razloga propisano je da laboratoriji koji koriste otvorene izvore ionizirajućih zračenja moraju imati odvojene čekaonice za pacijente kod kojih je izvršena aplikacija radiofarmaka, i za one koji čekaju nalaze ili samo ispitivanje. Nažalost, i ove odredbe ne poštuju se u mnogim ustanovama, pretežno iz objektivnih razloga, a koji put zbog subjektivnih faktora.

Najprecizniji dio pravilnika je onaj dio koji govori o nabavljanju i korištenju rendgen aparata u medicinskoj dijagnostici. Razlog toj preciznosti nalazimo u činjenici što se svakodnevno veliki broj stanovnika izlaže ionizirajućem zračenju, nažalost nerijetko bez nekog većeg razloga. Takodjer se pri tome izlažu i suvišnom zračenju i zdravstveni radnici, te je zakonodavac želio ozračenje ionizirajućim zračenjem svesti na što je moguće manju mjeru. U odnosu na ranije propise povećana je minimalna površina radnih prostorija u kojima se koriste stacionarni dijagnostički rendgen aparati, ovisno o njihovoj vrsti, odnosno ovisno o broju rendgenskih cijevi, i napona s kojim rade.

Prostorije u kojoj se koriste dijagnostički rendgen aparati s jednom rendgenskom cijevi moraju imati površinu najmanje 20 m², a ako se radi o aparatu s dvije ili više cijevi, površina prostorija po jednoj rendgenskoj cijevi mora iznositi najmanje 15 m². Prostorija u kojoj se upotrebljava terapijski rendgen aparata mora imati površinu najmanje 16 m². Zubni rendgen aparati do 60 kV moraju biti smješteni u prostoriju minimalne površine 8 m² ako se snimanje vrši iz iste prostorije, a ako se snimanje vrši iz druge prostorije minimalna površina može biti 6 m². Za one zubne rendgen aparate čiji električni napon premašuje 60 kV površina prostorije mora biti 16 m². Ista površina se traži i za rendgen aparate za panoramsko snimanje zuba i vilica. Prostorije u kojima se upotrebljavaju rendgen aparati moraju imati čekaonice i kabine za presvlačenje pacijenata. Nažalost, poznato nam je iz prakse da se kabine slabo koriste, čak i kad postoje. Bilo je i ekstremnih slučajeva da se pacijenti uvode u grupama u prostoriju za snimanje pri čemu je bila važnija brzina pregleda cijele grupe nego ozračenost pacijenata koji su čekali na red za snimanje u samoj snimaoni.

Prostorije moraju imati uređaj za provjetravanje ili kompletan uređaj za klimatizaciju koji mora biti neovisan o uređaju za provjetravanje ostalih dijelova zgrade. Efikasnost ventilacije podliježe povremenoj kontroli, određivanjem koncentracije slobodnih iona. Prijašnjim propisima tražilo se da umjetna ventilacija omogući najmanje četiri promjene zraka na sat. U važećim propisima ovaj zahtjev je izostavljen jer je kapacitet ventilacije predodređen namjenom i vrstom rendgenskih aparata, te će se potreba za određenim kapacitetom ventilacije određivati od slučaja do slučaja.

Ovim pravilnikom također je propisano da rendgen zračenje koje se koristi u terapiji u medicinskoj dijagnostici mora biti na odgovarajući način filtrirano, stalnim ili dodatnim filterima. Kemijski sastav i debljina filtera također su propisani ovim pravilnikom.

Udaljenost između fokusa rendgenske cijevi i kože pacijenata kod rendgenskih aparata što se upotrebljavaju za prosvjetljavanje pacijenata ne smije biti manje od 45 cm odnosno 70 cm kod rendgen aparata koji se upotrebljavaju bez lednog paravana.

Nažalost, imamo dosta rendgen aparata koji ne zadovoljavaju ovaj uvjet, a znamo da doza zračenja raste s kvadratom udaljenosti, tako da pet ili šest centimetara razlike ne možemo nikako smatrati zanemarljivim odstupanjem.

Uslovi zaštite medicinskog osoblja koje radi u sferi ionizirajućeg zračenja također su poštreni. Interesantan problem predstavljaju medicinski radnici koji samo povremeno rade s rendgen aparatima, ali ih koriste na takav način da moraju doći u izravni snop X zraka, odnosno nisu u mogućnosti služiti se standardnim zaštitnim sredstvima. U grupu tih radnika spadaju vaskularni kirurzi kardiokirurzi, urolozi, ortopedi, kardiolozi, rendgenolozi i dr. U cilju bolje zaštite radnika navedenih specijalnosti propisano je da se moraju postavljati dodatni tubusi na zračnike i zaštitne zavjese od olovne gume koje moraju dopirati do površine tijela pacijenata, odnosno do površine stola za snimanje. Radi bolje zaštite tehničara i radiologa koji rade sa stacionarnim rendgen aparatima traži se da komandni stolovi budu smješteni u posebnim prostorijama, a radi sigurnosti i bolje komunikacije s pacijentom, snimaona i komandna prostorija moraju biti spojene interfonskom vezom. Za sada je vrlo mali broj ustanova ugradio interfonski uređaj, iako je to zakonska odredba za koju nema izuzetaka. U praksi, izrazito je loša situacija sa zaštitnim sredstvima za gonade, specijalnim zaštitnim paravanima, rukavicama i pregačama. Mnoge ustanove ni ne posjeduju dovoljan broj navedenih zaštitnih sredstava, odnosno ako ih i posjeduju, vrlo se rijetko ili samo djelomično upotrebljavaju. Primjer takvog neodgovornog rada u svakom slučaju je snimanje bez zaštitnih sredstava za gonade, ne korištenje specijalnih zaštitnih paravana za zaštitu osoba koja pridržavaju djecu za vrijeme snimanja. Pod izrazito lošim radnim uvjetima rade medicinski radnici koji koriste mobilne rendgen aparate, bilo u operacionim salama ili u bolesničkim sobama, gdje dodatno ozračujemo i susjedne pacijente. Zbog posebnih uvjeta rada koji vladaju u operacionim dvoranama, najčešće se ne koriste zaštitna sredstva, mada ih propisi na to obavezuju. Zbog toga u takvim slučajevima trebalo bi koristiti samo nove i specijalno konstruirane mobilne rendgen aparate za takve namjene, kako bi se ozračenje navedenih radnika svelo na što je moguće manju mjeru. Na tržištu se već mogu naći kirurške rukavice i naočale s određenim stupnjem zaštitne moći. Primjena zaštitnih sredstava i ličnih dozimetara, film ili TLD je obavezna za sve radnike koji rade s izvorima ionizirajućih zračenja, bilo stalno ili povremeno

Ad 2.

Pravilnik o uvjetima za primjenu izvora ionizirajućih zračenja u medicini obradjuje područje neobične važnosti, a interesantno je da u ranijim propisima

nije bilo sličnog pravilnika. Ovim Pravilnikom propisuje se zaštita pacijenata od ionizirajućih zračenja pri medicinskim postupcima. Liječnik koji propisuje potreban dijagnostički ili terapijski postupak s upotrebom ionizirajućih zračenja, dužan je za svakog pacijenta procijeniti medicinsku opravdanost primjene ionizirajućeg zračenja, imajući na umu i medicinsku opravdanost dijagnostičkog ili terapijskog postupka s upotrebom ionizirajućeg zračenja procjenjuje se ovisno o vrsti, obliku i težini bolesti, dobi i spolu, stupnju ugroženosti života i zdravlja pacijenata, očekivanoj koristi za pacijenta, te o mogućoj štetnoj posljedici od tog postupka za pacijenta, odnosno i šire za cijelu populaciju.

Dijagnostički postupak s upotrebom ionizirajućih zračenja kod žena koje su u reproduktivnom periodu može se primijeniti od prvog do desetog dana od početka menstruacije, osim u iznimnim slučajevima kad za primjenu tog postupka postoje opravdane vitalne indikacije. Ovaj princip u stranoj literaturi je poznat kao "princip 10 dana".

Ad 3.

Pravilnikom o načinu vođenja evidencije o izvorima ionizirajućih zračenja te o ozračenju stanovništva i osoba koje su pri radu izložene djelovanju ionizirajućih zračenja, propisan je detaljno način vođenja evidencija, određeni su osnovni podaci koje treba pratiti, određena je nadležnost, odnosno organizacija udruženog rada kojoj treba dostavljati dotične podatke. Propisano je da organizacije udruženog rada koje primjenjuju izvore ionizirajućih zračenja u medicini, obavezno dostavljaju propisane podatke o ozračivanju pacijenata jednom godišnje organizaciji koja vrši sistematsko ispitivanje ozračenosti populacije na teritoriji republike ili pokrajine. Nažalost, moramo priznati da se ovaj Pravilnik od svih pravilnika najlošije sprovodi, tako da se ozračenost populacije uopće ne može sa sigurnošću pratiti. A da ne govorimo o pojedinim procjenama, kao na primjer procjene gonadnih doza cijelih republika i pokrajina, odnosno procjene radiacionog rizika itd.

Dijagnostički postupak s upotrebom radionuklida ne primjenjuje se na ženama u trudnoći i za vrijeme dojenja, osim u iznimnim slučajevima. Liječnik odgovarajuće specijalnosti koji odobrava dijagnostički ili terapijski postupak s upotrebom ionizirajućih zračenja, procjenjuje izbor sredstava i metoda dijagnostičkog i terapijskog postupka, i pri tome:

- a) utvrđuje, da li je ozračivanje pacijenta zbog primjenjenog postupka medicinski opravdano u smislu dobivanja dijagnostičke informacije, ili postizanja terapijskog efekta, do kojih se ne bi moglo doći na drugi manje rizičan način.
- b) utvrđuje uvjete da se postupak obavi s najmanjim mogućim ozračivanjem pacijenta, a da se pri tom dobiju kvalitetni podaci za dijagnostiku, odnosno da se dobiju željeni terapijski efekti.

c) najvažnija, najodgovornija i najrjedje primjenjivana zakonska odredba:

USKRACUJE SVAKO MEDICINSKI NEOPRAVDANO OZRAČENJE PACIJENTA

Pri ponovnom upućivanju pacijenta na medicinsku obradu, obavezno je da pacijent sa sobom nosi i stare nalaze, slike i slično, jer jedino se tako može procijeniti opravdanost ponovnog ozračivanja. Nažalost kad nas je situacija konfuzna i u suprotnosti s ranije citiranom odredbom. Rijetke su ustanove koje daju rendgenske slike pacijentima, jedna medicinska ustanova ne vjeruje nalazima druge, pacijenti se olako upućuju i još brže ozračuju, kao da je dohodovni princip najvažniji.

Po obavljenoj dijagnostici ili terapiji liječnik odgovarajuće specijalnosti dužan je u zdravstvenu dokumentaciju pacijenta unijeti podatke o izvršenoj dijagnostici ili terapiji. U te podatke spada i procijenjena doza ozračenja pacijenta, aktivnost i vrsta radiofarmaceutskih preparata unesenih u organizam, ili drugi skup podataka na temelju kojih se ta doza može procijeniti.

Posebna pažnja poklonjena je primjeni otvorenih izvora ionizirajućih zračenja u nuklearnoj medicini. Uz pravilnik priložena je tabela u kojoj su date aktivnosti radionuklida koji se koriste u nuklearnoj medicini, kao i proračunate vrijednosti apsorbiranih doza zračenja (mGy/MBq) po jedinici unijete aktivnosti. Mjerna pogreška izabrane doze ne smije biti veća od $\pm 20\%$. Budući da su vrijednosti u tabeli date za čovjeka mase 70 kg, navedeni su i korekcionni koeficijenti u slučaju da se zračenju izlažu osobe manjih tjelesnih masa. Zaštita pacijenata je obavezna i pri primjeni radionuklida u medicinskoj dijagnostici, iako je u ovom slučaju suštinski drugačija od one koja se sprovodi u rendgen dijagnostici.

U medicinskoj rendgen dijagnostici u pravilu se moraju koristiti rendgen aparati u višepulzirajućem spoju. Monopulzirajući rendgen aparati su izbačeni iz upotrebe. Izuzetak su jedino stomatološki i mobilni rendgen aparati. Ako se mobilni rendgen aparati koriste za prosvjetljavanje onda oni moraju biti opremljeni s pojačivačem slike ili sa TV lancem.

Sistematska snimanja dojki i kukava djece smatraju se medicinski neopravdanim ozračivanjem. Slična je situacija i sa sistematskim snimanjem pluća. Sistematsko snimanje pluća može se vršiti samo rendgen aparatom, a nikako fluorografom, a i to samo nad određenim kritičnim grupama stanovnika ili radnika određenih profesija. Pri tome je fluorograf zabranjen zbog značajno veće doze ionizirajućeg zračenja kojom se ozračuju pacijenti.

Sastavni dio ovog Pravilnika je tabela u kojoj su navedene vrijednosti visokog napona, struje, vremena, kao i doza zračenja kojom se pri tome ozračuju pacijenti. Normalno, ove vrijednosti ne mogu biti shvaćene kao apsolutne, već samo kao orijentacione, jer su multifaktorijalno ovisne o vrsti i starosti rendgen aparata, tehnici razvijanja, vrsti filma (pojačivačke folije-folije rijetkih zemalja), o konstituciji i adipoznosti samog pacijenta.

Postupci radioterapije zatvorenim izvorima ionizirajućih zračenja nisu normativno detaljno razradjeni, u prvome redu zbog svoje specifičnosti. Osnovna premisa je da se ovi postupci sprovode samo u specijaliziranim zdravstvenim ustanovama uz adekvatne kadrove i opremu za dozimetriju zračenja. Izbor metoda i terapijskih postupaka s upotrebom ionizirajućih zračenja treba da bude takav da se zdravo tkivo pacijenata ozračuje što manje. Terapija pomoću bilo kojeg zatvorenog izvora ionizirajućeg zračenja koji je odobren za upotrebu može se obavljati samo ako je poznata topografija polja zračenja za primjenjeni postupak.

Ad 4.

Ovim Pravilnikom utvrđuju se granice koje služe kao osnova za zaštitu ljudi od ionizirajućih zračenja i mjerenja stupnja izloženosti radne okoline ionizirajućim zračenjima, te provjera kontaminacije radne okoline. Osnovu ovog Pravilnika čine pojmovi koji su uvedeni iz ICRP publikacije broj 26 pri čemu se nastojalo dati što točnije definicije za: ionizirajuće zračenje, apsorbiranu dozu, ekvivalentnu dozu, efektivnu ekvivalentnu dozu, kolektivnu efektivnu ekvivalentnu dozu, stohastičke i nestohastičke efekte, granice doza i referentne razine. Optimalizacija zaštite od ionizirajućih zračenja ostvaruje se opravdanom primjenom svake pojedine vrste izvora zračenja, optimizacijom zaštite od ionizirajućih zračenja te granicama efektivne ekvivalentne doze za pojedince. Primjena određene vrste izvora zračenja može se smatrati opravdanim samo u

slučaju ako daju pozitivnu neto korist uzimajući u obzir i radijacijsku štetnost. Granice doza zračenja odnose se na uslove ozračivanja ljudi u životnoj i radnoj sredini u normalnim uvjetima i u izvanrednim situacijama. Za nestohastičke efekte za osobe koje rade s izvorima ionizirajućih zračenja ekvivalentna doza ne smije iznositi više od 500 mSv za jednu godinu dana za sva tkiva osim za očne leće i krvotvorne organe, za koje granica iznosi 150 mSv godišnje.

Za stohastičke efekte godišnja granica efektivne ekvivalentne doze u slučaju ujednačenoga ozračivanja cijelog tijela osoba koje rade s izvorima ionizirajućih zračenja iznosi 50 mSv, a godišnja granica za pojedinačni organ ili tkivo 500 mSv, odnosno za očnu leću i krvotvorne organe 150 mSv. Ukupno ozračivanje od vanjskog i unutrašnjeg izlaganja ionizirajućem zračenju u istoj godini ne smije prijeći vrijednosti dane za stohastičke efekte.

Ad 5.

Sa izvorima ionizirajućih zračenja mogu raditi osobe koje imaju odgovarajuću stručnu spremu a koje udovoljavaju zdravstvenim uvjetima propisanim ovim Pravilnikom. Tako s izvorima ionizirajućeg zračenja mogu raditi lica koja imaju najmanje IV stupanj stručnosti. Pravilnik nadalje detaljno navodi liječnike i njihove specijalizacije za koje je predviđen rad s izvorima ionizirajućih zračenja. Nadalje je navedeno da s rendgen aparatima mogu raditi i osobe koje imaju VI ili IV stupanj stručnosti radiološkog smjera. Izuzetak su jedino zubni tehničari i zubni asistenti, ali uz uvjet da su osposobljeni za rad s tim aparatima i za sprovođenje mjera zaštite od ionizirajućih zračenja, te da imaju dokaze o tome. Na poslovima zaštite od ionizirajućih zračenja, u praksi se, ponegdje nailazi na nedoumice iako je član 7 ovog pravilnika jasan. Na poslovima zaštite od ionizirajućih zračenja mogu raditi: nuklearni fizičar, radiokemičar, specijalist medicinske nuklearne fizike, magistar znanosti za primjenu radionuklida i zaštitu od ionizirajućih zračenja, specijalist radiobiolog, specijalist medicine rada, interne medicine ili radiologije s užom specijalizacijom iz radiološke zaštite. Nadalje i osobe koje imaju VI ili IV stupanj stručnosti radiološkog usmjerenja i druge osobe koje imaju najmanje IV stupanj stručnosti, koje su u toku školovanja ili dopunskog obrazovanja osposobljene za rad na poslovima zaštite od ionizirajućeg zračenja, a da pri tome imaju dokaze o tome.

S izvorima ionizirajućih zračenja ne smiju raditi osobe koje imaju: oboljenja krvotvornih organa, maligna oboljenja, evolutivna oboljenja očne leće, evolutivnu tuberkulozu, teže poremećaje endokrinih žlijezda, izražena permanentna oštećenja kože uzrokovana djelovanjem ionizirajućih zračenja, teže bolesti kože kao što su sklerodermija, dermatomiozitis, pemfigus i slično, bolesti ovisnosti, živčane i duševne bolesti, odnosno, ako imaju druge funkcionalne ili organske bolesti što ih utvrdi liječnik određene zdravstvene organizacije. Nadalje, detaljno je naveden obim i rokovi prethodnih i periodičnih pregleda. Nažalost, moramo primjetiti da pojedine zdravstvene ustanove koje su ovlaštene i dužne obavljati zdravstvene preglede u skladu, rokovima i obimu što ih određuje ovaj Pravilnik, to ne čine, ili što je jednako opasno i neodgovorno, samo se djelomično pridržavaju odredbi ovog Pravilnika. U sadašnjem trenutku možemo reći da ima ustanova koje pored aljkavog kliničkog pregleda, totalno zanemaruju ispitivanje binuklearnih limfocita i kromosomskih aberacija. Pravilnikom su propisani kriterijumi koji moraju biti zadovoljeni da bi se radniku dozvolio rad sa izvorima ionizirajućih zračenja. Ukoliko se utvrdi da osoba koja radi sa izvorom ionizirajućeg zračenja ne ispunjava zdravstvene uvjete za rad s tim izvorima, ili je tokom godine bila ozračena dozom većom od dopuštene, o tome se mora obavjestiti radna organizacija u kojoj radnik radi i republički odnosno pokrajinski-sanitarni inspektorat. Dobar dio zdravstvenih ustanova koje obavljaju zdravstvene preglede ne pridržavaju se propisa o obavještavanju sanitarnog organa.

Ad 6.

Ovim se pravilnikom određuje način skupljanja, evidentiranja, obrade, čuvanja konačnog smještaja i ispuštanja radioaktivnih otpadnih tvari u čovjekovu okolinu. Radioaktivne otpadne tvari razvrstane su i obradjene prema svom agregatnom stanju (krute, plinovite; tekuće). Prema specifičnoj aktivnosti, radiotoksičnosti i tehnologijama obrade, krute i tekuće radioaktivne otpadne tvari svrstavaju se u niskoaktivne, srednjeaktivne i visokoaktivne.

Zdravstvene radne organizacije u čijem procesu rada nastaju otpadne radioaktivne tvari dužne su sakupljati, klasificirati, po kategorijama, skupinama i kompresibilnosti, evidentirati, označiti, čuvati, eventualno i transportirati, i provesti sve radove na način koji osigurava nastajanje što je moguće manjih količina radioaktivnih otpadnih tvari, uvažavajući sigurne radne uvjete, zaštitu od zračenja i ekonomske kriterije. Način skupljanja, obrade, čuvanja i konačni smještaj kao i način smještaja, detaljno su određeni ovim Pravilnikom. Ponovo moramo naglasiti da se dio ovih odredbi takodjer u određenom broju ustanova ne primjenjuje.

ZAKLJUČAK:

Savezni zakonski propisi, Zakon o zaštiti od ionizirajućih zračenja i o posebnim mjerama sigurnosti pri upotrebi nuklearne energije, te pravilnici koji su doneseni na njegovoj osnovi, određuju i obavezuju na jedinstven način u cijeloj zemlji primjenu ionizirajućeg zračenja u medicinskoj dijagnostici, medicinskoj terapiji i okolini, a sve u cilju što bolje zaštite profesionalnog osoblja i populacije u cijelini.

Svakodnevno se veliki broj pacijenata izlaže ionizirajućem zračenju, a samim time i medicinsko osoblje koje radi s ionizirajućim izvorima. Nažalost, nepotrebno i nekontrolirano ozračivanje populacije je u porastu. Dosljedno sprovođenje zakonskih propisa obaveza je svakog liječnika, kako liječnika primarne zdravstvene zaštite, tako i liječnika sekundarne i tercijarne zaštite. U interesu naših pacijenata i nas samih potrebno je više pažnje, više razmišljanja, više organizacije, a manje suvišnih olako datih uputnica. Zakonski propisi su radi nas, a ne radi inspektora i kazni.

Biti ću slobodan, i završiti ovaj kratki prikaz citatom prof. Branka Kesića "svijet se uvijek mijenjao i danas se mijenja. Dostignuća duhovne i materijalne kulture u biti su uvijek, i pored pojedinih dekadentnih razdoblja, progresivna i pobudjuju vjeru u budućnost čovječanstva".

LITERATURA

1. IAEA:FACTS ABOUT LOW-LEVEL RADIATION
2. S1.1.SFRJ 62/23.11.1984: ZAKON O ZAŠTITI OD IONIZIRAJUĆIH ZRAČENJA I O POSEBNIM MJERAMA SIGURNOSTI PRI UPOTREBI NUKLEARNE ENERGIJE
3. S1.1.SFRJ 40/18.7.1986: Pravilnici
4. NARODNE NOVINE 18/12.6.1981: Zakon o mjerama za zaštitu od ionizirajućih zračenja i za sigurnost nuklearnih objekata i postrojenja.

OSNOVNI POJMOVI I PRINCIPII U OBLASTI RADIJACIONE DOZIMetriJE I ZAŠTITE

1. ELEMENTI FIZIKE JONIZUJUĆIH ZRAČENJA

U dozimetriji i zaštiti od jonizujućih zračenja najčešće se srećemo sa radijacionim poljima. Pod radijacionim poljem se podrazumeva oblast prostora u kome svakoj tački odgovara neka fizička veličina (vektorska ili skalarna) koja je karakteristika polja. U osnovi radijaciono polje može da se razmatra pomoću čestica od kojih je sastavljeno. Najjednostavnije okarakterisati neko radijaciono polje može se pomoću vrste, energije, pravca i broja čestica. Fizičke veličine kojima se izražavaju ove karakteristike su fluens i jačina fluensa, fluens energije i jačina fluensa energije radijacionog polja. Pri tome su po definiciji

fluens, ϕ , čestica je odnos dN kroz da , gdje je dN broj čestica koji udje u sferu poprečnog preseka da

$$\phi = \frac{dN}{da}$$

jačina fluensa, $\dot{\phi}$, čestica je odnos $d\phi$ kroz dt , gde je $d\phi$ inkrement fluensa čestica u vremenskom intervalu dt

$$\dot{\phi} = \frac{d\phi}{dt}$$

fluens energije, ψ , čestica je odnos dEn kroz da , gde je dEn - zbir energija isključujući energije mirovanja, svih čestica koje udju u sferu poprečnog preseka da

$$\psi = \frac{dEn}{da}$$

jačina fluensa energije, $\dot{\psi}$, je odnos $d\psi$ kroz dt , gde je $d\psi$ inkrement fluensa energije u vremenskom intervalu dt

$$\dot{\psi} = \frac{d\psi}{dt}$$

U daljem izlaganju razmotrićemo, ukratko, neke osobine čestica, koje danas poznajemo, kao i njihove međusobne interakcije i njihove interakcije s materijalnim sredstvima. Pri tome ćemo se nešto šire i detaljnije zadržati na vrstama i osobinama fundamentalnih čestica, verujući da poznavanje te materije doprinosi i boljem poznavanju i razumevanju uže oblasti kao što je dozimetrija i zaštita od jonizirajućih zračenja.

Elementarne čestice

Strogu definiciju elementarnih čestica je teško dati jer, istorijski gledano, nešto što se na datom stupnju fizike smatralo sasvim elementarnim, u smislu da se ne sastoji iz manjih delova, često se kasnije pokazivalo da nije

tako. Mi ćemo ovde pod elementarnim česticama podrazumevati sve subnuklearne čestice.

Svaka elementarna čestica okarakterisana je sa više veličina, od kojih su neke kao što su masa, naelektrisane, spin dobro poznate iz srednjoškolskih udžbenika, dok se druge, kao što su izospin, leptonski i barionski broj, stranaost, šarm, lepota itd., izučavaju u specijalizovanim kursevima atomske i nuklearne fizike i fizike elementarnih čestica.

Elementarne čestice mogu da se transformišu, stvaraju, nestaju i vežu u sisteme pomoću nekoliko vrsta sila. U subatomske fizici često se umesto izraza sila, upotrebljava izraz interakcija. Ustvari u prirodi su poznate četiri vrste sila-interakcija: jake, elektromagnetsne, slabe i gravitacione. Razmotrićemo svaku od navedenih interakcija.

J a k e i n t e r a k c i j e: ovaj vid interakcija obezbeđuje vezu između nukleona (protona i neutrona) u jezgru i odgovoran je za interakcije između bariona - čestica sa većom masom od mase nukleona. Radijus dejstva ovih interakcija (sila) je oko 10^{-15} m. Radi poredjenja sa drugim interakcijama uzećemo da je jačina jakih interakcija jednaka jedinici.

E l e k t o m a g n e t n e i n t e r a k c i j e: deluju između naelektrisanih čestica. Relativna jačina je oko 10^{-2} . Ove interakcije su odgovorne, između ostalog, za gama raspad i vezivanje elektrona u atomu. Radijus dejstva je neograničen ($r = \infty$).

S l a b e i n t e r a k c i j e: ove interakcije su odgovorne za sve vidove β -raspada i za mnoge raspade elementarnih čestica. Relativna jačina je 10^{-14} do 10^{-13} . Domet je reda veličine 10^{-15} m.

G r a v i t a c i o n e i n t e r a k c i j e: Univerzalne sile dejstva. Radijus dejstva beskonačan ($r = \infty$). Relativna jačina reda veličine 10^{-38} . U procesima mikrosveta gravitacione sile ne igraju nikakvu značajnu ulogu.

Elementarne čestice se obično dele u četiri grupe:

- fotoni
- leptoni
- mezoni hadroni
- barioni

Pre nego što predjemo na razmatranje pojedinih grupa elementarnih čestica, zadržaćemo se na pojmu antičestica. Za svaku elementarnu česticu eksperimentalno je nadjena a n t i č e s t i c a. Tako, na primer, antičestica elektrona (e^-) je pozitron (e^+). Njegovo postojanje je predskazao teorijski Dirak 1928. godine a eksperimentalno je otkriven 1932. godine u kosmičkom zračenju. U 1955. godini otkriven je antiproton a 1956. antineutron. Karakterističan proces interakcije čestica i antičestica je a n i h i l a c i j a. U procesu anihilacije čestice i antičestice iščezavaju pretvarajući se u druge čestice male mase (ili sa velikom kinetičkom energijom) ili u elektromagnetno zračenje (fotone).

Razmotrimo sada karakteristike navedenih elementarnih čestica.

1. FOTONI, γ , kvanti elektromagnetnog polja, učestvuju u elektromagnetnim interakcijama, ali ne poseduju slabe i jake interakcije.

2. LEPTONI su dobili svoje ime od grčke reči "leptos", što znači lak. U ovu grupu spadaju čestice koje ne interaguju preko jakih sila. To su čestice: elektron (e^-), elektronski neutrino (ν_e); mion (μ^-), mionski neutrino (ν_μ), tau lepton (τ^-) i tau neutrino (ν_τ) i antičestice; pozitron (e^+), elektronski

antineutrino ($\bar{\nu}_e$); + mion, mionski antineutrino ($\bar{\nu}_\mu$), τ^+ lepton i tau antineutrino ($\bar{\nu}_\tau$).

Svi leptoni poseduju slabe sile, i oni koji su naelektrisani interaguju i preko elektromagnetnih sila.

3. MEZONI. U ovu grupu spadaju π -mezoni ili pioni (π^+ , π^- i π^0), K-mezoni ili Kaoni (K^+ , K^- , K^0 i \bar{K}) i η -mezon. Za razliku od leptona mezoni poseduju ne samo slabe j elektromagnetne interakcije, već interaguju i preko jakih sila.

4. BARIONI: Sadrže nukleone (n, P) i nestabilne čestice sa masom većom od mase nukleona. Ove čestice se često zovu i hiperoni (λ , Σ^+ , Σ^0 , Σ^- , Ξ^0 , Ξ^- i Ω). Ovoj listi barione treba dodati i njihove antičestice (\bar{p} , \bar{n} , $\bar{\lambda}$, $\bar{\Sigma}^+$, $\bar{\Sigma}^-$, $\bar{\Xi}^0$, $\bar{\Xi}^-$, $\bar{\Omega}$). Svi barioni poseduju jake interakcije.

Pored gore navedenih čestica, eksperimentalno je opažen veliki broj ekstremno kratkoživućih čestica koje nose zajednički naziv r e z o n a n c e. Ove čestice predstavljaju rezonantna stanja nagradjena dvema ili većim brojem već navedenih elementarnih čestica. Vreme života ovih čestica iznosi oko $10^{23} - 10^{22}$ s.

Zgodno je na ovom mestu pomenuti i tri čestice nedavno otkrivene (1982-1983), W^\pm i Z^0 - vektorski intermedijarni bozoni, koji su prenosioci slabih interakcija, a čije je otkriće od fundamentalnog značaja za potvrdu novih teorija o ujedinjenim (elektromagnetnim i slabim) silama.

Veliki broj elementarnih čestica (i rezonanci) postavio je pred fizičare pitanje njihove klasifikacije. U posljednjim godinama veliki uspeh je postigla klasifikacija hadrona na osnovu modela kvarkova. Saglasno tome modelu (koji je bio predložen šezdesetih godina) svaki hadron se sastoji i od dve ili tri uistinu elementarne čestice - k v a r k o v a, koji poseduju veoma neobična svojstva (npr. imaju naelektrisane $\pm e/3$ i $\pm 2e/3$). Sada se misli da postoji šest kvarkova (označeni slovima u, d, s, c, b, t) i isto toliki broj antikvarkova (\bar{u} , \bar{d} , \bar{s} , \bar{c} , \bar{b} , i \bar{t}). Kvarkovi interaguju izmedju sebe izmenjujući čestice koje se zovu g l o n i. I pored velikih napora kvarkovi do sada nisu opaženi slobodni u prirodi.

Interakcije jonizujućih zračenja i materije

Reč interakcija u smislu u kom se upotrebljava ovde znači medjusobno dejstvo jonizujućeg zračenja i materijalne sredine - supstance (gradova; tvari). Da bismo razumeli to medjusobno dejstvo pogledaćemo izvesne, karakteristike aktera tih delovanja - zračenja i materije.

Osnovne osobine jonizujućeg zračenja

Pod jonizujućim zračenjem podrazumevamo elektromagnetno i čestično zračenje koje je sposobno da izazove jonizaciju kroz neku materijalnu sredinu. Sa gledišta dozimetrije i zaštite od jonizujućeg zračenja možemo ih podeliti u četiri grupe:

1. elektromagnetno zračenje (fotoni, tj. X i gama zračenje)
2. Teške naelektrisane čestice (α -čestice, protoni, deutroni, itd)
3. Elektroni
4. Neutroni.

Veličine koje direktno odredjuju ponašanje čestica pri prolasku kroz neku materijalnu sredinu su njegova masa, naelektrisanje i veličina. U tablici 1 date su te veličine za neke od jonizujućih čestica sa kojima se najčešće

srećemo u dozimetriji i zaštiti od zračenja.

Tablica 1. Osnovne osobine nekih jonizujućih zračenja

Zračenje	Masa		Naelektrisanje	veličine
	u AMJ	u kg		
alfa, α	4	$6,7 \cdot 10^{-27}$	+2	$\sim 10^{-13}$
proton, P	1,0072	$1,672 \cdot 10^{-27}$	+1	$\sim 10^{-13}$
beta, β	$\frac{1}{1840}$	$9,1 \cdot 10^{-31}$	1	$\sim 10^{-15}$
foton, x, γ	0	0	0	-
neutron, n	1,0074	$1,674 \cdot 10^{-27}$	0	$\sim 10^{-13}$

Neke osobine materije

Mi ovde govorimo o materiji u smislu supstance (tvari, gradiva) koje ispunjava neku sredinu. Ona se sastoji iz **a t o m a i m o l e k u l a**.

Kao što je poznato atomi su čestice koje se sastoje iz elektrona, protona i neutrona, s tim što su protoni i neutroni smešteni u jezgru atoma, a elektroni se kreću oko jezgre u omotaču atoma. Pri tome samo odredjen odnos broja protona i neutrona u jezgru daje stabilna jezgra. U prirodi postoje 265 stabilnih jezgri. Osnovne veličine koje karakterišu atom odnosno jezgru, su: atomski i maseni broj i poluprečnik jezgre, pri čemu je

- atomski broj, Z jednak broju protona u jezgru odnosno broju elektrona u omotaču atoma,
- maseni broj, A, jednak je ukupnom broju nukleona u jezgru, odnosno zbiru broja protona u jezgru (Z) i broja neutrona u jezgru (N): $A=Z + N$,
- radijus (poluprečnik) jezgra: za jezgro masenog broja A dat je izrazom

$$R_j = 1,3 \cdot 10^{-15} \sqrt[3]{A} \text{ m}$$

- radijus (poluprečnik) atoma: $R_A = 10^{-10} \text{ m}$

MOLEKULI: atomi, istorodni ili raznorodni, mogu da se vezuju u veće celine - molekule. Molekuli su najmanje stabilne čestice materije koje poseduju hemijske osobine. Oko sto elemenata u prirodi može da da praktično beskonačan broj različitih vrsta molekula.

Pri interakciji zračenja sa materijalnim sredinama dolazi do promena kako kod samog zračenja tako i posmatranoj sredini. Kod bioloških efekata, koji nas ovde najviše i interesuju, predominantan uzročnik bioloških povreda je proizvodnja jona u živom tkivu, izazvana zračenjem. Zbog svega toga zadržaćemo se, ukratko, na fizičkim fenomenima preko kojih se energija jonizujućeg zračenja prenosi u materijalnu sredinu odnosno na konstituente materijalne sredine.

Elektromagnetno zračenje (fotoni)

Apsorpcija fotona (kvanata elektromagnetnog zračenja) je kompleksan proces, jer u tome učestvuju (uglavnom) tri mehanizma od kojih je svaki ponasob kompleksan. Ta tri osnovna procesa su:

- a) fotoelektrični efekt
- b) Komptonov efekt
- c) stvaranje parova

Prostor i vreme ne dozvoljavaju detaljno razmatranje ova tri procesa. Zbog toga ćemo se ovde zadržati samo na nekim najbitnijim aspektima.

a) Fotoelektrični efekt

U fotoelektričnom efektu foton energije E interaguje sa elektronom iz omotača atoma na taj način što mu predaje svu svoju energiju i izbacuje ga iz atoma. Taj proces izbacivanja elektrona iz atoma zove se **j o n i z a c i j a**. Energija fotona pri tome se delimično gubi na energiju koja je potrebna da se utroši da bi elektron otrgnuli od atoma, B_e , koja se zove energija veze, a delom se pojavljuje kao kinetička energija izbačenog elektrona, E_k , dakle

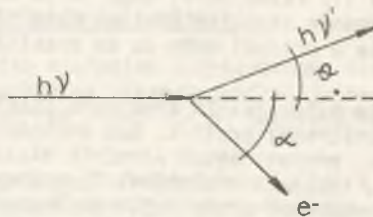
$$E_\gamma = E_e + B_e$$

Verovatnoća da se fotoefekt odigra je funkcija energije upadnih fotona i atomskog broja Z , materijalne sredine. Veličina koja je mera te verovatnoće zove se **e f i k a s n i p r e s e k**, σ . Efikasni presek za fotoefekat uzima se da je proporcionalan

$$\sigma \sim \frac{Z^n}{E^m} \quad \begin{array}{l} n = 4,5 \\ m = 3 \end{array}$$

b) Komptonov efekat

U Komptonovom efektu foton se rasejava na elektronu iz omotača i gubi samo deo svoje energije, koju predaje elektronu. Energija upadnog fotona u Komptonovom efektu je toliko veća od vezivne energije elektrona da se ovaj poslednji može smatrati slobodnim. Bitna razlika između fotoefekta i Komptonovog efekta jest da u prvom foton potpuno iščezava, dok u drugom foton ostaje kao takav, samo sa smanjenom energijom. Na slici 1. dat je šematski prikaz Komptonovog efekta.



S1. 1. Šematski prikaz Komptonovog efekta

Zavisnost Komptonovog efekta od Z-materijale i upadne energije fotona data je izrazom

$$\sigma_c \sim \frac{Z}{E_\gamma}$$

c) Stvaranje parova

Kod stvaranja parova upadni foton se apsorbira u jezgru atoma i pri tome se stvara elektronsko-pozitronski par. Balans energije u ovom procesu dat je izrazom

$$E_\gamma = E_k^- + E_k^+ + 2m_0c^2$$

gde su E_γ - energija upadnog fotona, E_k^+ i E_k^- - kinetičke energije nastalog pozitrona odnosno elektrona, i $2m_0c^2$ - zbir energija mirovanja pozitrona i elektrona. Zavisnost od Z i E_γ data je izrazom

$$\sigma_p \sim Z^2 \ln E_\gamma$$

Iz zavisnosti efikasnog preseka od atomskog broja sredine i energije upadnog zračenja fotona, mogu se izvući sledeći zaključci:

- (1) fotoelektrični efekat dominira pri nižim energijama, naročito za visoko Z
- (2) Komptonov efekat dominira pri srednjim energijama, naročito za nisko Z
- (3) proizvodnja parova dominira pri visokim energijama, naročito za visoko Z.

PROLAZ FOTONSKOG ZRAČENJA KROZ MATERIJU. Slabljenje fotona pri njihovom prolasku kroz materijalnu sredinu ima eksponencijalni karakter, u prvom redu što je foton interakcijom, "uklonjen" iz samog snopa. Ako sa I_0 označimo intenzitet snopa zračenja koji upada na sloj debljine x, onda je intenzitet tog snopa, I, poslije prolaska kroz taj sloj materijala dat izrazom

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

gde je μ parametar koji se zove linearni koeficijent slabljenja. Ova formula važi za takozvani uzak snop fotona. Kada se radi o širokom snopu zračenja koristi se formula

$$I = B(E_\gamma, Z, \mu x) I_0 e^{-\mu x}$$

gde je B - faktor nagomilavanja koji zavisi od energije upadnih fotona, atomskog broja sredine i proizvoda μx . Vrednosti za B se mogu naći u specijalizovanim tablicama.

Teške naelektrisane čestice

Karakteristična osobina apsorpcije nerelativističkih teških naelektrisanih čestica jeste da one imaju konačan i dobro definisan domet u materijalnim sredinama. Ovo je različito od fotona i neutrona, kod kojih imamo eksponencijalno slabljenje, ili od elektrona koji nemaju dobro definisan domet u materijalnim sredinama.

Teške naelektrisane čestice interaguju sa konstituentima neke materijalne sredine preko elektromagnetnih interakcija, izazivajući njihovu jonizaciju.

Veličine koje karakterišu prolaz teških naelektrisanih čestica kroz materiju su dE/dx - zaustavna moć i R - domet. Zaustavna moć, koja ustvari predstavlja energiju koju teška naelektrisana čestica gubi po jedinici puta, data je Bete-ovom formulom

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4NZ^2e^4NZ}{mV^2} \left[\ln \frac{2mV^2}{I(1-\beta^2)} - \beta^2 \right]$$

gde su

- Z, e - naelektrisane upadne čestice
- V - brzina upadne čestice
- m - mase mirovanja elektrona
- N - gustina atoma apsorbera
- Z - atomski broj apsorbera
- I - efektivni jonizacioni potencijal materijalne sredine.

Kada je zaustavna moć poznata u funkciji energije za datu tešku naelektrisanu česticu, srednji domet R u apsorbujućoj sredini dat je izrazom

$$R = \int_0^R dx = \int_0^R dE / \left(-\frac{dE}{dx} \right)$$

Često se, a naročito pri nižim energijama domet teških naelektrisanih čestica određuje eksperimentalno.

Elektroni

Apsorpcija elektrona u materiji je mnogo komplikovanija. Ova kompleksnost dolazi od činjenice da postoje dva mehanizma koji doprinose procesima gubitka energije preko sudara sa atomima i preko zakočnog zračenja. Ukupna zaustavna moć koja je data izrazom

$$\left(\frac{dE}{dx} \right) = \left(\frac{dE}{dx} \right)_S + \left(\frac{dE}{dx} \right)_{\text{rad}}$$

gde prvi član predstavlja gubitak energije elektrona usled sudara sa atomima sredine a drugi član daje gubitak energije elektrona usled toga što elektron koji skreće u polju jezgra gubi svoju energiju emitirajuće elektromagnetno

zračenje - fotone. Ovo zračenje zove se zakočno zračenje.

Neutroni

Interakcija neutrona sa materijom je dosta kompleksna, ali su koncepti efikasnog preseka i procesa eksponencijalnog slabljenja u ovom slučaju identični kao kod fotona. Sa gledišta interakcije sa materijom neutroni se obično dele na nekoliko grupa:

- termalni 0,025 eV - 0,1 eV
- epitermalni 0,1 - 1 eV
- spori 1 - 10 eV
- rezonantni 10 - 300 eV
- intermedijarni 0,3 - 500 KeV-a
- brzi 0,5 - 20 MeV-a

Neutroni interaguju sa materijom preko elastičnih i neelastičnih sudara, nuklearnih zahvata, tipa (n,p) , (n,α) i (n,γ) i $(n,2n)$ reakcija.

REFERENCE

Zainteresovan čitalac može naći materijal obradjen u ovom predavanju detaljnije i šire izložen u mnogim specijalizovanim knjigama. Navedimo ovde samo dve od njih:

1. M. Mladjenović, Prolaz zračenja kroz materiju, Beograd, 1975. (ista knjiga izdana je i na engleskom pod naslovom Radioisotope and Radiation Physics, Academic Press, 1973).
2. K.N. Muhin, Zanimateljnjaja jedernaja fizika, Energoatomizdat, Moskva 1985.

2. RADIJACIONE VELIČINE I JEDINICE

2.1. Opšta razmatranja

U fizici jonizujućih zračenja i zaštiti od tih zračenja, susrećemo se sa izvesnim brojem veličina i jedinica koje su deo velike familije fizičkih veličina i jedinica. U ovom predavanju, razmotrićemo nešto detaljnije one od njih koje se najčešće koriste u praktičnom radu.

Uopšte uzev, pod fizičkom veličinom podrazumevamo merljivo svojstvo ili karakteristiku fizičke pojave ili fizičkog objekta. U stvari, tek uvođenjem fizičke veličine omogućava se definisanje i same pojave, njeno dublje poimanje, kroz poimanje procesa koji u toj pojavi sudeluju.

Svaka fizička veličina može da se izrazi kao proizvod jednog broja, koji se zove brojna vrednost veličine, i jedne jedinice, koja predstavlja tačno definisan iznos fizičke veličine o kojoj je reč. Ako neku fizičku veličinu označimo sa Q , onda, saglasno rečenom, možemo da napišemo

$$Q = \{Q\} \cdot |Q|$$

gde $|Q|$ označava jedinicu izabranu za veličinu Q , a $\{Q\}$ simboliše brojnu vrednost veličine Q kada je ova izražena u jedinici $|Q|$.

Množene ili deljenje fizičkih veličina iste ili različite prirode daje novu fizičku veličinu. Relacije te vrste zovu se jednačine između veličina, i uopšte uzet imaju sledeći oblik

$$Q_{n+1} = k Q_1^{\alpha_1} Q_2^{\alpha_2} \dots Q_n^{\alpha_n}$$

gde Q - označava fizičku veličinu, α_i je realan, negativan ili pozitivan broj i k - brojni koeficijent.

Po analogiji sa jednačinama između veličina u nauci i tehnologiji se koriste jednačine između brojnih vrednosti.

Moguće je sistem fizičkih jedinica definisati tako da jednačine između brojnih vrednosti imaju potpuno identični oblik kao odgovarajuće jednačine između veličina. Sistem jedinica definisan na takav način zove se koherentan. Takav sistem jedinica je SI-sistem (le Systeme International d'Units (SI)).

2.2. SI jedinice

Koherentan SI sistem jedinica je zasnovan na principu da mora postojati jedna i samo jedna jedinica za svaku fizičku veličinu. Sistem se sastoji od sedam osnovnih i seta izvedenih jedinica. Sedam osnovnih jedinica se koriste za sedam osnovnih veličina, izabranih tako da se mogu smatrati međusobno nezavisnim. Ovih sedam veličina, zajedno sa odgovarajućim jedinicama i simbolima date su u tablici 1. Sve ostale fizičke veličine i njihove jedinice zovu izvedene veličine i izvedene jedinice. Ovome treba dodati i dve čisto geometrijske jedinice: radian (rad) i steradian (sr), koje se zovu pomoćne jedinice.

TABLICA 1. Osnovne SI veličine i jedinice

Osnovne fizičke veličine	Simbol za veličinu	Naziv jedinice	Simbol za SI-jedinicu
dužina	l	metar	m
masa	m	kilogram	kg
vreme	t	sekund	s
električna struja	I	amper	A
termodinamička temperatura	T	kelvin	K
količina građiva	n	mol	mol
jačina svetla	I	kandela	Cd

2.3. Radijacione veličine i jedinice

U ovom delu razmotrićemo detaljnije neke od radijacionih veličina koje se najčešće koriste u praktičnom radu pri primeni jonizujućih zračenja u industriji, medicini i drugim oblastima ljudske delatnosti.

2.3.1. Aktivnost SI-jedinica aktivnosti

Aktivnost, A , izvesne količine radioaktivnih jezgara je količnik dN kroz dt , gde je dN -broj spontanih nuklearnih transformacija koje se odigraju u toj količini radioaktivnih jezgara za vreme dt .

$$A = \frac{dN}{dt}$$

Treba naglasiti da je aktivnost mera količine radioaktivnog materijala, jer izraz "broj transformacija" nije sinonim sa izrazom "broj čestica" koje emituje radioaktivni izraz. Tako, na primer, u slučaju ^{60}Co svaki raspad (transformacija) daje jednu beta česticu i dva gama fotona, dakle ukupno tri čestice po jednoj transformaciji (raspadu).

SI-jedinica aktivnosti je recipročno sekunda (s^{-1}) i definisana je kao aktivnost radioaktivnih jezgara u radioaktivnom izvoru u kome se u jednoj sekundi odigrava jedan raspad. Specijalno ime za ovu jedinicu je bekereel, Bq pri čemu je

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$$

2.3.2. Apsorbovana doza SI-jedinica apsorbovane doze

Poznavanje apsorbovane energije u nekoj sredini, kada je ova ozračena jonizujućim zračenjem je od fundamentalnog značaja pri izučavanju i razumevanju odgovarajućih promena u posmatranoj sredini. Ova činjenica je dovela do toga da je 1953. god. definisana i uvedena u upotrebu veličina apsorbovane doze, D , koja je definisana kao

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$$

gde je $d\bar{\epsilon}$ - srednja vrednost energije koju jonizujuće zračenje predaje materijalnoj sredini u elementu zapremine, dm - je masa tog elementa zapremine.

Izvedena jedinica za apsorbovanu dozu u SI-sistemu je Joul/kilogram, a specijalno ime za tu jedinicu je Grej (Gray). Dakle,

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

Jačina apsorbovane doze definiše se kao

$$D = \frac{dD}{dt}$$

gde je dD - priraštaj apsorbovane doze u vremenskom intervalu dt .

Izvedena jedinica za jačinu apsorbovane doze zračenja u SI-sistemu je

$$\frac{1 \text{ Wat}}{1 \text{ kilogram}} = \frac{1 \text{ W}}{1 \text{ kg}} = \frac{1 \text{ Gy}}{1 \text{ s}}$$

2.3.3. Ekspoziciona doza, SI-jedinica ekspozicione doze

Po definiciji, ekspoziciona, X , doza je odnos dQ kroz dm , gde je dQ apsolutna vrednost ukupnog naelektrisanja jona jednog znaka proizvedenog u vazduhu kada su svi elektroni (negatroni i pozitroni) oslobodjeni fotonima u datom elementu zapremine vazduha mase dm potpuno zaustavljeni u vazduhu, tj.

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

Iz gornje definicije vidi se da ekspoziciona doza kao fizička veličina karakteriše sposobnost iks i gama zračenja da proizvedu jonske parove u vazduhu.

Izvedena SI-jedinica za ekspozicionu dozu je

$$\frac{1 \text{ Kulon}}{1 \text{ kilogram}} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ kg}}$$

Jačina ekspozicione doze definiše se kao

$$X = \frac{dX}{dt}$$

gdj je dX - priraštaj ekspozicione doze iks i gama zračenja u vremenskom intervalu dt . Izvedena SI- jedinica za jačinu ekspozicionu dozu je

$$\frac{1 \text{ Kulon}}{1 \text{ kilogram} \cdot 1 \text{ sekunda}} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ s}}$$

2.3.4. Ekvivalentna doza, Efektivna ekvivalentna doza

Uopšte uzev, biološka efikasnost date apsorbovane doze zavisi od: (a) vrste zračenja i (b) uslova ozračivanja. Zavisnost od vrste zračenja, znači da isti iznos apsorbovane energije u biološkim sistemima od strane različitih vrsta jonizujućih zračenja (alfa, beta, itd.) neće proizvesti isti biološki efekat. Primeri uslova ozračivanja su prostorna raspodela doze i kompleksni vidovi jačine primljene doze za duži period. Da bi se uzele kvantitativno u obzir te činjenice, uvedena je veličina ekvivalentna doza, H , koja je definisana kao

$$H = Q \cdot N \cdot D$$

gde je D - apsorbovana doza, Q - je faktor kakvoće i N - je ma koji drugi modifikujući faktor. Za potrebe zaštite od zračenja uzima se da je faktor N jednak jedinici vrednosti za Q - faktor su: za iks i gama zračenja $Q=1$, za teške naelektrisane čestice, fragmente fisije i brze neutrone $Q=20$, za protone $Q=10$.

SI-jedinica ekvivalentne doze je 1 Joul/1 kilogram. Specijalno ime za SI-jedinicu ekvivalentne doze je svert (Sv), pri čemu je

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ Jkg}^{-1}$$

Tablica 2. Vrednosti za \bar{Q}

Vrsta zračenja	\bar{Q}
X-zraci, gama zraci i elektroni	1
Neutroni*, protoni i jedanput naelektrisane čestice čija je masa mirovanja veća od jedne atomske masene jedinice	10
- čestice i višestruko naelektrisane čestice	20

* Za termalne neutrone $\bar{Q} = 2,3$.

Za procenu štetnosti pri neuniformnom ozračivanju celog tela, uvodi se veličina efektivne ekvivalentne doze, H_E , koja je definisana kao

$$H_E = \sum_i W_i H_i$$

gde je H_i srednja ekvivalentna doza u i -tom tkivu, a W_i je težinski faktor koji predstavlja deo štetnosti od stohastičkih efekata koji dolazi od i -tog tkiva u odnosu na ukupnu štetu od stohastičkih efekata kada je celo telo ravnomerno ozračeno. Vrednosti za W_i date su u tablici 2.

TABLICA 2. Vrednosti za W_i

Tkivo	W_i
Gonade	0,25
Dojke	0,15
Koštana srž	0,12
Pluća	0,12
Štitnjača	0,03
Kosti	0,03
Ostalo	0,30

2.3.5. Ostale radijacione veličine

Pored gore diskutovanih radijacionih veličina, u fizici zračenja, atomskoj i nuklearnoj fizici i zaštiti od zračenja, koristi se niz drugih radijacionih veličina. Zainteresovan čitalac može o tome više naći u odgovarajućim knjigama i drugim referencama od kojih su neke navedene niže.

REFERENCE

1. Current Problems and Concerns of Health Physicist; Edited by P.D. Marković (1976)

2. ICRU - Report 33, Pergamon Press, 1981
3. UNSCEAR Report to the United Nations General Assembly, United Nations, New York (1982)
4. P.D. Marković, Koncepti kolektivne ekvivalentne doze i kolektivne efektive ekvivalentne doze i njihove primene u zaštiti od zračenja, Zbornik radova, XIII jugoslovenski Simpozijum zaštite od zračenja, Knjiga I, str. 1, (1985)

3. OSNOVNI PRINCIPI ZAŠTITE OD JONIZUJUĆIH ZRAČENJA

3.1. Uvodna razmatranja

3.1.1. Do osnivanja MKRZ

Štetno dejstvo jonizujućih zračenja na ljudski organizam bilo je opaženo pre nego što se za jonizujuća zračenja i znalo. Još početkom šesnaestog veka opaženi su neobično učestale bolesti pluća kod radnika u rudnicima kobalta u Saksoniji i u rudnicima plehblende u Joahimove u češkoj (1). Naravno u to vreme ljudi nisu mogli da budu svesni da su obolenja, pa i smrt, ovih rudara dolazila usled udisanja produkata radona koji je oslobođen od uranskih minerala u stenama rudnika. Otkrivanjem X-zraka i njihovom primenom, u prvo vreme uglavnom u medicinske svrhe, uočeni su fiziološki efekti kod ljudi koji su radili sa njima.

Najranija zabeležena povreda od X-zraka datira od januara 1896 od strane Grubea i iste godine u martu od strane Edisona (2,3). Interesantno je napomenuti da je jedan od prvih koji je opazio štetno dejstvo X-zračenja i ukazao na način kako da se štitimo od njih bio i Nikola Tesla (4).

Pošto je štetnost zračenja bila nedvosmisleno konstatovana bile je potrebno utvrditi izvesne nivoe ozračivanja koji bi se mogli smatrati tolerantnim za osobu izloženu tim zračenjima.

Prvi organizovan korak u pravcu stvaranja jedne organizacije zaštite od zračenja učinjen je od strane Britanskog rentgenskog društva 1915 godine (5). Pet godina kasnije u SAD je ustanovljen Komitet za zaštitu od zračenja (6). Do sredine dvadesetih godina ovog veka u mnogim tehnički razvijenim zemljama ustanovljene su ove ili one forme zaštite od zračenja i prihvaćene odgovarajuće norme, razvijene na njihovim sopstvenim istraživanjima i iskustvima. Pored Amerike i Engleske, najaktivnije zemlje na tom planu su bile pre svega Švedska, a zatim Holandija, Sovjetski Savez, Nemačka i Francuska (7). Interesantno je napomenuti da nije bilo značajnijih razlika između ovih zemalja kako u pogledu filozofije zaštite, tako i u pogledu usvojenih normi, i ako je rad na tome bio u znatnoj meri nezavisan.

3.1.2. Osnivanje i delatnost MKRZ

Počev od 1928 godine problem utvrdjivanja i preporučivanja raznih normi iz oblasti zaštite od zračenja, i počinje da se razmatra organizovano na međunarodnom planu. Saglasno dogovoru postignutom na Prvom Međunarodnom kongresu radiologa, održanom 1925 godine u Londonu, te 1928 godine je u Štokholmu pod njegovim pokroviteljstvom je osnovana Međunarodna Komisija za radiološku zaštitu - MKRZ (International Commission on Radiological Protection - ICRP) "kao telo koje daje opšte norme za sve šire korišćenje zračenja izazvanog brzim razvojem na polju nuklearne energije".(8) Status komisije i sadržaj njenog rada je diskutovan i odobren 1931 godine u Ligi naroda (9). Svoju sadašnju

organizacionu formu MKRZ je ustanovila 1950 godine, da bi efektivnije obuhvatila brzo širenje primene veoma raznorodnih izvora zračenja i potrebe odgovarajuće zaštite (10). Danas se MKRZ sastoji iz Glavne komisije i četiri komiteta, i to: Komitet 1 - o efektima zračenja; Komitet 2 - o unutrašnjem ozračivanju; Komitet 3 - o spoljašnjem ozračivanju i Komitet 4 - o primeni Preporuka Komisije, MKRZ - ima zvanično utvrđene odnose sa Medjunarodnom Agencijom za Atomsku Energiju - MAAE (International Atomic Energy Agency - IAEA) i Svetskom Zdravstvenom Organizacijom (World Health Organization - WHO), kao i veoma bliske odnose sa nekim drugim organizacijama kao što su UNSCEAR, UNEP, ILO i druge.

Prve preporuke MKRZ su publikovane 1928 godine, a zatim 1931, 1934 i 1937 godine. Posle reorganizacije Komisije Osnovne preporuke su izdate 1951 i 1955 i 1959 godine. Do skoro važeće Preporuke Komisija je štampala 1969, sa amandmanom iz 1971. Sve ove Preporuke, kao i materijale iz rada svojih komiteta, Komisija izdaje u vidu publikacija, poznatih kao ICRP Publications, koje se počev od 1976 godine objavljuju u časopisu "Annals of the ICRP". Najznačajnija publikacija MKRZ-a u poslednje vreme jeste ona iz 1977. godine; MKRZ Publikacija 26 - Preporuke Medjunarodne Komisije za Radiološku zaštitu (ICRP Publication 26 - Recommendations of the International Commission on Radiological Protection). (11) U ovim preporukama su, kao posledica evolucije znanja u ovoj oblasti, usvojene i preporučene neke nove ideje o prilazu zaštiti od zračenja, što će uticati i već utiče, na izvesne promene u regulativi iz oblasti zaštite od zračenja, kako u pojedinačnim zemljama, tako i na medjunarodnom planu, kroz medjunarodne organizacije, kao što su MAAE i druge

3.2. Preporuke MKRZ, Publikacija 26

3.2.1. Uvod

Prema ovim Preporukama "Zaštita od zračenja se bavi zaštitom pojedinaca, njihovih potomaka i čovečanstva kao celine, dozvoljavajući potrebne delatnosti od kojih može doći do ozračivanja zračenjem".

U pogledu štetnih efekata zračenja Komisija ih deli na dve grupe i to

A. Stohastički efekti - pod kojim podrazumevamo one efekte jonizujućih zračenja za koje je verovatnoća dogadjanja datog efekta, pre nego njegova jačina, funkcija doze zračenja i to bez pojave praga.

B. Nestohastički efekti - su oni efekti jonizujućih zračenja za koje jačina efekta varira sa dozom i za koje može postojati, i obično postoji, prag doze.

Za nivoje doza sa kojima se normalno srećemo u zaštiti od jonizujućih zračenja svi nasledni efekti su stohastički. Od somatskih efekata najvažniji nestohastički efekat je kancerogeneza, koja zbog toga predstavlja i najozbiljniji problem u zaštiti od jonizujućih zračenja.

Za stohastičke efekte ne može se govoriti o bezbednim nivoima izlaganja zračenju, jer je povreda, čak i ona najteža stvar slučajnog dogadjanja i sa smanjivanjem doze zračenja samo se smanjuje verovatnoća da do tog neželjenog dogadjanja dodje, pri čemu se ta verovatnoća ne svodi na nulu.

Neki nestohastički efekti su povezani sa posebnim tkivom ili organom, kao u slučaju katarakta, nemalignih povreda kože, deplicije ćelija itd., dok se drugi pojavljuju u organima ili elementima koji su zajednički za celo telo,

kao što su, naprimer, krvni sudovi. Od nestohastičkih efekata, koji zahtevaju izvestan prag doze zračenja pre nego što se pojave, navešćemo eritemu kože, radijacionu bolest, katarakt očnih sočiva itd.

3.2.2. Veza efekat-doza i faktori rizika

Preporuke MKRZ o granicama doza za stohastičke efekte, o kojima će biti reči kasnije, zasnovane su na linearnoj vezi između doze zračenja i odgovarajućeg stohastičkog efekta. No ova veza, uopšte gledano, nije tako jednostavna, i naprotiv, prilično je kompleksna, i kao takva zavisi od efekta do efekta. Za mnoge vrste radijacionih povreda najbolje slaganje sa eksperimentalnim podacima dobija se ako se pretpostavi da je efekat, E , dat izrazom (12)

$$E = C D^n$$

gde su C i n - konstante a D - doza zračenja za linearnu pretpostavku $n = 1$. U nekim slučajevima imamo da je $n > 1$ ukazujući na manje povrede po greju pri nižim dozama. Za neke druge slučajeve najbolje slaganje sa eksperimentalnim podacima se dobija kada uzmemo da je $n < 1$. Tako, na primer, nadjeno je da za izazivanje raka zračenjem u nekim organima $n = 1/2$, i u tom slučaju linearna hipoteza ne bi bila konzervativna (13). Često se uzima da pojava efekta može da se postavi stepenim redom

$$E = \sum_i a_i D^i$$

gde su a_i - pogodno odabrane konstante. MKRZ - uzima da za zračenje niskog linearnog prenosa energije, efekat u funkciji doze može da bude prikazan sledećim izrazom

$$E = a_1 D + a_2 D^2$$

Kvadratni član $a_2 D^2$ u gornjem izrazu je dominantan za visoke apsorbavane doze, uopšte uzev, preko 1 Greja i pri visokim jačinama doza, reda 1 Grey/min. Linearni član i odgovarajući nagib je dominantan pri malim dozama i jačinama doza, sa kojima se i srećemo u zaštiti od zračenja.

Linearna hipoteza, kaže da pri niskim dozama i jačinama doza, efekat po jednom greju je konstantan. Ovo omogućuje jednostavno sumiranje doza nekog tkiva ili organa kao meru ukupnog rizika, kao i proračun kolektivnog ekvivalenta doze, kao meru ukupne štetnosti za stanovništvo, pri čemu se mora uzeti i pretpostavka da je svaki od stohastičkih efekata nezavisan od doze zračenja.

Ma kakva kvantitativna preporuka o granicama izlaganja one moraju biti povezane sa kvantitativnim procenama rizika, koji ćemo imati pri korišćenju tih granica. U zaštiti od zračenja pod rizikom podrazumevamo verovatnoću da će kod izvesne osobe doći do pojave štetnog efekta usled izlaganja zračenju (14). U Publikaciji 26 MKRZ detaljno diskutuje o vrstama povreda koje mogu da nastanu pri izlaganju niskim dozama i daje procenu učestanosti sa kojom se povrede mogu da pojave, kod pojedinih organa ili tkiva. Ovi, takozvani faktori rizika, dati su u tabeli 2, kao srednje vrednosti za pojedine organe i tkiva pri čemu je naznačena i vrsta najznačajnije povrede.

Za potrebe zaštite od zračenja pojedinaca uzima se da je faktor rizika za zračenjem izazvane kancere oko $10^{-2} Sv^{-1}$.

Tabela 2. Faktori rizika za pojedine organe i tkiva

Tkivo	Gonade (nasledne)	Crevna koštana srž (leukemija)	Kosti (rak)	Pluća (rak)	Štitasta žlezda (rak)	Grudi (rak dojke)	Rizik za rak svih ostalnih organa
Faktor rizika (ri) (Sv-1)	10^{-2}	$2 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$

za oba pola i za sve uzraste. Srednji faktor rizika za nasledne efekte za prve dve generacije je $4 \cdot 10^{-3} Sv^{-1}$.

3.2.3. Sistem ograničavanja doza

U MKRZ publikaciji 26, Komisija je preporučila sistem ograničavanja doza, zasnovan na sledeća tri principa zaštite

- A. Nikakva delatnost ili proizvod sa izvorima jonizujućih zračenja ne mogu da budu odobreni ukoliko odnosna delatnost ili proizvod ne daju pozitivnu neto korist
- B. Svi nivoi izlaganja zračenju moraju biti držani toliko nisko koliko je to razumno moguće postići, uzimajući u obzir ekonomske i društvene faktore
- C. Ekvivalentna doza za pojedince ne treba da predje granice koje preporučuje Komisija za odgovarajuće situacije.

Ove tri komponente sistema ograničenja doza mogu se, respektivno uzev, ukratko izraziti kao

- Opravdanost delatnosti
- Optimizacija zaštite
- Ograničavanje individualnog rizika

Razmotrićemo, ukratko, svaku od ove tri komponente.

A. Opravdanost delatnosti

U principu opravdanosti neke delatnosti ili proizvoda sa izvorima jonizujućih zračenja se dobija analizom rizik/korist, (ili cena/korist), koja treba da obezbedi da je ukupna štetnost dovoljno mala u odnosu na koristi koje dolaze od usvojene delatnosti. Korist uključuje sve prednosti koje društvo dobija, kako one koje se mogu direktno kvantitativno izraziti, tako i ostale.

Najopštije uzev, ceo proces se svodi na određivanje odgovarajuće neto koristi, B, po formuli

$$B = V - (P+X+Y)$$

gde su V-bruto korist; P-osnovna cena koštanja proizvoda; X-cena dostizanja izabranog nivoa zaštite i Y-cena štetnosti od zračenja koja dolazi iz procesa proizvodnje i korišćenja.

Odluka o opravdanosti date delatnosti je u osnovi politička odluka. Kada je u pitanju delatnost sa izvorima zračenja od opšte društvene važnosti, onda ta odluka treba da bude donesena na najvišem nivou u federaciji. Kompetencije organa koji se bave zaštitom od zračenja (sanitarni inspektorati, ovlašćene ustanove za poslove zaštite od zračenja i neke za sada možda još nepostojeće institucije) na nivou opravdavanja date delatnosti su ograničene na procenu radijacionog rizika i eventualno predlog odgovarajućih zaštitnih mera, nikako pri tome ne ulazeći u ocenu koristi različitih predloženih delatnosti.

Uopšte uzev, opravdanost neke delatnosti ili proizvoda sa izvorima jonizujućih zračenja je za aktivnost zaštite od zračenja pretpostavka do koje ona polazi, pre nego njena delatnost.

B. Optimizacija zaštite

Jedna od tri osnovne komponente sistema zaštite od zračenja je zahtev da sve doze treba da budu držane onoliko nisko koliko je to razumno moguće postići (as low as it is reasonably achievable). Ovo se često u literaturi naziva ALARA princip. Ispunjavanje ovog zahteva ustvari predstavlja optimizaciju zaštite i svakako je najvažniji zadatak zaštite od jonizujućih zračenja. Optimizacija zaštite je identična sa procenom cena/efektivnost, što se svodi na maksimizaciju neto koristi, koja se, u našem slučaju dobija iz izraza

$$\frac{dV}{dS} - \left(\frac{dP}{dS} + \frac{dX}{dS} + \frac{dY}{dS} \right) = 0$$

gde je S-nezavisna promenljiva za koju se obično uzima kolektivna efektivna ekvivalentna doza. Pošto se za usvojenu delatnost ili proizvod jonizujućih zračenja V i P mogu smatrati nezavisnim od S, to onda sledi da je

$$\left(\frac{dX}{dS} \right)_{S_0} = - \left(\frac{dY}{dS} \right)_{S_0}$$

gde je S_0 -optimalna vrednost.

Za potrebe analize optimizacije, može se uzeti da je Y-cena štetnosti, data izrazom

$$Y = \alpha S$$

gde je α -novčana cena pripisana jediničnoj kolektivnoj efektivnoj ekvivalentnoj dozi. Iz zadnje dve jednačine neposredno dobijamo

$$\left(\frac{dX}{dS} \right)_{S_0} = -\alpha$$

MKRZ nije preporučila nikakvu vrednost za α , ali se u literaturi (15,16) mogu naći procene, koje se, srednje uzev, gomilaju oko $(1-2) \cdot 10^4$ po čoveku sivertu.

C. Ograničavanje individualnog rizika

Primena procesa analiza povezanim sa principima opravdanosti i optimizacije, ne obezbeđuje uvek dovoljnu zaštitu od zračenja za pojedince, naročito ne u onim slučajevima kada sve štetnosti i sve koristi nisu ograničeni na jednu te istu grupu osoba. Zbog toga se, nezavisno od rezultata rizik/korist i cena/efektivnost analiza, uvode granice ekvivalentne doze za pojedince.

Nove granice ekvivalentne doze su zasnovane na ukupnom riziku koji dolazi od ozračivanja svih izloženih organa i tkiva. To praktično znači da je štetnost po godini koja dolazi od neke delatnosti nezavisna od raspodele ekvivalentne doze u organizmu. Ovo se u prvom redu odnosi na stohastičke efekte. Ograničenje je ovde da doza za dati organ ne sme da prodje granicu iznad koje bi došlo do pojave nestohastičkog efekta.

Ovde treba naglasiti da granice doza preporučene od strane MKRZ u publikaciji 26 treba shvatiti nešto dručkije od ranije upotrebljivanih maksimalno dozvoljenih doza. Ove sada preporučene granice treba shvatiti kao granične uslove za procedure opravdavanja i optimizacije.

Što se ograničenja rizika za pojedince tiče, granice ekvivalentne doze se primenjuju na dve kategorije: profesionalno zaposlena lica i pojedince iz stanovništva.

Granice ekvivalentne doze jonizujućih zračenja za lica koja profesionalno rade sa radioaktivnim materijalima i drugim izvorima jonizujućih zračenja su ustanovljene tako da je rizik ozračivanja tim zračenjima reda veličine rizika drugih profesija i to inih za koje se uzima da imaju visoki stepen sigurnosti. Kao profesija visokog stepena sigurnosti uzimaju se one profesije kod kojih srednja smrtnost usled profesionalnih opasnosti ne prelazi 10^{-4} . Ovaj prilaz se odnosi na stohastičke efekte. Za nestohastičke efekte, za čije je pojavljivanje potreban izvestan prag ekvivalentne doze, granice se uspostavljaju tako da se njihovom primenom u praksi sprečava pojava tih efekata.

Danas se u svetu smatra da prihvatljiv rizik za pojedinca iz stanovništva od ma koje delatnosti leži u opsegu 10^{-6} do 10^{-5} . S obzirom na ukupan koeficijent rizika od zračenja $\sim 10^{-2}\text{Sv}^{-1}$ za stohastičke efekte, ova bi granica ekvivalentne doze za pojedince iz stanovništva trebala da bude oko 1 mSv po godini, pod pretpostavkom izlaganja zračenju celog tela u toku celog života. Preporuke MKRZ utvrđuju godišnju granicu ekvivalentne doze od 5 mSv. Razlog za ovo povišenje leži u činjenici da se smatra da pri ovoj granici stvarna srednja ekvivalentna doza za neku kritičnu grupu stanovništva će biti manja od 0,5 mSv.

REFERENCE

1. K.Z.Morgan, Radiation Dosimetry, Proceedings of, the International Summer School on Radiation Protection-Cavtat, 1970, Edited by I. Mirić
2. E.H.Grube, X-Ray Treatment, Its Origin, Birth and Early History, Bruce Pub. Co. 1949.
3. H.T. Edison at all. Nature 53, 421, 1896.
4. N.Tesla, Electrical Rev. December 2, 1896.
5. Recommendations of the British X-Ray and Radium Protection Committee, Brit. J.Radiol. 3, 17, 100, 1921.

6. G.E. Protection in Radiology, Amer.J. Roengen, 9, 803, 1922.
7. L.S. Taylor, Radiation Protection Standard, CRC Press, 1971.
8. Ref. 7.
9. H. Wintz and W. Rump, Protective Measures against dangers from the use of radium, roentgen and ultra violet rays, League of Nations, C.H. 1054, Geneva 1931.
10. ICRP - Publication 9, Pergamon Press 1969.
11. ICRP Publication 26, Pergamon Press 1977.
12. K.Z. Morgan, Health Physics - Past Present and Future First Asian Regional Congress of IRPA, Bombay, India December 15-20, 1974.
13. J. Baum, Meeting of the Health Physics Society Houston, Texas, July 10, 1974.
14. P. Marković, Radijacioni Rizik, VIII Simpozijum JDZZ, Herceg-Novi, 20-23 maj 1975, ibid Health Physics, vol. 31, pp. 276, 1976.
15. The 1978 Stockholm Meeting of the ICRP, Health Physics, Vol. 35, No. 4. October 1978.
16. Bo Lindel, Basic Concepts and Assumptions behind the New ICRP Recommendations, IAEA-SR-36/51, IAEA Seminar, Vienna, Austria, 5-9 March 1979.

BIOLOŠKI UČINCI ZRAČENJA NA LJUDSKI ORGANIZAM

Jonizujuća zračenja pri delovanju na živu materiju spadaju u najsloženije etimološke faktore, a složenost radijacionih oštećenja na nivou tkiva i organa u biohemijskim, citomorfološkim i funkcionalnim promenama (1). Razni organi i tkiva različito reaguju na jonizujuća zračenja kako u pogledu pojave promena, tako i prema stepenu njihove težine. Doza je osnovni fizički faktor koja izaziva određeni biološki efekat, i energija primljena od jedinice mase tkiva predstavlja primarni parametar u proceni doza-efekat. Stepen oštećenja zavisi sem od doze i od vrste živih bića, a postoje i individualne razlike u radioosetljivosti unutar jedne vrste. Izražene su isto tako, vrlo visoke razlike radioosetljivosti i između pojedinih tkiva i celularnih elemenata.

Težina i tok radijacionih oštećenja zavisi od mnogih faktora, kao što su: veličina apsorbovane doze zračenja, brzine doze, načina izlaganja, vrsta zračenja, kao i od drugih faktora eksternog i internog porekla. Među najvažnijim faktorima internog porekla su: 1. fiziološki-konstitucija, individualna osetljivost, mikroflora, opšte zdravstveno stanje, pol, godine starosti. Zatim dolazi u obzir zanimanje, težina i karakter posla, karakteristike ekspozicije, primena mera individualne i kolektivne zaštite za profesionalne uslove rada sa izvorima jonizujućih zračenja i njihove primene u praksi; 2. patološki - pored oboljenja koja predstavljaju kontraindikaciju za rad sa izvorima zračenja po jugoslovenskim propisima koji su važili u vreme pregleda dolaze u obzir i predstanja koja predstavljaju rizik za pojavu težih oboljenja pri dužoj ekspoziciji, uključujući prvenstveno maligna oboljenja.

Od eksternih faktora mogu da imaju uticaja godišnje doba, u prvom redu spoljašnja temperatura, kao i drugi mikroklimatski faktori, potom periodična ili stalna upotreba nekih lekova, kao što su analgetici, sedativi, antibiotici, preterana upotreba alkohola, duvana i izloženost drugim štetnim agensima hemijske ili fizičke prirode.

U složenom mehanizmu biološkog dejstva jonizujućih zračenja po mnogim autorima treba razlikovati dve osnovne pojave: primarnu povredu i sekundarne promene tkiva, organa i njihovih sistema.

Primarne lezije nastaju kao posledica direktnog dejstva zračenja na živu materiju, a u vezi su sa promenama fizičkih i hemijskih svojstava organskih i neorganskih elemenata koji ulaze u sastav žive materije. Primarne radiopovrede nastaju za vreme ekspozicije. Inicijalna oštećenja se ne vide makroskopski, premda se morfološke promene primećuju rano posle izlaganja zračenju. Po Gleiseru (2), mehanizam biološkog dejstva zračenja nije jasno rasvetljen, iako su predložene mnoge koncepcije: 1/ stvaranje jonskih parova; 2/ stvaranje vodonik peroksida; 3/ destrukcija sulfhidrilnih enzima i time sprečavanje respiratorne aktivnosti ćelija; 4/ alteracija funkcije; 5/ prekid reprodukcije; 6/ mutacije; 7/ alteracija permeabiliteta ćelijske membrane; 8/ denaturacija proteina; 9/ mehaničko kidanje molekula; 10/ kidanje hromozoma. Sekundarne promene su posledica primarnih povreda, a nastaju i razvijaju se uglavnom reflektornim putem i potiču po tipu "lančane reakcije" u biološkoj sredini (3). Usled povišene biohemijske aktivnosti nastaju razni patološki efekti koji se manifestuju u morfološkim i funkcionalnim promenama raznih organa i sistema (4). Sekundarna ili kasna reakcija organizma na zračenje se razvija posle izvesnog vremena koje odgovara latentnom periodu radijacione bolesti. Priroda

sekundarne reakcije nije potpuno objašnjena i postoji više hipoteza: o selektivnom narušavanju metabolizma nukleoproteina, o postojanju primarnog toksina u vidu histamina ili drugog, teorija razvitka lančane reakcije koja ima najviše pristalica, a po kojoj se nakupljaju razne toksične supstancije (holin, denaturisane belančevine, histamin, lipotoksin) što i objašnjava pojavu faza u toku radijacione bolesti (5).

Dokazano je da zračenje proteina dovodi do stvaranja toksičnih supstancija, koje su po svom farmakološkom dejstvu slične histaminu. One se obično nazivaju H-supstancije. Sigurno je da histamin nije jedini toksični produkt razlaganja zračenih proteina. Pošto se zna da histamin čak i u neznatnim količinama ispoljava dejstvo ne samo na cirkulaciju, nego i na gastrointestinalni trakt i autonomni nervni sistem, to histaminska hipoteza izgleda pogodna za objašnjavanje indirektnih, ili opštih efekata zračenja (6).

U razmatranju morfoloških efekata, najosetljiviji deo ćelije je jedro, mada je i protoplazma takođe radioosetljiva. Od morfoloških promena najvažnije su: 1. Piknoza jedra ćelije, pod kojom se uglavnom podrazumeva koagulacija hromatina i, koja se ponekad opaža već nekoliko minuta posle ekspozicije; 2. Karioreksija, koja označava raspadanje jedra i kada su delovi jedarne supstancije rasporedjeni u protoplazmi; 3. Likvefakcija ćelijske mase sa vakuolizacijom, kada se sve svodi na fragmente hromatina. Promene su karakteristične, ali ne i specifične (6).

U okviru funkcionalnih efekata medju najvažnijim promenama vitalnih funkcija posle zračenja spadaju: 1. Motilitet, koji može da bude smanjen, zaustavljen ili nepromenjen. Dok je obustavljanje ćelijskog motiliteta znak njene smrti, njegovo dalje postojanje ne znači da nema radiopovrede; 2. Reproduktivna sposobnost, koja može da bude smanjena ili obustavljena. Ponekad zračenje zaustavlja mitozu u stadijumu ekvatorijalne ploče, a u drugim slučajevima kao posledica se javlja abnormalna mitozu (stvaranje džinovskih ćelija); 3. Rastenje može da bude usporeno ili zaustavljeno. Efekat je manifestan nakon jednog latentnog perioda, za koga se smatra da je posledica progresivnog stvaranja štetnih metaboličkih produkata, a zavisi od intenziteta zračenja, a ne od brzine proliferacije zračenog tkiva; 4. Metabolizam, u okviru koga mogu da uslede razni tipovi degeneracija, od osobitog interesa je efekat zračenja na celularnu respiraciju; 5. Permeabilitet koji fluktuiru u smislu porasta ili opadanja i 6. Specifične celularne funkcije kao što je žlezdana sekrecija i koja može da bude ograničena ili zaustavljena (6).

Cronkite u okviru objašnjenja bioloških efekata jonizujućih zračenja, smatra da sindrom akutne radijacione bolesti započinje i nastavlja se putem jednog ili više mehanizama: inhibicija fermentata, alteracija permeabiliteta ćelijske membrane, denaturisanje proteina (stvaranje i apsorpcija cirkulirajućih toksina, naročito histaminu sličnih supstancija), autosenzibilizacija, ubrzavanje adrenokortikalne insuficijencije, sindrom adaptacije, a prva tri mehanizma autor smatra kao najvažnija (5). Selye predpostavlja, da su sekundarni efekti zračenja uslovljeni uglavnom promenama u hipofizi i nadbubregu. Morfološka oštećenja tkiva ili funkcionalne promene organa mogu biti posle zračenja uslovljene poremećajem stvaranja krvi (1). Po Elingeru (6) primarni procesi pri dejstvu jonizujućih zračenja na živu materiju se zbivaju u velikim proteinskim molekulama i ćelijskoj vodi i da, pri denaturaciji proteina radijacioni koagulum postaje ireverzibilno istaložen.

Osnovno je, da je sam mehanizam delovanja jonizujućih zračenja na živu materiju veoma složen, bez obzira na razne hipoteze o delovanju.

Pri delovanju jonizujućih zračenja na živu materiju postoje izvesne zajedničke crte u reagovanju ćelija i tkiva na zračenje bez obzira na prirodu

zračenja, bilo da su elektromagnetske prirode poput X ili gama zračenja ili da su korpuskularna zračenja poput alfa, beta, neutronske ili protonske zrake. Efekti zračenja su kvalitativno isti, bilo da se izvor nalazi izvan ili u organizmu (6). U razmatranju patogeneze važno je da razne vrste jonizujućih zračenja, bez obzira na svoje fizičke konstante, izazivaju isti tip oštećenja žive materije, a međusobno se razlikuju samo po RBE i LET kao indeksima za upoređivanje vrste zračenja sa stepenom oštećenja koje to zračenje izaziva (6).

Po Elingeru u glavne manifestacije zračenja žive materije spadaju:

1. Način delovanja: efekat može biti lokalna, odnosno direktan ili sistematski, odnosno indirektan.

2. Vreme i efekat: efekat se može manifestovati neposredno posle ekspozicije kada se naziva neposrednim efektom. Međutim, često prodje izvesno vreme pre no što efekat postane manifestan - latentni period, a kasnije manifestacije zračenja se nazivaju "kasnim efektom".

3. Kvalitet efekta: zračenje prouzrokuje morfološke i funkcionalne promene u ćeliji i tkivima i da zračenje "ne stvara nove funkcije u ćelijama i tkivima; ono samo izaziva promene postojećih funkcija ili bar čini da ranije latentne funkcije postanu manifestne".

4. Kvantitet efekta: zračenje izaziva reverzibilne i ireverzibilne efekte koji zavise od doze zračenja.

U zavisnosti od doze, vitalna energija ćelija i tkiva iscrpljuje se na kraćeg ili dužeg vremena. Zračenje smanjuje sposobnost ćelija da održava metaboličku ravnotežu, zbog čega se procesi u ćeliji odvijaju povećanim tempom, tako da ćelija stari pre vremena ubrzanim tokom nekih vitalnih funkcija (6).

Razni organi i tkiva različito reaguju na zračenje, kako u pogledu pojave promena, tako i prema stepenu njihove težine. Različita osetljivost postoji i kod pojedinih vrsta, tako da težina i tok radijacionih oštećenja zavisi od mnogih faktora, kao što su: veličina apsorbovane doze zračenja, brzina doze, način izlaganja, vrsta zračenja, vrsta životinja, doba starosti, pola, ishrane, okoline, individualna osetljivost i dr.

Radioosetljivost

Radioosetljivost može da se definiše kao odnos između reagovanja dve vrste ćelija, tkiva ili organa na određenu dozu zračenja. Postoje mnogobrojni faktori koji utiču na radioosetljivost ćelija i tkiva, a među kojima su najvažniji po Elingeru (6):

1. - Stadijum mitoze: Osetljivost počinje da raste u profazi, povećava se za vreme segmentacije i migracije jedra i dostiže svoj prvi maksimum pre deobe. Potom opada, da bi svoj drugi maksimum radioosetljivost dostigla u stadijumu gastrulacije. Povećana osetljivost u toku mitoze, objašnjava se činjenicom da hromatin tada izlaže veću površinu dejstvu zračenja.
2. - Mitotska aktivnost je od značaja jer ćelije sa aktivnom mitozom su radioosetljivije od ćelija koje se ne dele.
3. - Stepent diferencijacije uslovljava da su embrionalne i nezrele ćelije uopšte radioosetljivije, nego zrele ćelije.
4. - Metabolizam utiče na taj način, što povećanjem metabolizma ćelija nastaje i povećana radioosetljivost.

5. - Snabdevenost krvlju i hormoni utiču utoliko ukoliko i na metaboli-
zam, npr. inflamacija i tiroksin povećavaju radioosetljivost.

Klinički i eksperimentalni podaci govore ne samo o različitoj radioosetljivosti ćelija raznih vrsta, nego i o znatnim razlikama među ćelijama iste vrste u njihovom reagovanju na zračenje. Konstatacije da krvotvorni organi, koža, sluzokoža želudačno-crvenog trakta i polne žlezde reaguju ranije i intenzivnije na zračenje nego nervni sistem, mišići i vezivno tkivo su dovele do pojma radioosetljivosti. Po stepenu umanjenja radioosetljivosti danas je od mnogih autora prihvaćena sledeća podela (1):

- 1/ Diferencirana tkiva: limfni čvorići, slezina, timus, limfno tkivo u drugim organima.
- 2/ Tkiva kod kojih se odigravaju brzo procesi ćelijskog deljenja: polne žlezde, sluzokoža crevnog trakta, koža, omotači dlaka.
- 3/ Tkiva sa laganim procesima ćelijskog deljenja: rskavica, osteoidno tkivo u rastu, jetra, nadbubrezi, bubrezi, pankreas, pluća, nervni sistem, mišići, vezivno i koštano tkivo.

Po redu opadanja radioosetljivosti, najčešće se nailazi na grupisanje ćelija sledećim redom:

1. Limfociti
2. Granulociti
3. Epitelijalne ćelije:
 - a/ bazalne ćelije sekretornih žlezda
 - b/ bazalne ćelije testisa i ovarija
 - c/ bazalne ćelije kože i gastrointestinalnog trakta
 - d/ alveolarne ćelije pluća i žučovoda
 - e/ bubrežni tubuli
4. Endotelijalne ćelije
5. Vezivno-tkivne ćelije
6. Koštane ćelije
7. Mišićne ćelije
8. Nervne ćelije

Prema francuskim naučnicima koji su prvi utvrdili faktore koji utiču na radioosetljivost ćelija i tkiva, i, u njihovu čast rezime podataka je nazvan Bergonie-Tribondeau-ov zakon koji glasi: radioosetljivost tkiva direktno je proporcionalna njihovoj reproduktivnoj sposobnosti, a obrnuto proporcionalna njihovom stepenu diferencijacije. Medjutim, savremenijim ispitivanjima je dokazano da se pod dejstvom jonizujućih zračenja javljaju od strane pojedinih sistema funkcionalni ispadi kao npr. kod nervnog sistema (7). Razlike u reakciji tkiva, prvenstveno su posledica različite osetljivosti na jonizujuća zračenja, a termini radioosetljivost i radiorezistentnost su relativni, jer zavise od mnogobrojnih raznovrsnih faktora.

Promenljivim faktorima kod zračenja u literaturi se najčešće smatraju doza, dužina ekspozicije, individualna osetljivost i osetljivost vrste, relativna osetljivost tkiva i vrste zračenja.

Ustanovljeno je (8), da faktori, koji učestvuju u reakciji tkiva pri o-zračivanju visokim dozama, mogu da dovedu ili do sniženja, ili do povišenja relacije doza-efekat, koji je dobijen pri niskim dozama. Osnovni faktor koji dovodi do sniženja, je smrt ćelije; faktori koji dovode do povišenja, u vezi su sa neophodnošću oštećenja izvesnog graničnog broja ćelija i prisustvom fiziološkog oštećenja (npr. narušenje snabdevanja krvi nekog dela tela).

Danas se sve više obraća pažnja na biofizičke mehanizme nespecifične reakcije ćelija na povredjivanje i ukazuje se na njenu ulogu u različitim pojavama koje se javljaju pod dejstvom zračenja. U mnogim radovima se ističe veza mehanizma nespecifične reakcije sa opštim principima strukturno-funkcionalne organizacije ćelija i svojstvima biomakromolekula (9). U pogledu veze nespecifične reakcije sa radioosetljivošću najbolji je dokaz pojava potencijalnih povreda pod dejstvom zračenja. Otkrivanje dvoetapnosti primarnih reakcija radijacionog oštećenja makromolekula sa obrazovanjem latentnih povreda na prvoj etapi, a takodje fermentativna reparacija oštećene DNK dalo je principiјelnu mogućnost uključjenja u radijacionu reakciju, tj. njene modifikacije, kako u okviru oslabljenja, tako i ubrzanja (9). Počev od Nasonova i Aleksandrova koji su razvili osnovnu predstavu o nespecifičnoj reakciji ćelija, pa do savremenih objašnjenja njenih mehanizama, osnovna vrednost je što omogućava objašnjenje razlika radioosetljivosti ćelija i što omogućava izvesna objašnjenja pri delovanju kako jakih razdražitelja tako i slabijih koji dovode do ozbiljnijih povreda.

Prema načinu izlaganja, radiaktivno zračenje živog organizma može biti: spoljašnje i unutrašnje, opšte i delimično, akutno i hronično i, jednokratno i ponavljano.

Akutni radijacioni sindrom kod čoveka znatno se razlikuje od radijacione bolesti kod životinja, ali ipak patoanatomske i patofiziološke promene imaju izvesna zajednička obeležja. Klinička slika kod svih životinja je slična, ali postoje izvesne karakteristike za vrstu, uslovljene različitom radioosetljivošću.

Pri absorbovanju supraletalnih doza javlja se perakutni oblik radijacione bolesti, a pri primanju poluletalne i letalne doze manifestuje se akutni oblik radijacione bolesti.

Radijaciona bolest kod ljudi i životinja karakteriše se, uglavnom, sličnim manifestacijama, samo što je kod čoveka simptomatologija prvih 24 časa izrazitija, dok se kod životinja zapaža usporeniji pad elemenata periferne krvi, a regeneracija je brža nego u čoveka.

Efekti jonizujućih zračenja na hematopoezni sistem

Hematopoezni sistem služi kao izvestan indikator efekta zračenja celog tela. Progrediranje procesa moguće je pratiti po promenama u ćelijskim komponentama perifernog krvotoka. Doza zračenja, koja izaziva hematološki sindrom, karakteriše se granulocitopenijom, trombopenijom i anemijom, koje su različito izražene kod pojedinih vrsta živih bića. Kod većeg broja vrsta životinja kritična faza infekcije, krvavljenja i (ili) anemije, u vezi je sa visokim procentom smrtnosti i, razvija se u prvih 15-20 dana posle zračenja; u čoveka analognu simptomatologija se razvija kroz 3-4 nedelje. Jedan od važnih uzroka tih razlika sastoji se u osobenostima kinetike sistema celularnog obnavljanja u hematopoezi čoveka (10, 11). Pri razmatranju uticaja zračenja na mijelopoezu i eritropoezu, megakariocitno-trombocitarni sistem i limfopoezu, treba neophodno voditi računa da su to sve sistemi jednog opšteg tkiva kostne srži. Manifestacije i karakteristike promena koje se nalaze u objavljenim radovima uslovljene su dozom ozračivanja i vrstom živih bića. Uglavnom, sve promene se grubo mogu grupisati u dva perioda: period oboljenja i period oporavljanja. Najčešće pri ozračivanju celog tela sa dozom reda LD_{50/30} zapažaju se (6, 12):

1. Prolazna leukocitoza, koja traje približno 24 časa, a koju prati ekstremna leukopenija sa postepenim povratkom na normalu ako nastupi ozdravljenje.

2. Neposredna limfopenija sa vrlo brzom restitucijom i eventualnom hiperplazijom limfocita u slučaju ozdravljenja.
3. Kasna anemija sa sporom i teškom restitucijom eritrocita.
4. Izražena trombocitopenija koja je važan faktor u nastajanju hemoragične faze radijacionog sindroma.

Saznanja o radijacionim oštećenjima kostne srži, uticaju zračenja na sistem celularne regeneracije mijeloidne i limfoidne loze, eritropoezu, cirkulirajuće funkcionalne ćelije, radijacionoj reakciji megakariocitno-trombocitarnog sistema i posledicama nastalih promena, uticaju zračenja na koagulaciju krvi, uticaju zračenja na imunološki sistem i druge radioosetljive sisteme, ukazuju da su kvalitativni i kvantitativni aspekti efekta izvora jonizujućih zračenja na hematopoezu i komparativne reakcije hematopoeznog tkiva kod različitih vrsta živih bića izloženih zračenju, često mogući kao pouzdani bioindikator radijacionih oštećenja, a promene iako su karakteristične, nisu specifične.

Efekti zračenja na kožu

Koža, pored hematopoeznih tkiva, sluzokože želudačno-crvenog trakta i polnih žlezda, reaguje ranije i intenzivnije na zračenje od drugih sistema. Tako, mikroskopske promene na koži, pored promena u koštanoj srži, prve govore o dejstvu zračenja na organizam. Stepem oštećenja kože zavisi od dejstva zračenja i tipa živog organizma. Isto tako, vrlo su značajne i individualne razlike u radioosetljivosti. Pored toga, i različiti strukturalni elementi kože karakterišu se relativno visokim razlikama u radioosetljivosti (13).

Pri dejstvu jonizujućih zračenja na organizam čoveka, Samcov (14) navodi da se nalaze različite izmene u koži, koje se uglavnom mogu podeliti na primarne i sekundarne. Primarne (lokalne) izmene kože uslovljene su direktnim oštećenjem pod dejstvom jonizujućih zračenja. U okviru njih treba razlikovati, u prvom redu, akutna radijaciona oštećenja kože, kao rani znaci radijacione reakcije, radijaciona alopecija i akutni radijacioni dermatit, i, u drugom redu, hronična radijaciona oštećenja kože, u koja spada hronični radijacioni dermatit i kasne dermatoze, indurativni otok, kasna radijaciona grizlica i radijacioni karcinom. U bolesnika umrlih od radijacione bolesti, osim prvih promena zapažaju se sekundarne promene na koži koje nisu vezane sa nekim direktnim oštećenjem od jonizujućih zračenja, a zavise prvenstveno od opštih poremećaja koji u organizmu nastaju kao rezultat totalnog ozračivanja.

Sekundarnim promenama treba smatrati poremećaj rasta dlaka, hemoragične ospe i neke druge pojave vaskularnih poremećaja, ishemična ognjišta, poremećaji sekretorne funkcije kože (hiperhidroza i seboreja), pigmentno ognjište nevoidnog tipa i druge hiperpigmentacije, poremećaj keratinizacije, staračka distrofija kože, povećanje osetljivosti kože prema različitim spoljnim nadražajnim agensima, povećanje njene prijemčivosti prema infekciji.

Dejstvo jonizujućih zračenja na organ vida

Jedna od težih posledica radijacionog oštećenja je i oboljenje organa vida. Istraživanja su pokazala da se nakon pet godina posle ozračivanja prodornim zračenjem atomske eksplozije kod 10% Japanaca koji su preživeli radijacionu bolest, razvila katarakta (15). Pojava katarakte kao kasne posledice zračenja opisana je i kod životinja koje su bile izložene delovanju prodornog zračenja pri nuklearnoj eksploziji na atolu Bikinija. Ispitivanja su pokazala da poremećaji vida koji nastaju pod dejstvom prodornog zračenja su slični promenama u sočivu, koje nastupaju pri ozračivanju rendgenskim zracima. Razvitak katarakte ne zavisi samo od doze zračenja već i od uzrasta. Povrede sočiva su kod mladih

organizama češće nego u starijih. Progresivni razvitak zamućenja sočiva, sve do potpunog gubitka vida, nadjen je i kod velikih životinja koje su bile obolele od težeg oblika radijacione bolesti. Po mišljenju većine autora, oštećenje vida nije u vezi sa direktnim dejstvom prodornog zračenja na oči, nego sa opštim poremećajem metabolizma do kojeg dolazi kod radijacione bolesti (15).

U utvrđivanju pojave katarakte kod profesionalne ekspozicije (16) pitanje je da li hronično dejstvo malih doza X zračenja može da deluje kao kofaktor u nastanku katarakte i, katarakta se javlja na zadnjem polu sočiva, a za diferencijalnu dijagnozu u odnosu na zamućenost sočiva kongenitalnog porekla od posebnog značaja je progrediranje promena.

Efekti zračenja na druge organe i aspekti rizika

U preporukama ICRP-a pri izlaganju zračenju većeg broja organa, od najvećeg značaja je pored doze i senzitivnost organa na zračenje. Pod kritičnim organom se podrazumeva organ za koji najveći značaj ima doza ozračivanja bilo zbog njegove radioosetljivosti ili selektivnog nakupljanja radioizotopa u njemu. Za opšte ozračivanje celog tela po preporukama ICRP-a (18) izabrani su:

1. Gonade (sa aspekta fertiliteta, genetskih efekata i pojave tumora);
2. Hematopoezni organi (sa aspekta leukoza);
3. Očno sočivo (sa aspekta katarakte).

Kada eksterno ozračivanje uključuje ograničen deo tela, dodatni kritični organ može da bude i koža sa aspekta kancera. Za ozračivanje od interno deponovanih radionuklida kao dodatni kritični organi se uzimaju oni koji su determinisani metabolizmom deponovanih radionuklida, prisutnom koncentracijom u organu i faktorom vremenskog prisustva u pojedinim organima, a to su: gastrointestinalni trakt, pluća, kost, štitasta žlezda, bubrezi, slezina, pankreas i mišićno ili masno tkivo. Crvena kostna srž se navodi kao najčešće tkivo koje se smatra uzrokom leukemije izazvane ozračivanjem; ostala tkiva izgleda da imaju manju ulogu u leukogenezi. Posmatranje ozračenih ica u terapeutske svrhe ili kod preživelih Japanaca posle nuklearne eksplozije pokazuju da je nastanak leukemije posle ozračivanja dostigao svoj vrhunac u toku nekoliko godina posle eksplozije i, vraća se na nivo pre-ozračivanja posle dvadeset pet godina (19, 20).

Kod koštanog tkiva kao radioosetljive ćelije identifikovane su endo-ćelije i epitelijalne ćelije na površini kostiju (21).

Eksterno ozračivanje može kod čoveka da izazove rak na plućima. Sadašnja indikacija da je rizik raka na plućima isti kao onaj kod razvoja leukemije, a kod ekspozicije radioaktivnom materijalu ne nailazi se na malignu alteraciju, čak i sa plutonijumom. Poseban značaj ima prevencija udisanja čestica koje sadrže nerastvorljive sastojke u bronhijalnoj limfi.

Rizik u štitastoj žlezdi od ekspozicije zračenju su epitelijalne ćelije tiroidnih folikula. Osetljivost tireoideje na kancer izazvan radijacijama izgleda da je veća nego leukemija za crvenu kostnu srž. Ima sve više podataka o blastomogenom dejstvu radiojoda na štitastu žlezdu (22).

U pogledu totalnog stohastičkog rizika koji je značajan za zaštitu od zračenja individue koja je podvrgnuta radijacijama, Komisija (19) je zaključila da je faktor rizika mortaliteta kod raka indukovano zračenjem oko 10^{-2} Sv⁻¹, da predstavlja prosek za oba pola i kod svih starosnih doba. Osim specifičnih efekata, nije najpotpunija evidencija o oštećenju funkcija organa i tkiva u funkciji apsorbovanih doza. Evidencija o skraćivanju života ne može da se računa kao kvantitativna.

Procena radijacionog rizika kod različitih kategorija je zavisna od vrste i obima ekspozicije i preporuke ICRP-a su vrlo specifične i definišu većinu problema koji se odnose na profesionalnu ekspoziciju i stanovništvo.

Razmatrajući patološke efekte jonizujućih zračenja koji mogu da se jave u uslovima profesionalnog izlaganja i u akcidentalnim situacijama oni se obično klasiraju u nestohastičke i stohastičke efekte. Incidencija nestohastičkih efekata se povećava u funkciji primljene doze i za njih postoji prag doza. Oni mogu da se pojave na nivou pojedinih organa ili tkiva koji su primili visoku dozu, a najčešće pojave su izmene fertiliteta, oštećenja kože, katarakta i hematološke promene. Glavni stohastički efekti za koje ne postoji prag doza se manifestuju kao kasni somatski i hereditarni efekti zračenja. Najglavniji kasni somatski efekat je povećana incidencija, u ozračenju populaciji, fatalnog i nefatalnog kancera. U posebno značajne stohastičke efekte spadaju genetski efekti koji su i usloveli prihvatanje koncepcije da ne postoji prag za nastanak genetskih i somatsko-stohastičkih efekata (23).

LITERATURA

1. Errera F.H. and Forsberg A.: Mechanisms in Radiobiology, Ac. Press, London, 1961.
2. Gleiser Ch.: Jr. of american vet. med. asociation, p. 220, 1954.
3. Zedgenidze G.A.: Med. Radool., 10:8, 5, 1965.
4. Hromov B.M. Kombinirovaniye lučevye poraženija, Medgiz, Leningrad, 1959.
5. Cronkite E.: Pathogenesis and therapy of ionizing radiation illness, Atomic Medicine, Ed. Behrens, Baltimor, 1959.
6. Ellinger F.: Fundamental biology of ionizing radiation, in Atomic Medicine, Ed. Behrens, Baltimor, 1959.
7. Lavšić N.N.: Vlijanije ionizirujućih izlučenij na funkcii centralnoj nervnoj sistemi, Izd. Ak. nauk SSSR, Moskva, 1961.
8. ICRP Publication 14: Radiosensitivity and Soatial Distribution of Dose, Pergamon Press, Oxford, 1969.
9. Ejodus L.H.: Nespecificeskaja reakcija kletok i radiočuvstvitelnost, Atomizdat, Moskva, 1977.
10. Fliedner T.M., Andrews G.A., Cronkite E.P.; Bond V.P.: Blood, 1964.
11. Bond V.P., Robinson C.V.: Effects of Ionizing Radiations on Haematopoietic Tissue Proc. Panel IAEA, Vienna, 1966.
12. Manual on Radiation Hematology, Technical Reports Series No. 123, IAEA, Vienna, 1974.
13. Clemedson K.J., Nelson A.: Mechanisms in Radiobiology, Vol. II, Ed. Errera M., Ac. Press, New York, 1960.
14. Samcov V.I.: Izmenenija koži pod vozdejstviem ionizirujućeje radijacione, Medicina, Leningrad, 1968.
15. Ribak P.J.: Osnovi radijacionnoj patologii domašnih životnih, Moskva, 1961.
16. Savić S., Jeremić M.: Zbornik radova IV jug. simp. o radiološkoj zaštiti str. 33, Baško Polje, 1969.

17. Schuttman W., Lenz U., Arndt D.: International Symp. on the Late Biological Effects of Ionizing Radiation, IAEA - SM-224/503, Vienna, 1978.
18. Norwood M.D., Thomas C.Ch.: Medical supervision of radiation workers, Publischer Springfield-Illinois, USA, 1975.
19. Publication 26 ICRP, 1977.
20. Land C.E.: Inter. simp. on the Late Biological Effects of Ionizing Radiation IAEA-SM-224/602, Vienna, 1978.
21. Publication ICRP 11, 1968.
22. Letavet, A.A., Burkina L.N.: Materiali po toksikologii radioaktivnih vešćestv (Jod-131), bipusk 8, Medicina, Moskva, 1972.
23. Safety Series No. 72, IAEA Safety Guides, IAEA, Vienna, 1985.

USLOVI KORIŠĆENJA I PRAVILA O RADU SA ZATVORENIM I OTVORENIM IZVORIMA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA

1. UVOD

Ozračenost savremenog čoveka od veštačkih izvora jonizujućih zračenja uzrokovana je, uglavnom, medicinskom upotrebom istih. U konkurenciji sa drugim primenama izvora jonizujućih zračenja (u industriji, poljoprivredi, istraživanju, energetici, masovnoj upotrebi...), a zbog permanentne upotrebe i, praktično, izloženosti čitave populacije, korišćenje u medicinske svrhe ubedljivo dominira. Iz tih razloga zaštita od medicinskih izvora jonizujućih zračenja ima osnovni značaj.

U ovom radu prezentirani su uslovi koji moraju biti obezbeđeni, kao i pravila - preporuke, u cilju realizacije adekvatne zaštite od zračenja u medicinskoj primeni izvora jonizujućih zračenja, a za sve tri kategorije osoba u smislu izloženosti jonizujućem zračenju: profesionalce, pojedince iz stanovništva i stanovništvo kao celinu.

U tački 2. izloženi su osnovni principi u svetlu savremenih koncepcija zaštite od zračenja u svetu. Uslovi i pravila o radu u medicinskoj primeni izvora zračenja dati su u međunarodnim preporukama (ICRP) i domaćim zakonskim propisima.

Tačka 3. razmatra osnovna pravila o radu i elemente zaštite od zračenja za osnovne vrste primena izvora zračenja u medicinske svrhe, kao što su:

- rendgen dijagnostika
- radioterapija
- nuklearna medicina

Poseban akcenat dat je na R⁰-dijagnostiku, koja, zbog široke rasprostranjenosti, glavni izvor ozračenosti, kako profesionalno izloženih lica, tako i šire populacije. Osnovni značaj u ovom poglavlju dat je praktičnoj primeni.

2. SAVREMENI PRINCIPI ZAŠTITE OD ZRAČENJA - SISTEM OGRANIČAVANJA DOZE

2.1. Opšte postavke

Osnovne postavke moderne zaštite od zračenja u svetu sadržane su u tzv. sistemu ograničavanja doze. Preporuke sistema ograničavanja doze uključuju sledeće glavne elemente:

- a. OPRAVDANOST PRIMENE - upotreba izvora jonizujućih zračenja se može odobriti ukoliko donosi pozitivnu neto korist;
- b. OPTIMIZACIJA ZAŠTITE OD ZRAČENJA - sva izlaganja zračenju moraju biti smanjena na najmanju moguću razumsku meru, uzimajući u obzir ekonomske i socijalne faktore;
- c. PRINCIP GRANICA DOZE - ekvivalentne doze pojedinaca ne treba da prekorače granice preporučene za pojedine vrste primena.

Principi opravdanosti primene i optimizacije vezani su za izvor zračenja, tj. odnose se na kvalitet zaštite od zračenja za svaki pojedinačni izvor, dok se granice ekvivalentne doze odnose na pojedince - profesionalce, pojedince iz stanovništva, kao i na pacijente.

2.2. Opravdanost primene

Usvajanje predložene radijacione procedure u medicinskoj praksi treba biti uslovljeno tzv. "cena - korist" analizom (Cost-Benefit Analysis), odnosno pravilom da totalna šteta treba biti odgovarajuće mala u odnosu na korist dobijenu primenom predloženog dijagnostičkog ili terapijskog postupka.

Odluka ovlašćenog lica za sprovođenje radijacione procedure odnosi se na opravdanost primene iste u odnosu na izlaganje pacijenta kao pojedinca. Ispravnost ovog postupka treba stalno preispitivati i kasnije analizirati, što doprinosi unapređivanju kriterijuma i koristi za buduće pacijente. Generalno, radiološki postupak može biti izvršen ako obećava da će dobijene informacije biti korisne za pacijenta ili korisne za poboljšanje zdravlja populacije kao celine.

Odluka, da li, u konkurenciji sa drugom, manje agresivnom procedurom, treba izabrati radijacioni postupak, može biti zasnovana na analizi, koristi, rizika i cene mogućih izbora.

Čak i kad je utvrđeno da je radiološka procedura opravdana, odluka o vršenju pojedinačnog postupka je stvar kompromisa - balansa: cene koštanja i radijacione štete, s jedne, i koristi od dobijene informacije, s druge strane.

U radioterapiji odluka o korišćenju radijacionog postupka treba da uzme u obzir relativnu vrednost koristi od radiolečenja u odnosu na druge mogućnosti. Posebno je važno ustanoviti opravdanost za tretiranje nemalighnih tkiva, u smislu rizika pojave malignih bolesti, u odnosu na druge, neradiološke procedure.

Opravdanost primene jonizujućih zračenja u medicinskim ispitivanjima je teže ustanoviti kad se upotrebom radijacionog tretmana ne vidi direktna korist za ozračenu osobu. U ovim slučajevima treba uzeti u obzir i korist koju mogu imati budući pacijenti.

2.3. Optimizacija zaštite od zračenja

Jedna od osnovnih komponenti sistema ograničavanja doza je zahtev da sva izlaganja zračenju treba da budu držana "onoliko nisko, koliko je to razumski moguće" (ALARA - princip), uzimajući u obzir značajne socijalne i ekonomske faktore. Suština ovog zahtjeva znači da sa poboljšanjem zaštite od zračenja treba ići do određene tačke - nivoa, posle kojeg dalja poboljšanja zaštite od zračenja odnosno dalje smanjenje doze ima manji značaj od teškoća koje nastaju usled tog, dodatnog, smanjenja doze. U ovom zahtevu data je suština metode Optimizacije zaštite od zračenja.

Kako u gornjem tumačenju ima elemenata koji nisu dovoljno operativni, gornja razmatranja najbolje je kvantifikovati uvodjenjem Cene zaštite od zračenja i Cene radijacione štete. Ako radijaciona šteta (od svih izlaganja zračenju) može biti izražena cenom, optimizacija se može izraziti kao:

$$X(w) + Y(w) = \min$$

gdje je:

X(w) cena zaštite, a

Y(w) cena radijacione štete, obe na nivou zaštite reprezentovane argumentom "w" (debljine zaštitnih zidova, alternativni izbori zaštitnih uređaja i drugo).

Kad kvalitet zaštite, obeležen sa "w", može da varira do nekog željenog nivoa, minimum prethodne jednakosti (koji je cilj postupka optimizacije) može biti dobijen diferenciranjem iste:

$$\frac{dX}{dw} = - \frac{dY}{dw}$$

Kako veličine X, Y i w utiču na kolektivnu dozu, označenu sa "S", optimalna situacija može biti prikazana sa:

$$\frac{dX}{dS} = - \frac{dY}{dS}$$

U više praktičnih procena optimizacije, izmene u nivoima zaštite od zračenja se ostvaruju u skokovitim porastima, srazmerno uspešnosti planiranih izbora. U ovim slučajevima, odluka o prelasku sa nivoa zaštite A na skuplji nivo zaštite B može biti usvojena ako važi:

$$\frac{X_B - X_A}{W_B - W_A} \leq \frac{Y_B - Y_A}{W_B - W_A}$$

Praktičan primer: u nekim slučajevima ispitivanja, folije retkih zemalja mogu biti zamenjene standardnim Wolframskim folijama. Ako je cena štete $Y = \alpha S$, gdje je α - monetarna vrednost jedinice kolektivne doze, treba uraditi sledeće:

uzevši stvarni vek trajanja folije i poznavanje smanjenja kolektivne doze (što je jednako broj snimanja x smanjenje doze po jednom snimanju), tada može biti određena cena 1 menSv ("mensivert") kolektivne doze koja je uštedjena (primenom tih mera za toliki iznos smanjena je ozračenost ljudi). Ako je ovaj iznos manji od novčane vrednosti α za kolektivnu dozu, tada se upotreba folija retkih zemalja može odobriti.

Optimizacija treba da bude vršena u planiranju novih instalacija, zaštitnih zidova ili ploča, kao i zaštitnih sredstava u uređajima. Znači da svaki slučaj primene treba posebno obradivati. Optimizacija od slučaja do slučaja, široko rasprostranjenih uređaja, ne mora uvek biti podesna, jer može poništiti prednost standardizacije u proizvodnji uređaja, što može uzrokovati neto štetu. Ipak, optimizacija treba da nadje svoje mesto u planiranju i izvođenju novih instalacija, što će dati korist u postavljanju standarda i zahteva pri kasnijim primenama.

Značajan element u praktičnoj realizaciji optimizacije zaštite od zračenja je osiguranje kvaliteta sredstava i rada pri izvođenju radijacione tehnike (npr. smanjenje broja nevažjećih-odbačenih radiografskih filmova može dati smanjenje kolektivne doze i duži vek trajanja uređaja).

2.4. Granice doza

Mada primena koncepta opisanog u prethodnim poglavljima obezbedjuje dovoljnu zaštitu pacijenata u radijacionoj medicini, ipak ona ne obezbedjuje uvek zaštitu osoblja, posetilaca i drugih. Bez obzira na značaj elemenata opravdanosti primene i optimizacije, kao i drugih mera, neophodno je držati se pravila o pojedinačnim granicama ekvivalentnih doza.

U praksi rizik i korist nisu podjednako raspodeljeni, tj. onaj koji ima koristi od date metode ne mora biti onaj koji je ozračen i izložen riziku. Granice doza su date da opravdanost i optimizacija ne rezultuju u nedozvoljeno visok rizik za neke pojedince, zbog koristi koju bi imali drugi.

Pošto formiraju samo deo sistema ograničavanja doza, granice ekvivalentnih doza ne mogu duže vreme biti osnova za planiranje i izvođenje radioloških procedura. Planiranje granica treba biti planirano od stručnih tela, na bazi optimizacije, te granice doza često jestu rezultat optimizacije i drugih procedura.

3. PREPORUKE I PRAVILA O RADU

3.1. Opšte preporuke

- Finalni planovi za nove instalacije ili modifikaciju postojećih, koji uključuju i ugradnju zaštitnih ekrana (zidova ili ploča), moraju biti provereni, revidovani i odobreni od strane kompetentnih stručnjaka. Pre puštanja u rad bilo kakvog uređaja treba izvršiti pregled u cilju provere da li su odobreni planovi sprovedeni i da zaštitni zidovi i radni uslovi budu takvi da obezbeđuju dovoljnu zaštitu za sve osobe, saglasno zakonskim propisima i preporukama Medjunarodne komisije za zaštitu od zračenja (ICRP). Posle svake izmene u instalaciji ili uslovima korišćenja koji mogu uticati na kvalitet zaštite od zračenja potrebno je ponovo izvršiti ovakav pregled i utvrditi stanje zaštite.

- Osnovni elementi zaštite od zračenja su:

- a. rastojanje - što u praksi znači da treba povećati udaljenost od izvora zračenja. Ovog pravila se posebno treba držati u neposrednoj blizini izvora zračenja, gdje, uz mala pomeranja dolazi do velikih promena u intenzitetu doze;
- b. Vreme - boravak u radijacionom polju treba pažljivo planirati i vreme boravka minimizirati;
- c. Zaštitne ploče - u realnoj praksi zadovoljavajuća zaštita od zračenja se retko može ostvariti na prethodna dva načina, te je potrebno koristiti zaštitne zidove - ploče koje će oslabiti zračenje do prihvatljivog nivoa. Planiranje i izdvođenje vrste materijala, debljine i oblika treba biti izvršeno od strane stručnjaka, da bi, sa minimumom ulaganja, postigli željenu zaštitu. Ovakav pristup je jedna od osnovnih postavki optimizacije zaštite. Jedan od tipičnih primera u domenu R₀-dijagnostike je ograničavanje dimenzija direktnog snopa zračenja u željeni - koristan pravac, uz minimalne dimenzije blende, čime cena zaštite od zračenja može biti značajno redukovana.

- Pri planiranju instalacija i radnih prostora treba pretpostaviti potpuno radno opterećenje.

- U planiranju i ograničavanju radijacionih zona (sanitarno-zaštitna, kontrolisana i zabranjena radijaciona zona) treba uzeti u obzir predviđeni režim kretanja kroz iste, odnosno da li zona predviđena samo za prolazak ili za duži boravak i za koju vrstu subjekata se odnosi: profesionalce, pojedince sa strane ili pacijente.

- Pri proceni ozračenosti mora biti uzeto u obzir vreme boravka osobe u radijacionoj zoni, jer nije razmatrano pri definisanju granica pojedinih radijacionih zona.

- Pri planiranju i proračunu zaštitnih ekrana od sekundarnog - neželjenog zračenja treba uzimati u obzir najlošije radijacione uslove. Sekundarno zračenje može nastati kao rasejano-odbijeno zračenje direktnog snopa ili tzv. cureće zračenje (neželjeni, usko definisani snopovi jakih intenziteta, nastali usled greške u uređaju ili zaštiti uređaja). Posebnu pažnju obratiti ako je u pitanju izvor beta-zračenja ili elektrona koje, u interakciji sa materijom generiše visokoprodorna X-zračenja.

- Prozori i vrata radijacionih prostorija treba da ispune iste zahteve zaštite od zračenja kao i zidovi na kojima su urađeni.

- Teški zaštitni materijali moraju biti statički stabilni, dobre mehaničke izdržljivosti i zaštićeni od mehaničkih oštećenja. Takođe moraju posedovati osobine neophodne za kvalitetnu zaštitu od zračenja, kao što su gustina, homogenost i sl. Ove osobine su posebno značajne za beton koji je osnovni kon-

struktivni materijal u izgradnji zaštitnih ekrana.

- Pri izvodjenju instalacija u prostoriji treba paziti na spojeve, završetke, reze, prolaze cevi i kablova kroz zidove, vrata i prozore, a zbog mogućnosti generacije "curećeg" zračenja.

- Na vidljivom mestu zaštitnih ploča ili zidova treba da budu označena njihova zaštitna svojstva, kao i vrsta i energija zračenja na koje se naznačeno slabljenje odnosi. Ista pravila markacije važe i za sve druge delove uređaja koji utiču na kvalitet zaštite od zračenja, kao što su filtracija, dimenzije snopa i drugo.

Uređaj koji nije sagradjen po važećim standardima mora biti pregledan od strane stručnih i ovlašćenih organizacija, koje će o njemu izdati potrebnu dokumentaciju. Isto važi i u slučaju promene namene postojećeg uređaja.

- Ulaz u kontrolisanu radijacionu zonu mora biti ograničen, a ograničenje vidljivo. U cilju otklanjanja grešaka, za kontrolisane zone se, po pravilu, uzimaju prostori ograničeni fizičkim preprekama, kao što mogu biti: zidovi, vrata, paravani i slično. U cilju smanjenja ozračenosti do prihvatljivih nivoa, unutar kontrolisanih zona može biti potrebno označiti maksimalno vreme boravka ili uslovi korišćenje specijalne zaštitne opreme.

- Obratiti pažnju na moguće rizike neradijacionog porekla (el. struja, otrovne materije i dr.).

Kompetencije i dužnosti lekara

- Dijagnostički ili terapijski postupak može biti primenjen samo ako je predložen i odobren od lekara specijaliste. Prilikom propisivanja potrebe dijagnostičke ili terapijske metode upotrebom izvora jonizujućih zračenja, lekar je dužan da proceni opravdanost primene izvora zračenja, zavisno od vrste, oblika i težine bolesti, starosti, pola, stepena ugroženosti života i zdravlja pacijenta. Očekivane koristi za pacijente, kao i mogućih štetnih posledica, kako za tretiranog pacijenta, tako i za stanovništvo. Posebnu pažnju obratiti ako je pacijent žena u reproduktivnom periodu.

- Lekar-radiolog koji odobrava dijagnostičku proceduru ima sledeće osnovne obaveze:

- utvrđuje da li je izlaganje pacijenta zračenju medicinski opravdano, u smislu dobijanja dijagnostičke informacije;
- definiše uslove dobijanja kvalitetne informacije, uz minimalno ozračivanje pacijenta;
- uskraćuje svako medicinski neopravdano ozračivanje pacijenta.

- Pri ponovnom upućivanju pacijenta na dijagnosticiranje treba koristiti rezultate ranijih ispitivanja (npr. ranijih R₀ snimaka).

- U slučaju odbijanja predloga za sprovođenje dijagnostičkog postupka, lekar - specijalista koji takav predlog odbije, dužan je da na uputu za pregled navede razloge.

- Prilikom izvršenja dijagnostičke procedure, lekar je dužan da u zdravstvenu dokumentaciju pacijenta unese podatke o izvršenoj dijagnostici.

3.2. Rendgen dijagnostika

U konkurenciji sa drugim medicinskim primenama jonizujućih zračenja R₀ dijagnostika ubedljivo dominira, sa najvećim doprinosom globalnom ozračenju stanovništva. Iz ovog razloga, poboljšanjem mera zaštite od zračenja baš u domenu R₀-dijagnostike mogu se dobiti najvredniji rezultati u smanjenju ozračenosti, uz skromna materijalna ulaganja.

Za ili protiv R⁰-dijagnostike

Iako izrazito agresivna, upotreba rendgena je još uvek nezamenljiva u dijagnosticanju velikog broja oboljenja, a često predstavlja jedini dijagnostički metod. Ona je korisna jer pruža potrebne informacije. S druge strane, ona je štetna, jer ozračuje, kako pacijente, tako i prisutno medicinsko osoblje i okolinu.

Na osnovu već usvojenih pristupa savremene zaštite od zračenja, što je dato u prethodnim poglavljima, a vršeći balans između korisnih i štetnih faktora i minimizirajući odnos ukupna šteta/ukupna korist, dolazimo do odgovora na osnovno pitanje. U slučaju R⁰-dijagnostike može se reći: Rendgen dijagnostika može biti primenjena u slučajevima kad je korist od dobijene informacije veća od štete uzrokovane ozračenjem ljudi.

Iz gornjeg izlaganja se vidi da je reč o kompromisu. Kako organizovanje i realizovanje zaštite od zračenja košta, svaki Sv (Sivert) ozračenosti manje, koji smo postigli merama zaštite od zračenja, košta određenu novčanu vrednost, pa se odnos korist/šteta svodi na odnos korist/cena, tj. umesto štetnih faktora usled ozračenosti sada stoji cena njihove eliminacije.

Uzroci ozračenosti profesionalaca u R⁰ dijagnostici

U profesionalce spadaju osobe koje rukuju R⁰-aparatom (uglavnom rendgenolozi i rendgen tehničari), a koji imaju status profesionalno izloženih lica i nalaze se pod ličnom dozimetrijskom kontrolom i medicinskim nadzorom. Pri R⁰ dijagnostičkoj proceduri dolazi do ozračenosti profesionalnog osoblja. Pored neizbežnog izlaganja kojem je izložen i pri optimalnoj primeni mera zaštite od zračenja, profesionalac, po pravilu, prima i dodatni, nepotrebnii iznos doze koji može biti i višestruko veći. Značajan cilj zaštite od zračenja u R⁰ dijagnostici je eliminacija ili minimiziranje ovog, nepotrebnog ozračenja profesionalaca, a koje može biti uzrokovano raznim tehničkim i organizacionim faktorima. U najvećem broju slučajeva glavni uzroci prekomernog ozračavanja profesionalaca su:

- zastareli R⁰-aparati sa nedovoljno kvalitetnom zaštitom od zračenja, lošom geometrijom direktnog snopa i velikim rasejanjem, nestabilnim uslovima rada (napona i struje), nedefinisanim fokusom i dr;
- neadekvatno opremljeni kabineti i prostorije, sa nedovoljnom površinom, slabijeg kvaliteta podova, zidova i ventilacije, kao i nedovoljno kvalitetno izvedene zaštite od zračenja;
- nepoznavanje i nepoštovanje zakonskih propisa pri radu (pridržavanje kasete od strane R⁰ tehničara, ostavljanje otvorenih vrata prilikom eksponiranja, nepotrebno velika blenda i drugo);
- nekontrolisano velik broj dijagnostičkih postupaka, posebno grafija;
- nedovoljno obrazovanje i obučenosť medicinskog osoblja, sa gledišta zaštite od zračenja, kao i
- slaba saradnja sa stručnim ustanovama, ovlašćenim za poslove zaštite od zračenja.

Procena ozračenosti profesionalaca

Osnovni elementi za vršenje procene ozračenosti profesionalnog osoblja u dijagnostičkoj proceduri su:

- detaljno poznavanje topografije polja zračenja R⁰-aparata u svim prostorima gde medicinsko osoblje boravi ili može boraviti;

- poznavanje dinamike i uslova rada svakog učesnika;
- kvalitet izvedenih mera zaštite od zračenja;
- stepen pridržavanja pravila o zaštiti od zračenja.

Uzimajući u obzir gornje elemente može se reći da najveća ozračenost profesionalaca nastaje prilikom izvodjenja kontrastnih metoda (razne angiografije), koje su, po pravilu, praćene sa više minuta skopiranja, kao i serijom snimaka. Ozračenost rendgenologa pri skopiranju može biti uzrokovana nedovoljno kvalitetnom zaštitom samog R \ddot{O} -aparata, nepotrebno velikim otvorom blende, nepotrebno visokim kondicijama aparata (napon i struja) usled nedovoljne adaptacije oka na tamu, neadekvatnim korišćenjem zaštitnih sredstava i drugo. Ozračenost R \ddot{O} tehničara uzrokovana je, po pravilu, slabom zaštitnom moći i lošim postavljanjem zaštitnog paravana, kao i prevelikim brojem urađenih snimaka.

Mere zaštite od zračenja - osnovne preporuke

Značajnom smanjenju ozračenosti rendgenologa i rendgen tehničara, doprinose sledeći faktori zaštite od zračenja:

- korišćenje savremenih R \ddot{O} -aparata i kabineta;
- izvršiti ozbiljnu analizu i razmotriti mogućnost upotrebe hipersenzitivnih dijagnostičkih film folija, koji daju isti kvalitet slike na filmu, uz višestruko manju ekspoziционu dozu zračenja (tzv. mAs), a time i ozračenost pacijenata i rukovodaca. Upotreba ovih ultra osetljivih folija retkih zemalja može R \ddot{O} dijagnostiku rehabilitovati i čak proširiti njenu primenu, naročito u domenu dijagnosticiranja trudnica i dece (kod grafija). Takodje, primena ovih sistema može doneti uštede pri projektovanju i izvodjenju sistema zaštite od zračenja R \ddot{O} kabineta. Na relativno lak način može se ispitati da li će dobijena korist biti veća od cene i time proceniti opravdanost primene;
- odgovorniji pristup lekara pri donošenju odluke o snimanju, uzimajući u obzir elementa opravdanosti i optimizacije, kao i prethodnu istoriju ozračivanja pacijenta. Uspostavljanjem kartona ozračenosti svakog pojedinca, sa ubeleženom istorijom ozračenosti i formiranjem centralne kartoteke na nivou cele zemlje, situacija na ovom planu biće znatno poboljšana;
- bolja saradnja sa ovlašćenim ustanovama koje vrše poslove zaštite od zračenja. Svaka nova dijagnostička procedura ili upotreba novog R \ddot{O} -aparata mora biti verifikovana od strane ovlašćene ustanove, koja će odrediti uslove rada, sa gledišta zaštite od zračenja;
- strogo se pridržavati zakonskih propisa i pravila zaštite od zračenja (zabrani pridržavanje kasete ili pacijenata prilikom grafija, držati zatvorena vrata prostorija pri snimanju, pravilno koristiti zaštitna sredstva i dr.);
- adekvatno obrazovati učesnike u dijagnostičkoj proceduri, a posebno R \ddot{O} tehničare i lica zadužena za mere zaštite od zračenja u medicinskim ustanovama;
- pažljivo sprovoditi parcijalne mere zaštite od zračenja;
- pri dijagnostičkim pregledima mogu se koristiti R \ddot{O} -aparati u višepulsnom spoju. Izuzetno, monopulsní aparati mogu se koristiti kod snimanja zuba, pri snimanju u bolesničkim sobama i hirurškim salama, kao i u vanrednim prilikama;
- prosvetljavanje pacijenata pokretnim R \ddot{O} -aparatom može se vršiti samo ako isti poseduju elektronski pojačavač slike ili TV lanac;
- vilica se može snimati samo specijalno namenjenim R \ddot{O} -aparatom;
- po Pravilniku o uslovima za primenjivanje izvora jonizujućih zračenja u me-

dicini (član 17, "Sl. list SFRJ" br. 40/86), sistematsko ispitivanje dojki i sistematsko ispitivanje kukova dece smatra se medicinski neopravdanim ozračivanjem;

- preventivne sistematske preglede pluća, treba vršiti, po pravilu, stacionarnim RÖ-aparatima u višepulsnom spoju.

3.3. Uslovi i pravila u radioterapiji

- Terapija jonizujućim zračenjima može da se sprovodi samo po utvrđenom programu lečenja i uz obezbeđenu dozimetriju ozračivanja;
- Medicinska ustanova koja koristi zatvorene izvore za radioterapiju mora imati specijalizovane kadrove i opremu za dozimetriju zračenja;
- Izbor metoda i terapijskih postupaka treba da bude takav da se zdravo tkivo pacijenta ozračuje što manje;
- Terapija jonizujućim zračenjem pomoću bilo kog zatvorenog izvora jonizujućeg zračenja koji je odobren za upotrebu može da se vrši samo ako je poznata topografija polja zračenja za takav postupak;
- U proceni ozračenosti lica koja sprovode terapijski postupak, nivo ozračenosti se određuje za vreme sprovođenja terapije, a na osnovu poznavanje topografije polja zračenja, broja izvršenih ozračivanja i vremena njihovog trajanja;
- Na kontrolnoj ploči i unutar prostorije za tretman treba postaviti pouzdane i vidljive indikatore koji će pokazati da li je uređaj u radu;
- Kod cevi sa mogućnošću rada na naponima iznad 50 kV mora biti onemogućen ulazak u sobu za tretman za vreme rada uređaja. Ovo osiguranje mora biti uvedeno tako da putem automatskih prekidača dolazi do prekidanja direktnog snopa u slučaju otvaranja vrata za tretman;
- Uređaj treba biti snabdeven uređajem koji će automatski isključiti ozračivanje posle isteka vremena ozračivanja. Ovaj zahtjev je od posebne važnosti i posebna pažnja mora biti posvećena komponentama koje mogu uzrokovati kvar uređaja;
- Za vreme ozračivanja pacijenta nijedna druga osoba ne sme biti u prostoriji za tretman (ozračivanje), osim za uređaje sa naponom manjim od 50 kV. Ostanak nekog od osoblja u izvodjenju terapije, ili drugih, unutar sobe za tretman za vreme ozračivanja treba biti onemogućen specijalnim merama. Sve osobe u sobi za tretman moraju, odgovarajućom signalizacijom (zvučnom i svetlosnom), biti obaveštene o uključenju direktnog snopa, tj. puštanju uređaja u aktivan rad (početku ozračivanja). Iz gornjih razloga treba obezbediti mogućnost da se vrata sobe za tretman mogu otvoriti iznutra;
- Svaki uređaj za terapijsko ozračivanja treba biti testiran (provera održanja performansi uređaja) i kalibrisan od strane kvalifikovanih eksperata, pre prvog puštanja u rad, a takodje i u vreme propisanih intervala kontrole. Minimalni zahtjevi u pogledu obima i učestalosti ponovnih kalibracija treba da budu određeni od strane ovlašćenih i kompetentnih organa. Od najvećeg je značaja ustanoviti kvalitetan program kontrole radioterapijske jedinice koji će biti vršen u intervalima propisanim od strane nadležnog republičkog (pokrajinskog) organa za poslove zdravlja.

Rendgen terapija za napone od 150-500 kV

- Svaka RÖ-cev mora biti zatvorena u kućište, tako da jačine kerme u vazduhu od curećeg zračenja merena na 1 m od fokusa cevi ne prelazi 10 mGy/h, niti 300 mGy/h u bilo kojoj poziciji dostupnoj pacijentu, na 5 cm od površine kućišta;

- Na kontrolnoj ploči treba biti označena indikacija napona i struje cevi u slučaju ako mogu biti promjenljivi. Takođe, u cilju lakog prepoznavanja, treba biti vidljiva i primenjena filtracija;
- Konus direktnog - snopa ne treba da bude širi od korisnog snopa za više od 2%;
- Uredjaj treba biti snabdeven sa vremenskim pokazivačem i ograničavačem - tajmerom za prekidanje ozračivanja po isteku planiranog vremena eksponiranja;
- Konstantnost izlazne doze treba proveravati nezavisnim mernim uredjajem.

Rendgen terapija za napone ispod 150 kV

- Kućište R θ cevi treba biti tako napravljeno da jačina kerme u vazduhu od curećeg zračenja ne prelazi 1 mGy/h na rastojanju od 5 cm, od površine kućišta;
- Uredjaj treba biti tako dizajniran da spreči nepravilne kombinacije napona cevi i filtracije. Napon i struja cevi moraju biti vidljivi u slučaju ako mogu varirati. Takođe, upotrebljena filtracija mora biti vidljiva;
- Cev ne treba biti pomerana rukama i treba biti fiksirana u radnom položaju mehaničkim putem;
- Za terapijski tretman sa naponima cevi manjim od 50 kV operator i druge značajne osobe mogu boraviti u sobi za vreme trajanja ozračivanja. Sve ove osobe moraju nositi zaštitna sredstva čija zaštitna moć nije manja od 0,25 mm olova;
- Zbog male inherentne filtracije i kratkog rastojanja između fokusa i prozora, jačina kerme kod niskovoltaznih cevi u površinskoj terapiji je vrlo visoka, te i kratko izlaganje direktnom snopu može uzrokovati ozbiljniju povredu. U slučajevima sa prozorom cevi od berilijuma, jačina kerme može iznositi i do 10 Gy/s (100 rad/s). Iz ovih razloga neophodno je onemogućiti akcidentalna ozračivanja. U tom cilju potrebno je na kućištu cevi ugraditi zvučni ili upozoravajući svetlosni signal koji će biti aktiviran za vreme napajanja cevi visokim naponom.

Terapija elektronima i visokoenergetskim X-zračenjem

- Kako se ovde radi o visokoenergetskom zračenju, od posebne važnosti je učiniti dobar izbor i raspored apsorbujućih materijala. Izbor ovih materijala treba da obezbedi kvalitetnu zaštitu, ne samo od visokoenergetskih elektrona, već i od prodornijeg X-zračenja, takođe visoke energije, a koje se, kao parazitan, pojavljuje pri udaranju elektrona u prepreku;
- Uredjaj treba da je adekvatno zaštićen zaštitnim pločama koje će obezbediti dovoljno kvalitetnu zaštitu prostora van direktnog snopa. Jačina kerme od curećeg zračenja, u bilo kojoj tački van maksimalno korisnog snopa unutar kružne površine radijusa 2 m oko ose direktnog snopa i normalno na njega, pri normalnom rastojanju, ne treba da predje 0,2% od vrednosti u osi na istom rastojanju. Cureće zračenje se meri pri blokadi direktnog snopa dovoljno debelim absorberom. Osim u prethodnom slučaju, jačina kerme curećeg zračenja na 1 m od putanje elektrona, na delu između izlaza i mete (prozora) ne treba da predje vrednost od 0,5% vrednosti na centralnoj osi snopa pri normalnoj distanci;
- Doprinos neutrona dozi unutar i van aktivne površine treba smanjiti do praktički razumskih granica. Unutar površine (polja) kerma u tkivu od neutrona ne treba da predje 1% od odgovarajuće ekvivalentne doze fotonskog zračenja. Ovo znači da jačina apsorbovane doze neutrona nikad ne prelazi 0,1% jačine fotonske doze i malim delom učestvuje u terapijskom efektu. Neutroni van primarnog snopa X-zračenja daju zanemarljiv doprinos ukupnoj, integralnoj dozi, koju prima pacijent. Van aktivne površine, jačina kerme neutrona treba biti redukovana do minimalne, praktično prihvatljive, vrednosti;

- Za polje površine $10 \times 10 \text{ cm}^2$ cureća komponenta zračenja ne treba da doprinosi više od 10% energije deponovane korisnim snopom;
- Zbog sigurnosti pacijenta akcelerator treba biti snabdeven sa dva, nezavisna sistema merenja, a koji su konstruisani tako da svaki od njih, nezavisno od drugog, može prekinuti ozračivanje;
- Zbog komplikovanosti akceleratora kao uređaja i mogućnosti promene njegovih parametara, značajno je napraviti sistem mikroprekidača, u cilju prevencije greške koja može nastati pri izboru tipa i energije zračenja;
- Svi parametri koji su bitni za ispravan rad i značajne performanse radijacionog tretmana treba da budu ispisane i vidljive na displeju kontrolne ploče.

Opasnost od neželjene generacije neutrona iz elektronskih generatora

Uređaji za proizvodnju elektrona ili X-zračenja koji rade na energiji od preko 10 MeV mogu izazvati značajne foto-dezintegracije jezgra. Za većine elemenata energije između 10 i 20 MeV su dovoljne da izazovu produkciju neutrona.

Do sada nije pronađen zadovoljavajući način merenja doprinosa neutrona dozi u direktnom snopu ili van sobe za terapiju. Mjerenja izvršena u primarnom snopu elektronskih akceleratora su pokazala da jačina ekvivalentne doze od neutrona nikad nije veća od 0,1% iste doze za fotone i da čini samo mali udeo u terapijskom efektu.

Pojava neutrona takodje može biti uzrokovana kao rezultat radioaktivnosti komponenta mete, što treba uzeti u obzir pri rukovanju i održavanju.

Terapija zatvorenim izvorima

Svaki zatvoreni gama izvor upotrebljen za terapiju treba biti smešten u kućište sa kontrolnim mehanizmom u poziciji "OFF", tako da jačina kerme curećeg zračenja na 1 m rastojanja od izvora ne prelazi $10 \mu\text{Gy/h}$. U bilo kojem pristupačnom položaju, na 5 cm od površine kućišta, jačina kerme cureće radijacije ne treba da prelazi $200 \mu\text{Gy/h}$.

- Sa kontrolnim mehanizmom snopa u "ON" položaju, jačina kerme curećeg zračenja, na 1 m od izvora ne treba da prelazi, ili 10 mGy/h ili 0,1% korisne jačine kerme na 1 m od izvora.
- Kontrolni mehanizam snopa treba da je takav da automatski vrati prekidač u "OFF" položaj po završetku svakog ozračivanja ili u slučaju prekida ili pada energije koja drži prekidač u poziciji "ON". Pozicija "OFF" ostaje važeća do uključivanja mehanizma sa kontrolne ploče. Sem toga, uređaj mora biti tako konstruisan da, u slučaju greške u automatskom sistemu, zračenje može biti prekinuto na drugi način, npr. ručno, a u cilju zaštite pacijenta.
- Kućište izvora zračenja mora biti zaštićeno od vatre i obezbedjeno od razaranja u slučaju požara.

Terapija zatvorenim nekolimisanim izvorima

Zatvorenim izvorom zračenja se samtra onaj radioaktivni izvor koji je smešten u neaktivnu kapsulu ili kontejner, ili potpuno ograničen unutar neaktivnog materijala, tako da je sprečeno rasipanje radioaktivne substance tokom rutinske upotrebe. Neki izvori, odnosno kontejneri su lomljivi i lako mogu biti oštećeni, što može izazvati rasipanje radioaktivnog materijala.

- Za preparaciju izvora i aplikatora treba predvideti posebnu prostoriju ili posebno namenjen i opremljen i uređen prostor. Za vreme ovakve preparacije u tom prostoru mogu boraviti samo osobe koje vrše preparaciju. Unutar tih zona zabranjeno je: pušiti, piti, jesti i upotrebljavati kozmetička sredstva.

- Zatvoreni radioaktivni izvor treba da bude prepoznatljiv kao takav. Vrsta i aktivnost radioaktivnog materijala treba da su vidljivo označeni radi identifikacije.
- U slučaju korišćenja zatvorenih izvora jonizujućih zračenja neophodno je voditi dobru evidenciju, koja pored ostalog sadrži i: serijski broj ili drugu identifikaciju svakog izvora, fizikalnu ili hemijsku formu radioaktivne substance, datum prispeća izvora i njegovu aktivnost u to vreme, datum i način poslednjeg stokiranja. Takodje, neophodno je voditi pismenu evidenciju svakog kretanja - dislokacije izvora unutar i van ustanove u cilju prevencije najozbiljnijeg akcidenta - gubitka radioaktivnog izvora.
- Svaki gubitak ili oštećenja zatvorenog radioaktivnog izvora mora odmah biti prijavljeno licu odgovornom za sprovođenje mera zaštite od zračenja. Kontrola zatvorenog terapijskog izvora zračenja, uključujući dozimetrijske provere, vrši se u propisanim intervalima, ne kraćim od jedanput godišnje.
- Smeštaj - skladištenje, iznošenje, korišćenje ili prijem zatvorenog terapijskog izvora može biti vršen samo od strane odgovornog i ovlašćenog lica.
- Posebnim pravilnikom - pravilima detaljno se reguliše način korišćenja i konačnog smeštaja zatvorenog izvora, kao i procedura u slučaju radijacionog akcidenta (gubitak, oštećenje izvora i dr.). Pri izradi ovih pravila treba izvršiti predviđanje mogućih tipova akcidenta, odnosno njihovih uzroka i posledica (naprimer: mogućnost i obim moguće kontaminacije u slučaju požara).
- Korišćenje izvora može imati jedan od dva moguća statusa. U prvom slučaju radi se o redovnom korišćenju izvora, što, saglasno zakonskim propisima, podrazumeva postojanje rešenja o korišćenju (čime je korišćenje izvora legalizovano) i vršenje redovnih dozimetrijskih kontrola i proveru kvaliteta izvedenih mera zaštite od zračenja od strane ovlašćene ustanove, u propisanim intervalima. U drugom slučaju, ukoliko se izvor ne koristi i isto se ne planira u budućnosti, zatvoreni radioaktivni izvor treba smatrati radioaktivnim otpadom, te saglasno zakonu, pristupiti njegovom konačnom ili privremenom skladištenju.
- Kad nije u upotrebi izvor mora biti smešten pod takvim uslovima koji obezbeđuju kvalitetnu zaštitu od zračenja. Najvažnija mera u ovom slučaju je: one-mogućiti neovlašćen pristup izvoru i sprečiti dislokaciju istog od strane neovlašćenog lica. Takodje je značajno minimizirati rizik od požara.
- Ukoliko je iz izvora moguća emisija radioaktivnih gasova i/ili para, potrebno je obezbediti odgovarajuću ventilaciju.
- U propisanim intervalima, a najmanje jedanput godišnje treba vršiti proveru hermetičnosti izvora.
- U slučaju ako postoji mogućnost da je integritet izvora (hermetičnost) bio narušen, isti mora biti zatvoren u hermetični kontejner i, na odgovarajući način, predat ovlašćenoj ustanovi na popravku. Pored toga, površine i prostori u kojima je izvor boravio, kao i osobe koje su njime rukovale, moraju odmah biti pregledani i kontrolisani od strane stručnih i ovlašćenih lica.
- U cilju zaštite od zračenja angažovanog osoblja - profesionalaca treba koristiti podesna sredstva - alate ili ugradjene mehanizme - instrumente za rukovanje, uz odgovarajuću obučenosť manipulantu.
- Izvor zračenja nikad ne dirati prstima.
- Pošto su produkti raspada radijuma (Ra-226) gasoviti (radon), izvori radijuma su posebno sklони ka curenju. Zato radijum i njegovi potomci daju najveći rizik od svih zatvorenih terapijskih izvora zračenja koji se koriste u medicini.
- Transport - premeštanje izvora unutar organizacije treba vršiti tako da sve osobe budu adekvatno zaštićene. Ukoliko je aktivnost izvora mala, kontejner

sa izvorom se može nositi i rukama, koristeći pritom produžene ručke, radi obezbedjenja povećanog rastojanja. Prilikom transporta kontejneri moraju biti označeni sa maksimalno dozvoljenom aktivnošću punjenja radioizotopa za koji su predviđeni.

- U ustanovama, ambulantne i hospitalizovane pacijente, koji u sebi sadrže zatvoren radioaktivni izvor, treba odvojiti u posebne prostorije ili odeljenja. Osoblje koje radi sa ovakvim pacijentima mora biti iskusno i dobro obučeno. Kreveti i sobe sa ovakvom vrstom pacijenata moraju biti pogodno označeni.
- Broj i položaj pokretnih zatvorenih izvora, u, ili na pacijentu, treba da budu proveravani tokom tretmana. Po uklanjanju izvora od pacijenta treba izvršiti merenja pacijenta i njegove odeće.

Neutronske generatori i izvori

Medicinska upotreba neutrona moguća je kako u dijagnostici, tako i u terapiji. Dijagnostička upotreba neutrona za aktivacionu analizu "in vivo" može biti izvršena koristeći neutronske generator ili zatvoreni izvor $Cf-252$ ili neki od izvora sa nuklearnim reakcijama (npr. Pu-Be izvor).

Sa gledišta zaštite od zračenja upotrebe neutrona u dijagnostičke ili terapeutske svrhe nije poželjna iz više razloga. U konkurenciji sa X-zračenjem za svrhe rutinske radiografije neutrone ne treba koristiti zbog visoke ekvivalentne doze koju prima pacijent. Pored toga, a što je značajan razlog protiv upotrebe neutrona, su teškoće koje se javljaju pri merenju kod neutrona, kako u radnoj sredini, tako i individualno primljenih doza. Zaštitu od neutrona je mnogo teže izvesti nego u slučaju zračenja sa niskim "LET" faktorom ("linearni transfer energije"). Varijacije u vrednosti "Q" faktora pri procenjivanju ekvivalentne doze jako otežavaju planiranje zaštitnih faktora. Takođe je teško obezbediti ostru kolimaciju korisnog snopa. Ovo čini problem zaštite pacijenta mnogo težim nego u slučaju fotonskog zračenja. Najzad, dodatna teškoća leži u činjenici da neutroni, u neposrednoj okolini izvora (generatora), indukuju radioaktivnost u vazduhu i materijalu. Iz gornjih razloga upotreba neutrona u dijagnostici i terapiji treba biti redukovana i dozvoljena samo specijalistima u ovoj oblasti.

3.4. Uslovi i pravila u radu sa otvorenim izvorima zračenja

Dosadašnje izlaganje odnosilo se na zatvorene izvore zračenja, kod kojih, po pravilu, bez obzira na intenzitet polja zračenja, problem zaštite od zračenja nije složen. Postoji rizik od spoljašnjeg ozračivanja (izvor zračenja je van organizma) i to od visokoprodornog X ili gama zračenja. Opasnost od spoljašnjeg ozračivanja alfa ili beta zračenjem je sekundarnog značaja.

S druge strane, korišćenje široke skale raznih radionuklida, kao otvorenih izvora zračenja, za svrhe dijagnostike ili terapije, unosi, pored spoljašnjeg ozračivanja, novu vrstu opasnosti po ljudski organizam. Kratko rečeno, osnovni problem u radu sa otvorenim izvorima jonizujućeg zračenja sadržan je u mogućnosti kontaminacije:

- radnih i drugih površina,
- radnih i drugih prostora (vazduha),
- spoljašnje i unutrašnje, kod ljudi.

Posebno značajan radijacioni rizik se javlja pri internom ozračivanju (izvor zračenja je unutar organizma) u slučajevima interne kontaminacije, koja može nastati na više načina, kao što su: inhalacija, ingestija i preko kože (posebno u slučaju povreda na koži).

Rad sa otvorenim izvorima jonizujućih zračenja odvija se unutar Radioizotopne laboratorije. Za rad radioizotopne laboratorije, kao i u slučaju korišćenja bilo kakvog izvora jonizujućeg zračenja, potrebno je Rešenje za korišćenje - upotrebna dozvola, izdata od strane nadležnog sanitarnog inspektora, pri republičkom (pokrajinskom) komitetu za zdravlje. Dobijanje upotrebne dozvole za rad i korišćenje radioizotopne laboratorije uslovljeno je sledećim opštim zahtjevima:

- zdravstvena sposobnost i redovna medicinska kontrola osoblja,
- stručna osposobljenost sa gledišta zaštite od zračenja,
- lična dozimetrijska kontrola profesionalno izloženih lica,
- pravilna upotreba odgovarajućeg instrumenta za detekciju i/ili merenje kontaminacije (zračenja),
- kvalitetno izvedene mere zaštite od zračenja (od kojih je posebno značajna ventilacija) koje su potvrđene odgovarajućim dokumentom ovlašćene institucije.

Najmasovniji vid primene otvorenih izvora zračenja nalazi se u humanoj medicini, a razvijen je kroz nekoliko faza. Prva faza odnosi se na primenu tzv. bazičnih radionuklida, kao što su: J-131, P-32, Au-198, Cr-51 i S-35, a koji se danas smatraju klasičnim. Zbog relativno nepovoljnih radijacionih karakteristika upotreba navedenih izotopa opada, a umesto njih koriste se nuklidi boljih osobina.

Druga faza odnosi se na širu primenu radiofarmaceutika - radionuklidima obeleženih organskih jedinjenja. Ove preparate čine standardni rastvori koji po sterilnosti, toksičnosti i apirogenosti zadovoljavaju zahtjeve farmakopeje. Primena radiofarmaceutika i scintigrafije kao dijagnostičke metode znači korak napred u zaštiti od zračenja. Standardni nuklidi obeleživači za ove svrhe su: J-125, J-132, Co-57, Ga-57, a u novije vreme sve više se koristi Tc-99m, proizveden u tzv. tehnecijum - generatoru. U generatoru radionuklida nastaju kratkoživeći radionuklidi, radioaktivnim raspadom dugoživećeg roditelja. Oni daju dobru pouzdanost detekcije zračenja, malu dozu i brzo iščezavaju, što je sa stanovišta zaštite od zračenja, veoma značajno. Tc-99m koristi se i proizvodi u nas.

Pri izboru radionuklida za dijagnostičke svrhe osnovni zahtjevi su:

- minimalne energije naelektrisanih čestica pri raspadu,
- energije pratećih fotona u opsegu od 20 keV do 1 MeV,
- dovoljno dugo vreme poluraspada za pripremu i aplikaciju,
- da je biološko poluvreme duže od vremena analize,
- da je pogodnog hemijskog oblika radi selektivne i efikasne fiksacije i akumulacije na datom organu,
- da gradi jedinjenja male toksičnosti, i dr.

Uslovi i pravila rada u radioizotopnoj laboratoriji

Radioizotopna laboratorija odstupa od klasične hemijske laboratorije, kako po planiranju i izvodjenju, tako i u režimu rada. Razlog leži u osobinama materijala sa kojim se radi, a to su, u prvom redu njegova radioaktivnost i toksičnost. Iz tih razloga uredjenje i organizacija rada u radioizotopnoj laboratoriji moraju biti takvi da verovatnoća nastanka kontaminacije površina, vazduha i ljudi bude držana u minimumu. Opremanje i organizacija rada u radioizotopnoj laboratoriji zavisi, najpre, od vrste i količine (nivoa aktivnosti) radioizotopa koji se koriste.

Po vrsti korišćenog radioaktivnog materijala postoje: alfa, beta i gama laboratorije. Kako su opasnosti za navedene vrste zračenja različite po kvalitetu, mere zaštite od zračenja su različite, zavisno od tipa laboratorije.

Prema nivou aktivnosti laboratorije se dele na:

- A. - laboratorije za visoku aktivnost
- B. - laboratorije za srednju aktivnost
- C. - laboratorije za nisku aktivnost

Pre projektovanja radioizotopne laboratorije treba uraditi sledeće:

- utvrditi radni program laboratorije,
- definisati vrste i količine radioizotopa sa kojima će se raditi,
- opredeliti se i predvideti sistem zaštite od zračenja,
- odrediti i podeliti potreban prostor,
- napraviti finansijsku konstrukciju.

Glavni delovi radioizotopne laboratorije su prostori za:

- rad sa radioaktivnim materijalom (jezgro laboratorije),
- brojačke uredjaje,
- sanitarni propusnik,
- skladištenje radioaktivnog materijala,
- čekaonice,
- kancelarije, i
- ostale pomoćne i administrativne prostorije.

Svaki od pobrojanih delova radioizotopne laboratorije ima svoju specifičnu namenu, opremu, kao i pravila o radu i ponašanju.

Podela radioizotopne laboratorije na zone

U cilju sprovođenja odgovarajućih tehničkih, kontrolnih, medicinskih, administrativnih i drugih mera radiološke zaštite, objekti i radna mesta u radnoj i drugoj organizaciji u kojoj se radi sa izvorima jonizujućih zračenja razvrstavaju se u zone, i to:

- 1/ sanitarno-zaštitna zona,
- 2/ kontrolisane zone,
- 3/ zabranjene zone

1/ Sanitarno-zaštitna zona - obuhvata celokupnu teritoriju radne organizacije sa svim objektima i radnim mestima, gde sem prirodnog fona, ne postoje izvori jonizujućeg zračenja (otvoreni i zatvoreni izvori radioaktivnih izotopa, fisibilni materijali, radioaktivni otpaci, nuklearne mašine, X-uredjaji i sl.).

2/ Kontrolisane zone - obuhvataju delove teritorije odnosno objekte ili radna mesta u radnoj organizaciji gde, usled postojanja izvora jonizujućih zračenja, nivoi zračenja ili stepen kontaminacije mogu biti takvi da lica koja profesionalno rade u tim zonama mogu da budu izložena integralnim dozama u opsegu 0,005 - 0,05 Sv godišnje.

Kontrolisane zone dele se zavisno od prirode opasnosti na:

- a/ kontrolisane kontaminacione zone, i
- b/ kontrolisane radijacione zone.

a/ Kontrolisane kontaminacione zone - označavaju one kontrolisane zone u kojima pri normalnim radnim uslovima, pored radijacionih polja, postoji i mogućnost kontaminacije površina ili atmosfere radioaktivnim materijalima, usled prisustva izvora jonizujućih zračenja.

U zavisnosti od količine i radiotoksičnosti izotopa, kontrolisane kontaminacione zone dele se na tri kategorije.

Klasa radova sa otvorenim izvorima jonizujućih zračenja

- Svi radovi sa otvorenim izvorima zračenja svrstavaju se u tri klase. Klasa radova određuje zahtjeve u pogledu rasporeda i opreme prostorije, u kojoj će se sprovoditi (izvoditi) radovi sa otvorenim izvorima zračenja. Klasa rada se ustanovljava u zavisnosti od grupe radiotoksičnosti radioaktivnog izotopa, od stvarne količine (aktivnosti) na radnom mestu pokazanih u tabeli br. 1.

Tabela br. 1. Klasa radova sa otvorenim izvorima zračenja

Radiotoksičnost izotopa	Minimalne količine koje su od značaja	Aktivnost na radnom mestu		
		III	Klasa radova II	I
Grupa I (Vrlo visoka radiotoksič.)	3,7 kBq	370 kBq ili manje	370 kBq - 370 MBq	370 MBq ili više
Grupa II (Visoka radiotoksič.)	37 kBq	3,7 MBq ili manje	3,7 MBq - 3,7 GBq	3,7 GBq ili više
Grupa III (Umerena radiotoksič.)	370 kBq	37 MBq ili manje	37 MBq - 37 GBq	37 GBq ili više
Grupa IV (Niska radiotoksič.)	3,7 MBq	370 MBq ili manje	370 MBq - 370 GBq	370 GBq ili više

Napomena: U zavisnosti od operacija koje se obavljaju sa pojedinim izotopima, treba primeniti sledeće multiplikacione faktore na vrednosti date u tabeli 4:

Uskladištenje	x 100
Veome proste operacije sa tečnostima	x 10
Obične hemijske operacije	x 1
Kompleksne operacije sa tečnostima i proste operacije sa suvim materijalima	x 0,1
Operacije sa suvim praškastim materijalima	x 0,01

b/ Kontrolisane radijacione zone - označavaju one kontrolisane zone u kojima pri normalnim radnim uslovima, usled prisustva izvora jonizujućih zračenja, postoje radijaciona polja gde se jačina doze spoljašnjeg ozračivanja kreće u opsegu 17,92 - 179,25 pC/kg-s, ali gde, sem u slučajevima akcidenata, ne može da dodje do kontaminacije površina i atmosfere ili samo jedne od njih.

U koju će zonu biti razvrstan objekat ili radno mesto zavisi od stepena mogućeg ozračivanja ili kontaminacije od izvora jonizujućih zračenja koji se nalaze u objektu odnosno na radnom mestu.

c/ Zabranjene zone - obuhvataju one delove teritorije odnosno objekte ili radna mesta u radnoj organizaciji, usled postojanja izvora jonizujućih zračenja, nivoi zračenja ili/i stepen kontaminacije površina, ili/i atmosfere mogu

biti takvi da lica koja profesionalno rade u tim zonama mogu da budu izložena integralnim dozama većim od 0,05 Sv godišnje.

Zabranjene zone dele se zavisno od prirode opasnosti na:

- a/ zabranjene kontaminacione zone, i
- b/ zabranjene radijacione zone.

a/ Zabranjene kontaminacione zone - označavaju one zabranjene zone u kojima, pored postojanja radijacionih polja, nivoi kontaminacije površina ili/i atmosfere prelaze maksimalno dozvoljene vrednosti, usled čega izvođenje neodložnih radova u njima zahteva specijalne higijensko-tehničke uslove (rad sa respiratorima, skafandrima, specijalnom zaštitnom odećom i sl.), i to pod nadzorom stručnjaka za zaštitu od zračenja.

b/ Zabranjene radijacione zone - označavaju one zabranjene zone u kojima, zbog prisustva izvora jonizujućih zračenja, postoje radijaciona polja gde jačina doze spoljašnjeg ozračivanja prelazi 179,25 pC/kg.s, ali gde ne postoji kontaminacija površina ili/i atmosfere, sem u slučajevima akcidenata.

Neodložni radovi u zabranjenoj radijacionoj zoni izvode se pod kontrolom stručnjaka za zaštitu od zračenja i uz preduzimanje dodatnih mera zaštite (ograničenje vremena boravka u zoni, zaštitni ekrani, rad na rastojanju i sl.).

Zakonski propisi

Uslovi i pravila o radu radioizotopnih laboratorija u nuklearnoj medicini dati su u "Službenom listu SFRJ", br. 40/86), i to:

1. Pravilnik o stavljanju u promet i korišćenju radioaktivnih materija iznad određene granice aktivnosti, rendgen-aparata i drugih aparata koji proizvode jonizujuća zračenja i o merama zaštite od zračenja tih izvora (br. 611, str. 1168, članovi: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 12, 14, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57).
2. Pravilnik o uslovima za primenjivanje izvora jonizujućih zračenja u medicini (br. 613, str. 1178, članovi: 10, 11, 12, 13, 14, 15).
3. Pravilnik o stručnoj spremi, zdravstvenim uslovima i zdravstvenim pregledima lica koja mogu raditi sa izvorima jonizujućih zračenja (br. 616, str. 1192, članovi: 1, 2, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 19, 20).
4. Pravilnik o načinu sakupljanja, evidentiranja, obradivanja, čuvanja, konačnog smeštaja i ispuštanja radioaktivnih otpadnih materija u čovekovu sredinu (br. 617, str. 1194, članovi: 2, 3, 4, 5, 8, 9, 11, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 26, 29, 31, 32, 33).

LITERATURA

1. Protection Against Ionizing Radiation from External Sources Used in Medicine, ICRP publication 33, Vol. 9, No. 1, 1982, Pergamon Press.
2. Zbirka propisa - pravilnika, "Službeni list SFRJ", br. 40/86, Pravilnici 611. do 617.
3. Radioaktivni izotopi i zračenja, Knjiga II Radne tehnike, Savezna komisija za nuklearnu energiju, Naučna knjiga, 1968.

4. Slobodan Grnjatović, Zaštita od jonizujućeg zračenja kod primene tehnecijoma ^{99m}Tc u nuklearnoj medicini, Magistarski rad, 1984.
5. Srpko Marković, Smanjenje ozračenosti pacijenata i profesionalaca primenom visoko osetljivih filmova u R $\bar{\bar{O}}$ dijagnostici, XIII Jugoslovenski simpozijum zaštite od zračenja, Zbornik radova, Pula, 10. do 13. Juni 1985.

TEHNIČKE MERE ZAŠTITE OD JONIZUJUĆIH ZRAČENJA PRI MEDICINSKOJ PRIMENI ZATVORENIH I OTVORENIH IZVORA ZRAČENJA

UVOD

Iz godine u godinu povećava se broj i vrsta izvora jonizujućih zračenja koji se koriste u medicinskoj dijagnostici i terapiji. Povećavanje njihovog broja kao i povećavanje dijagnostičkih i terapijskih postupaka koji se sprovode nad pacijentima doprinosi sve većem ozračivanju osoblja koje sa izvorima zračenja rukuje kao i pacijenata.

Tehničkim merama zaštite koje se sprovode i koje su propisane zakonskim propisima u znatnoj meri se može smanjiti ozračivanje osoblja ali se ne može u potpunosti izbeći.

Zbog toga je od izuzetnog značaja primena ličnih i kolektivnih sredstava zaštite. Projektovanju adekvatnih prostorijskih treba da se posveti odgovarajuća pažnja a koristiti samo one izvore zračenja čije tehničke karakteristike odgovaraju zakonskim normativima.

U radu su ukratko iznete izvesne tehničke mere zaštite od jonizujućih zračenja koje treba primenjivati pri primeni izvora jonizujućih zračenja u medicini.

Primena izvora jonizujućih zračenja u medicini povlači sa sobom određeni radijacioni rizik kome su izloženi radnici koji sa njima rukuju ali u znatnoj meri i pacijenti koji se izlažu jonizujućim zračenjima.

Radijacioni rizik koji se sagledava kroz broj novonastalih malignoma sa smrtonosnim ishodom u datoj populaciji koja se izlaže jonizujućim zračenjima, kako dosadašnja ispitivanja u nas pokazuju, je merljiva veličina, nije beznačajna i u potpunosti se ne može izbeći (1, 2).

Iz tih razloga od velikog je značaja da se odredjenim postupcima, sredstvima i odgovarajućom edukacijom kako radnika koji rukuju sa izvorima jonizujućih zračenja tako i samih pacijenata utiče na smanjenje radijacionog rizika u što je moguće većoj meri.

Zaštita osoblja i pacijenata može se ostvariti na različite načine. Oni su uslovljeni vrstom izvora jonizujućih zračenja, njihovom aktivnošću, uslovima pod kojima se vrši ozračivanje pacijenata ali i vrstom dijagnostičkog odnosno terapijskog postupka koji se primenjuje.

IZVORI JONIZUJUĆIH ZRAČENJA

U medicinskoj dijagnostici i terapiji koriste se zatvoreni i otvoreni izvori jonizujućih zračenja.

Pod zatvorenim izvorima jonizujućih zračenja u skladu sa važećim zakonskim propisima (3) podrazumevaju se uređaji koji služe za dobijanje i korišćenje definisanih snopova zračenja kao što su pre svega dijagnostički i terapijski rendgen aparati, akceleratori, betatroni i slični uređaji.

U nuklearnoj medicini koriste se uglavnom otvoreni izvori jonizujućih zračenja koji se u obliku različitih radiofarmaceutskih preparata unose u

telo pacijenta u cilju dijagnostičkih ili terapijskih ispitivanja pojedinih organa ili čitavih sistema ljudskog organizma.

ZASTITA RADNIKA KOJI RUKUJU SA IZVORIMA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA OD ZRAČENJA TIH IZVORA

Razmotrimo posebno zaštitu radnika od jonizujućih zračenja u uslovima primene različitih izvora jonizujućih zračenja.

Najrasprostranjeniji zatvoreni izvori jonizujućeg zračenja koji se koriste u medicini svakako su dijagnostički rendgen aparati. Sa njima rukuje veliki broj zdravstvenih radnika različitih specijalnosti a nije mali broj ni drugih zdravstvenih radnika koji se izlažu jonizujućem zračenju mada ne rukuju sa rendgen aparatima. To je bio i jedan od razloga što je u zakonskim propisima donetim 1986. godine (3) najviše prostora i ostavljeno regulisanju tehničke zaštite radnika i pacijenata od rendgenskog zračenja.

Osnovni princip zaštite od rendgenskog zračenja i u ovom slučaju jeste da se u zoni zračenja zadržava što je moguće kraće, da se obezbedi dovoljno rastojanje između izvora i radnih mesta zaposlenih a da se kad god je to moguće koriste lična i kolektivna zaštitna sredstva. U najvećem broju slučajeva međutim nije moguće postići potpunu zaštitu osoblja.

Prema opšte prihvaćenom ALARA principu (4) planiranje zaštite i ne treba posmatrati tako da se po svaku cenu mora postići potpuna zaštita osoblja. Ali opet sa druge strane treba učiniti sve da se postigne što kvalitetnija zaštita i osoblja i pacijenata. ALARA princip ugrađen je i u našim zakonskim propisima s tim što se zahteva da se za svaki posmatrani slučaj proračunaju i odrede uslovi optimalne zaštite.

Projektovanje zaštite svodi se pre svega na obezbeđivanje zaštitnih sredstava, dovoljnog radnog prostora kao i dobre zaštite zidova, podova i tavanica.

Iz toga sledi da objekti u kojima se koriste dijagnostički i terapijski rendgen aparati moraju da budu takve veličine da omoguće da se u njima pravilno postave i rasporede delovi rendgen aparata kako bi osoblje moglo normalno da obavlja svoje poslove a da se pri tome u što je moguće manjoj meri izlažu uticaju rendgenskog zračenja.

- U zavisnosti od vrste i tipa rendgen aparata neophodno je da se obezbedi:
- najmanje 20 m² za prostoriju u kojoj bi se koristio dijagnostički rendgen aparat sa jednom rendgenskom cevi,
 - odnosno najmanje po 15 m² po jednoj rendgenskoj cevi ako se na jedan komandni sto povezuje više rendgenskih cevi.

Površina prostorije koja je namenjena za terapijske rendgen aparate mora iznositi najmanje 16 m².

Prostorije u kojima se koriste stomatološki rendgen aparati moraju takodje da odgovaraju odredjenim normama koje se odnose na površinu prostorija kako bi se u njima moglo nesmetano raditi a da se pri tome ostvare i odgovarajući uslovi zaštite. Prostorija u kojoj se koriste rendgen aparati za snimanje zuba čiji električni visoki napon ne prelazi 60 kV (kao što je na primer rendgen aparat El Niš Dent) mora imati površinu od najmanje 8 m² u slučaju da se snimanje zuba vrši iz iste prostorije ili površinu od najmanje 6 m² ako se za vreme snimanja radnik koji snima nalazi u drugoj prostoriji.

Ukoliko se projektuje prostorija za rad sa stomatološkim rendgen aparatima koji se koriste za panoramska snimanja zuba ili se koriste stomatološki rendgen aparati koji se napajaju visokim naponom koji je viši od 60 kV onda je neophodno da se obezbedi prostorija površine od najmanje 16 m².

Ovakvi na prvi pogled rigorozni uslovi smeštaja rendgen aparata neopodno su jer se samo u takvim dovoljno prostranim prostorijama mogu obezbediti zadovoljavajuća rastojanja izmedju izvora zračenja i mesta na kojima se nalaze radnici koji sa ovim izvorima rukuju.

Zaštita radnika koji obavljaju snimanja pacijenata ostvaruje se zaštitnim paravanima koji mogu biti prenosivi ili nepokretni. Kako je iz dosadašnje prakse poznato prenosivi zaštitni paravani, čije su dimenzije iznosile 120x180 cm sa olovnom limom debljine 1 mm, nisu mogli da obezbede dovoljnu zaštitu radnika jer se zbog njihove male dimenzije a posebno u slučajevima malih prostorija na mestu radnika registrovale po nekada i izuzetno velike vrednosti jačina ekspanzionih doza zračenja. U pojedinim slučajevima ove vrednosti su mogle biti i veće od dopuštenih vrednosti.

Zbog toga je zakonskim propisom iz 1986. godine propisano da se ovakvi paravani mogu koristiti samo pri radu sa stomatološkim rendgen aparatima a da se komandni stolovi stacionarnih dijagnostičkih rendgen aparata moraju postavljati ili u zaštitnu kabinu ili u susednu prostoriju. U zidovima zaštitnih kabina moraju postojati otvori zaštićeni olovnom staklom čiji ekvivalenat olova ne bi smeo da bude ispod 1,8 mm.

U poslednje vreme sve više se koriste stacionarni rendgen aparati koji su opremljeni daljinskim komandama. U cilju dobre zaštite radnika od rendgenskog zračenja u tim slučajevima komandni stolovi ovih aparata treba da se postavljaju ili u zasebnim kabinama ili u istoj prostoriji na takvom mestu i rastojanju od izvora zračenja da se ozračivanje osoblja svede na najmanju moguću meru, ali obavezno ispod granice koja je propisana za lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja. Pri tome je važno da se vodi posebna pažnja ne samo o rastojanju izvor radno mesto već takodje i o njihovom medjusobnom odnosu.

Svakako da je mnogo lakše obezbediti radne uslove za stacionarne rendgen aparate nego za prenosne ili rendgen aparate koji se koriste u pokretnim laboratorijama - autobusima za masovna snimanja pluća.

Nije dovoljno da se za prostorije u kojima se koriste rendgen aparati obezbedi samo odredjeni minimum korisne površine, da se izgrade zaštitne kabine i zaštitni zidovi. Potrebno je posebno za svaku prostoriju proceniti zaštitnu moć zidova, tavanice i podova kako bi se u što je moguće većoj meri zaštitili radnici koji rade u susednim prostorijama od rendgenskog zračenja. Iz toga razloga u zakonskim propisima i nisu navedene brojne vrednosti za zaštitnu moć zidova niti su date vrednosti jačina ekspanzionih doza zračenja koje se na ovim mestima ne smeju prekoračiti.

Zakonodavac je predvideo da ovi zidovi, podovi, tavanice kao i vrata na prostorijama moraju biti izgradjeni od takvog materijala koji bi garantovao da se doza zračenja na mestima radnika svede na najmanju moguću vrednost ali sigurno ispod propisanih granica doza za lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja odnosno ako se radi o zaštiti drugih lica ispod granice koja je propisana za grupe pojedinaca iz stanovništva.

Prema tome, zidovi zaštitnih kabina i prostorija, podovi i tavanice mogu se izgradjivati od različitog materijala pod uslovom da se postigne zadovoljavajuća zaštita od rendgenskog zračenja. Pri tome se preporučuje da se koriste jeftiniji materijali i materijali koji se lakše obradjuju.

Tako na primer, zidovi prostorija i zidovi zaštitnih kabina mogu biti gradjeni od opeke, betona ili oblagani olovnim limom. Malterisanje se može izvesti običnim ali i baritnim malterom. Najčešće se preporučuje obična opeka (ne sme biti šuplja) i običan malter jer je takvo rešenje dobro a jeftinije od drugih.

Svakako u uslovima kada se ne raspolaže sa dovoljnim prostorom ili kada se radi o izvorima zračenja većih energija poželjno je da se koristi beton a

kada se radi o zaštiti vrata onda olovni lim čija je debljina uslovljena energijom izvora.

Kada se radi o terapijskim rendgen aparatima, akceleratorima sličnim uređajima koji raspoložu velikim energijama zračenja uz napred navedene materijale može se koristiti i baritni beton ili olovne ploče određene debljine.

Nezavisno od ovih normativa koji se odnose na veličinu prostorija i zaštitnu moć zidova, materijala od koga se prave ili samo štite vrata i zidovi paravana i kabina zakonskim propisima su propisani i tehnički kriterijumi koje moraju da ispunjavaju i sami izvori rendgenskog zračenja - rendgen aparati.

Ako se radi o stacionarnim rendgen aparatima koji se koriste za prosvetljavanje pacijenata tada su propisane vrednosti ekvivalenta olova u staklu ekrana, zaštitnoj pregači ispod ekrana i sa leve strane ekrana, zaštitnoj stolici odnosno zaštitnim paravanima koji predstavljaju sastavne delove pojedinih specijalnih rendgen aparata (mamografi i drugi).

Svakako da je učinjen veliki napredak u rendgen dijagnostici kada je započeto sa opremanjem rendgen aparata sa TV lancem. Medjutim pri tome treba biti obazriv jer ako se lekar za vreme prosvetljavanja ne nalazi iza uređaja za ciljano snimanje već nešto levo u odnosu na njega i ne koristi zaštitnu stolicu on može biti izložen i većim dozama jonizujućeg zračenja nego u slučaju kada se koristi klasičan ekran. Takodje zbog toga što lekar smatra da je bolje zaštićen od rendgenskog zračenja nesvesno može doći do produžavanja prosvetljavanja što nije dobro ni za lekara ni za pacijenta.

Kada se koriste prenosni rendgen aparati za prosvetljavanje obavezno treba koristiti lična zaštitna sredstva kao i dodatne tubuse na zračnicima kako bi se doze zračenja svele na razumnije vrednosti.

Rendgen aparati koji su namenjeni za snimanja pacijenata opremljeni su zaštitnim dubinskim blendama, zaštitnim tubusima i zavesicama koje se postavljaju na zračnike i doprinose smanjivanju ozračenog polja i manjem rasipanju zračenja.

Prema zakonskim odredbama kućišta u kojima se nalaze rendgenske cevi (haube) moraju imati otvor samo za prolaz korisnog snopa zračenja. Kućište mora biti tako izgradjeno da pri zatvorenom otvoru za prolaz korisnog snopa zračenja ne sme propuštati ni u jednom pravcu jačinu doze zračenja veću od određene vrednosti merene na 1 m od zračnika (za rendgen aparate čiji napon ne prelazi 150 kV vrednost je 270 nGy/s a za stomatološke rendgen aparate 60 nGy/s).

Ne sme se zaboraviti da su učinjena znatna tehnička unapredjenja na samim izvorima rendgenskog zračenja - rendgenskim cevima i generatorima rendgen aparata. Sve više se koriste rendgen aparati u višepulsnom spoju a rendgenske cevi se grade sa brzim i superbrzim obrtnim anodama malih anodnih uglova. Ovo doprinosi da se sa kraćim vremenima ozračivanja pacijenata uz dobijanje zadovoljavajućih dijagnostičkih rezultata smanji ozračivanje i pacijenata i osoblja.

Kada se govori o zaštiti osoblja od dejstva jonizujućih zračenja u medicinskoj rendgendijagnostici često se zaboravlja na veliki broj pomoćnih zdravstvenih radnika (medicinske sestre i tehničari) koji za vreme sprovođenja dijagnostičkih postupaka pridržavaju pacijente. Kako se radi uglavnom o mladim osobama to se njihova zaštita mora dosledno sprovesti.

Za zaštitu ovih radnika-pri pridržavanju dece postoje specijalni zaštitni paravani koji se proizvode i u nas a njihova primena je propisana zakonskim propisima. Postoje i držači za decu koji se mogu koristiti za obavljanje izvesnih pregleda. Medjutim ova se zaštitna sredstva po pravilu ne koriste.

Slična situacija je i u slučajevima kada se koriste prenosivi rendgen aparati u bolesničkim sobama i hirurškim salama. Kasete za vreme snimanja

drži osoblje jer nema odgovarajućih držača za kasete.

ZASTITA PACIJENATA OD RENDGENSKOG ZRAČENJA

Tehnička rešenja koja se primenjuju na rendgen aparatima ne obezbeđuju samo bolju zaštitu radnika koji sa njima rukuju već takodje i pacijenata.

Primenom kratkih vremena ozračivanja i korišćenjem snažnijih izvora zračenja (većih energija), ograničavanjem ozračenog polja i rasutog zračenja dodatnim tubusima i zavesicama takodje se obezbeđuje smanjenje ozračivanja pacijenata. Tome treba dodati da se pri izlaganju rendgenskom zračenju ne sme zaboraviti na primenu ličnih zaštitnih sredstava bez obzira na primenjenu tehniku i kondicije snimanja odnosno prosvetljavanja.

Jedna od posebnog značaja mera zaštite od rendgenskog zračenja je i primena kvalitetnih kaseti i rendgen filmova kao i dobra obrada snimljenog materijala.

U poslednje vreme u nekim zdravstvenim radnim organizacijama primenjuju se i specijalne pojačavačke folije na bazi retkih zemalja, čijom se primenom višestruko smanjuje doza zračenja kojom se ozračuju pacijenti. One se za sada koriste najčešće za snimanje dojki ali svakako da je potrebno i opravdano da se koriste i za snimanje ostalih organa.

PRIMENA OTVORENIH IZVORA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA

Otvoreni izvori jonizujućih zračenja koriste se u nuklearnoj medicini. Primenjuju se "in vivo" i "in vitro".

Ispitivanja o ozračenosti radnika koji rade u laboratorijama za primenu radionuklida ukazuju da se vrlo visokim dozama zračenja mogu ozračivati oni radnici koji pripremaju i vrše aplikacije aktivnosti a da se znatno nižim dozama ozračuju radnici koji ne dolaze u direktan kontakt sa aktivnostima (lekari, pomoćno osoblje) kao i radnici u laboratorijama za primenu radionuklida "in vitro".

Razlog što se određeni radnici u laboratorijama za primenu radionuklida "in vivo" ozračuju visokim dozama zračenja treba tražiti pre svega u neadekvatnim radnim prostorijama ali i u primeni sve snažnijih generatora iz kojih se dobijaju neophodne aktivnosti (5).

Laboratorije u kojima se koriste radionuklidi kao otvoreni izvori jonizujućih zračenja izgradjivane su po pravilu pre desetak i više godina kada se uglavnom koristio ^{131}I i još nekoliko drugih radionuklida. Njihove aktivnosti su bile male tako da su se preduzimale zaštitne mere u skladu sa tim aktivnostima.

Projektovani "bunker" i radni prostori bili su zadovoljavajućih karakteristika. Medjutim iz godine u godinu dolazilo je do postepenih izmena u strukturi radionuklida a takodje i u aktivnostima koje su se primenjivale. Naglo povećavanje aktivnosti zapaženo je poslednjih godina kada je u upotrebu ušao radionuklid $^{99\text{m}}\text{Tc}$.

Kako se u najvećem broju slučajeva skoro ništa nije izmenilo u dotada primenjivanoj zaštiti od jonizujućih zračenja moralo je doći do sve većeg ozračivanja radnika a posebno onih koji pripremaju aktivnosti i onih koji ih unose u telo pacijenta.

U cilju bolje zaštite ovih radnika neophodno je da se izvrše revizije svih postojećih projekata zaštite u laboratorijama za primenu radionuklida u medicini. Treba proveriti zaštitne moći "bunkera" u kojima se aktivnosti čuvaju, obezbediti zaštitne paravane na radnim mestima na kojima se vrši "muža", merenje i markiranje aktivnosti, obezbediti sigurno i što kraće preno-

šenje aktivnosti od mesta pripreme do mesta aplikacije (samo u zaštitnim kontejnerima), aplikaciju sprovoditi jedino uz primenu zaštitnih navlaka na špirovima, koristiti zaštitne naočari kako za vreme pripreme tako i za vreme aplikacije. Sem ovih tehničkih mera zaštite treba takodje obratiti pažnju na tačno merenje aktivnosti.

Obuka kadrova takodje se ne sme zanemariti jer samo dobro obučeni radnici mogu i treba da rade sa izvorima jonizujućih zračenja.

Pitanje veštačke ventilacije je od posebnog značaja. U svim prostorijama u kojima se koriste izvori jonizujućih zračenja mora se obezbediti efikasna veštačka ventilacija.

Radiofarmaceutski preparati koji se unose u telo pacijenta enteralno ili parenteralno slede procese metabolizma i nakupljaju se sa većom ili manjom selektivnošću u pojedinim organima i tkivima. U takvim uslovima primene radionuklida, kada njihova akumulacija nije samo u organu koji se ispituje, već najčešće i u ostalim delovima tela, poznate mere zaštite pacijenata od jonizujućeg zračenja nisu primenljive.

U oblasti nuklearne medicine zaštita pacijenata od nepotrebnog ozračivanja postiže se potpuno drugačijim metodama nego onim koje se primenjuju u rendgendijagnostici. Najčešće one nisu tehničke prirode.

Rezultati do kojih smo došli prilikom proučavanja primene otvorenih izvora zračenja ukazuju da postoji vrlo visok nivo ozračivanja pacijenata pri sprovođenju pojedinih dijagnostičkih postupaka. Radijacioni rizik koji proističe iz primene radionuklida u dijagnostičkim ispitivanjima je takodje merljiv, posebno za one dijagnostičke postupke koji se sprovode uz primenu radionuklida ¹³¹I.

Nepotrebno ozračivanje pacijenata je uglavnom posledica nemarnog odnosa zaposlenih lica prema poslu koji obavljaju jer se u velikom broju slučajeva apliciraju aktivnosti veće od potrebnih vrednosti a i sam postupak određivanja potrebnih aktivnosti, koje treba uneti u telo pacijenta, prepušten je volji pojedinaca i nije zasnovan na stručnom i dokumentovanom stavu.

Zbog toga u oblasti primene otvorenih izvora jonizujućih zračenja u medicini smanjenje ozračenosti pacijenata bi postigli pre svega odgovornijim odnosom zaposlenih, izbegavanjem svih nepotrebnih ispitivanja uz primenu radionuklida, zamenom radionuklida dugih vremena polu života i poluizlučivanja radiofarmaceuticima povoljnijih karakteristika i na kraju smanjenjem sada vrlo velikog broja dijagnostičkih ispitivanja štitaste žlezde, koja se u nas još uvek sprovode uz primenu radionuklida ¹³¹I u značajnom broju slučajeva.

Zakonski propisi koji su prihvaćeni 1986. godine treba li su da doprinesu da se smanji ozračivanje pojedinaca i populacije u celini, njima su propisane vrednosti "doza" koje treba da se koriste pri sprovođenju pojedinih dijagnostičkih postupaka kao i uslovi pod kojima se oni mogu primeniti.

Medjutim prema dosadašnjim ispitivanjima (6) zakonske odredbe se ne sprovode dosledno.

ZAKLJUČAK

Prema dosadašnjim ispitivanjima ozračenosti osoblja i pacijenata usled primene izvora jonizujućih zračenja u medicini utvrđeno je da primena izvora uslovljava vrlo velika ozračivanja kako osoblja tako i pacijenata.

Zakonskim propisima donetim 1986. godine propisane su tehničke mere zaštite od zračenja ovih izvora. Njihova pravilna primena u znatnoj meri bi doprinela smanjenju ozračivanja osoblja, pacijenata ali i populacije u celini.

Medjutim moramo da konstatujemo da objekti u kojima se koriste izvori jonizujućih zračenja često ne odgovaraju svojoj nameni a da se lična i kolektivna sredstva zaštite retko koriste.

LITERATURA

1. Tomašević M.: Interno ozračivanje pacijenata i radijacioni rizik pri primeni radionuklida u medicinskoj dijagnostici. Doktorska disertacija. Medicinski fakultet. Beograd, 1983.
2. Analiza o ozračivanju radnika koji rade sa izvorima jonizujućih zračenja. Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu. Beograd, 1987.
3. Službeni list SFRJ br. 40/86.
4. ICRP Publication No 26. Pergamon Press 1977.
5. Panov D., Tomašević M.: Assessment of radiation risk and irradiation of workers involved with sources of ionizing radiation in medical diagnostic. AIRP-YRPA: II Yugoslav-Italian Symposium Radiation Protection. Udine, June 22-24. 1988.
6. Tomašević M., Radovanović R.: Lična dozimetrija kao mera ozračenosti lica koja profesionalno rade u nuklearnoj medicini. XXII Jugoslovenski sastanak za nuklearnu medicinu. Mavrovo, 1988.

KONTROLA RADNE SREDINE PRI RADU SA IZVORIMA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA

1. UVODNA RAZMATRANJA

Rad sa zatvorenim izvorima zračenja, uređajima koji proizvode jonizujuća zračenja i otvorenim izvorima zračenja, koji se koriste u medicinskoj dijagnostici i terapiji, može dovesti do spoljašnjeg ozračivanja ili, unošenjem radioaktivnog materijala u organizam, do unutrašnjeg ozračivanja. Spoljašnje ozračivanje nastaje kada se radi sa zatvorenim i otvorenim izvorima zračenja i uređajima koji proizvode jonizujuća zračenja, dok unutrašnje ozračivanje može nastati pri radu sa otvorenim izvorima zračenja ili oštećenim zatvorenim izvorima zračenja. Izlaganje ljudi jonizujućim zračenjima može dovesti do rizika oštećenja njihovog zdravlja. Zbog toga je zaštita neophodna pri radu sa izvorima jonizujućih zračenja. Osnova za zaštitu zdravlja ljudi od rizika izlaganja jonizujućim zračenjima su propisane granice doza ozračivanja za lica koja rade sa izvorima zračenja i stanovništvo.

U cilju praćenja i provere sprovođenja sistema ograničavanja ozračivanja lica koja rade sa izvorima zračenja i stanovništva propisanim granicama efektivne ekvivalentne doze za pojedince vrši se radijaciona dozimetrijska kontrola.

U najopštijem smislu radijaciona dozimetrijska kontrola pri radu sa izvorima jonizujućih zračenja znači:

1. Dozimetrijska kontrola lica koja rade sa izvorima zračenja

- a/ kontrola spoljašnjeg ozračivanja
- b/ kontrola unutrašnjeg ozračivanja

2. Dozimetrijska kontrola radne sredine

- a/ kontrola nivoa zračenja
- b/ kontrola zagadjenja površina
- c/ kontrola zagadjenja vazduha

3. Dozimetrijska kontrola okoline

Rezultati ovih kontrola koriste se za procenu ukupne ozračenosti lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja, kao i stanovništva.

2. KONTROLA RADNE SREDINE

Pri primeni izvora jonizujućih zračenja, pored dozimetrijske kontrole pojedinaca, koji rade sa izvorima ovih zračenja, neophodna je i dozimetrijska kontrola radne sredine. Kontrola radne sredine u najopštijem slučaju, kada se koriste zatvoreni izvori jonizujućih zračenja, uređaji koji proizvode jonizujuća zračenja i otvoreni izvori zračenja, sastoji se u merenju i određivanju:

- nivoa jonizujućih zračenja u prostorijama u kojima se koriste zatvoreni izvori zračenja, uređaji koji proizvode jonizujuća zračenja i otvoreni izvori zračenja;
- radioaktivnog zagadjenja površina i stvari u prostorijama u kojima se koriste otvoreni izvori zračenja, i

- radioaktivnog zagadjenja vazduha u prostorijama u kojima se koriste otvoreni izvori zračenja.

Cilj ove kontrole je, s obzirom na propisane granice doza ozračivanja za lica koja rade sa izvorima zračenja i stanovništvo, da se na osnovu dobijenih rezultata merenja i određivanja nivoa zračenja i stepena zagadjenja površina i vazduha, proceni efikasnost preduzetih mera zaštite i dobiju dopunski podaci za potpuniju procenu efektivne ekvivalentne doze ozračenja pojedinih lica koja rade sa izvorima zračenja.

Kontrola se vrši svakodnevno ili povremeno, što zavisi, uglavnom od načina i uslova korišćenja izvora zračenja. Vršiti je osoblje koje rukuje izvorima zračenja ili služba zaštite od zračenja. Ali, je takodje, korisnik izvora zračenja dužan da obezbedi da specijalizovana i propisom određena organizacija udruženog rada izvrši kontrolu radne sredine pre dobijanja odobrenja za njihovo korišćenje i u propisanim rokovima u toku njihovog korišćenja. Merila i uređjaji kojima se vrše merenja doza zračenja i otkrivanje i merenje radioaktivnosti moraju se povremeno proveravati na ispravnost i baždariiti. Takodje se i proverava ispravnosti i baždarenje ovih instrumenata i uređjaja mora u propisanim rokovima izvršiti u specijalizovanoj i propisima određenoj organizaciji udruženog rada.

2.1. Kontrola nivoa zračenja

Cilj merenja nivoa zračenja je da se na osnovu dobijenih rezultata merenja proceni da li su adekvatne mere zaštite preduzete radi smanjenja propusnog zračenja oko izvora zračenja i smanjenja nivoa zračenja od korisnog snopa i rasejanog zračenja na radnim mestima u prostoriji u kojoj se koriste izvori i na radnim mestima i prostorijama u okolini ove prostorije. Takodje, rezultati merenja se koriste i za procenu ozračenosti pojedinih lica koja rade sa izvorima zračenja i ostalih lica.

Merenje jačina doza zračenja izvodi se oko izvora zračenja i na radnim mestima na kojima su lica povremeno ili stalno prisutna u prostorijama u kojima se izvori zračenja čuvaju i primenjuju, zbog rukovanja izvorima zračenja ili obavljanja drugih poslova.

U slučaju kada je radijaciona situacija u radnoj prostoriji određena poljima jonizujućih zračenja koja nisu izložena promenama dovoljno je periodično kontrolisati pomoću stacionarnih i prenosnih dozimetara jačinu doze. Pri tome izbor kontrolnih tačaka i učestalost merenja trebaju da omoguće blagovremeno otkrivanje promene radijacione situacije zbog mogućeg narušavanja ustanovljenih pravila rada i procesa rada. Ipak, čak i u najpovoljnijim uslovima merenja u odabranim tačkama treba vršiti merenja najmanje jedanput nedeljno.

Pri izmeni procesa rada ili pri uvodjenju novih postupaka koji utiču na jačinu doza zračenja u radnoj prostoriji treba vršiti više merenja, radi procene radijacione situacije i ustanovljavanja buduće učestalosti kontrole. Merenja se obavezno vrše u toku radne operacije koja se ponavlja ili u toku radnog ciklusa pri promeni procesa rada, opreme ili zaštite.

Nivoi zračenja se najčešće izražavaju jačinama doza na sat. Jačine doza zračenja se mere u najnepovoljnijim uslovima rada, gde se pod najnepovoljnijim uslovima podrazumeva, pored ostalog, maksimalna aktivnost izvora ili maksimalan anodni napon i struja rendgenske cevi, najnepovoljniji položaj izvora zračenja i orijentacija korisnog snopa zračenja. Dobijeni rezultati merenja nivoa zračenja se prikazuju na različite načine, ali je prikaz u obliku izodoznih linija i topografija jačina doza zračenja najslikovitiji i za korisnika ovih rezultata najpovoljniji.

Merenje jačina doza u radnoj sredini vrši se pomoću stacionarnog dozimetrijskog sistema i/ili prenosnih dozimetara. Pri korišćenju stacionarnih uređaja prekoračenja unapred određenog nivoa zračenja se može saopštiti zvučnim i/ili svetlosnim signalima. Najpogodniji dozimetar za merenje X i gama zračenja je dozimetar sa jonizacionom komorom, kao detektorom, jer nema energetske zavisnosti pokazivanja, za energije ovih zračenja koje se najčešće koriste, kao i zbog zadovoljavajuće osetljivosti merenja, s obzirom na propisane granice doza ozračivanja. Za merenje nivoa zračenja na karakterističnim mestima u radnoj sredini mogu se koristiti i lični dozimetri (film dozimetar, termoluminescentni dozimetar, penkalo dozimetar i dr.). Za merenje jačina doza neutronskog zračenja najčešće se koriste dozimetri sa proporcionalnim brojačem kao detektorom, moderatorom od polietilena i zaštitom od kadmijuma. Ovim dozimetrima se mogu meriti doze neutrona energije od 0,25 keV do 14 MeV.

2.2. Kontrola radioaktivnog zagadjenja površina

Pri svakom radu sa oštećenim radioaktivnim izvorima zračenja, a posebno sa otvorenim izvorima zračenja postoji verovatnoća radioaktivnog zagadjenja. Pod radioaktivnim zagadjenjem ili kontaminacijom podrazumevamo prisustvo radioaktivnog materijala na mestima gde je njegovo postojanje neplanirano, nepoželjno i opasno. Zagadjena površina je nepoželjna, jer radioaktivni materijal svojim prisustvom može da utiče na ispravnost rezultata radiometrijskih merenja. Ono je i opasno, jer je ljudstvo, koje radi u uslovima gde su površine zagadjene izloženo povećanom spoljašnjom ozračenju i unošenjem radioaktivnog materijala u organizam unutrašnjem ozračivanju.

Radioaktivnom zagadjenju izloženi su: radne površine, posebno radne površine digestora i zidovi digestora, podovi, zidovi i stvari u prostorijama u kojima se radi sa otvorenim radioaktivnim materijalima; kao i sudovi za rad, prenos i čuvanje izvora zračenja.

Kontrola radioaktivnog zagadjenja površina služi za procenu efikasnosti primenjenih tehničkih, organizacionih i sanitarno-higijenskih mera i radi održavanja uslova rada na bezbednom nivou.

Cilj kontrole zagadjenja površina u radnoj sredini se može sumirati u sledećem:

- a/ otkrivanje neispravnosti zatvorenih izvora zračenja i sudova za rad i čuvanje otvorenih radioaktivnih materija, kao i odstupanje od valjanih postupaka pri radu sa izvorima zračenja;
- b/ ograničenje stepena zagadjenja, površina, s obzirom na propisane granice stepena zagadjenja u cilju zaštite zdravlja osoblja;
- c/ procena efikasnosti dekontaminacije;
- d/ dobijanje informacija koje služe za:
 - procenu izloženosti ozračenju pojedinaca,
 - odlučivanje o potrebi kontrole zagadjenja vazduha i
 - definisanje radnih postupaka,
 - planiranje mera za ličnu zaštitu osoblja, dekontaminaciju i određivanja obima lične dozimetrijske kontrole.

Kontrola zagadjenosti površina uvodi se u prostorijama u kojima se radi sa otvorenim izvorima jonizujućih zračenja, kao i u prostorijama koje se mogu zagaditi pri prenosu u njih radioaktivnih materijala na različitim predmetima, instrumentima, odeći i obući osoblja ili vazduhom. Pri organizaciji i sprovođenju kontrole zagadjenosti površina treba uzeti u obzir da radioaktivne mate-

rije mogu biti jako sorbovane u materijalima površina, čineći neuklonjivi deo zagadjenja. Medjutim, one mogu biti i slabo vezane sa površinom silama mehaničke athezije, naelektrisanja i sl. Taj deo aktivnosti naziva se nevezan ili uklonjiva zagadjenost, koja je jedan od izvora dospevanja radioaktivnih materija u vazduh i kontraktnog zagadjenja radne odeće i kože osoblja. Treba reći da takva podela ima uslovni karakter, jer veličina dela aktivnosti koja se može ukloniti sa površine zavisi od stepena mehaničkog ili hemijskog dejstva na materijal, njegove poroznosti, mehaničkih svojstava itd.

Mesta kontrole biraju se u zavisnosti od rasporeda izvora zagadjenja. Postavljaju se obavezno na ulazu i izlazu iz kontrolisane kontaminacione zone. Zagadjenost površina na mestu kontrole određuje se srednjom vrednošću nivoa zagadjenosti izmerenih u pet tačaka po 1 m^2 .

U slučaju kada maksimalna zagadjenost površina kontrolisane prostorije sistematski u toku dužeg vremenskog perioda prelazi $1/10$ propisane granice neophodno je da se vrši i merenje sadržaja radioaktivnih aerosola u vazduhu.

Pri radovima u toku kojih je moguće zagadjenje tela radnika neophodno je vršiti kontrolu zagadjenosti tela jednom u toku radne smene ili posle završene radne operacije. Kontrola zagadjenosti tela radnika vrši se posle higijenskog tretmana odnosno izlaska iz sanitarnog propusnika.

Kontrola zagadjenja površina vrši se svakodnevno u toku rada, potpuno i detaljno posle završetka određenih faza iz programa rada i posle završetka rada sa otvorenim radioaktivnim materijalima.

Prostorije i oprema u njoj, koje su služile za rad sa otvorenim radioaktivnim materijalima moraju se kontrolisati na radioaktivno zagadjenja, pre početka njihove upotrebe za druge potrebe. Ovu kontrolu vrše specijalizovane i propisima određene organizacije udruženog rada.

Kontrola zagadjenja radnih površina vrši se pomoću monitora zračenja, sa sondama u kojima kao detektori zračenja služe GM, sintilacioni, proporcionalni i dr. brojači. Monitori zračenja nisu merni instrumenti nego kontrolni, koji omogućavaju detekciju radioaktivnog zagadjenja, izraženu, najčešće, u broju odbroja u jedinici vremena. Pri njihovom korišćenju moraju se definisati uslovi merenja zagadjenih površina (rastojanje od otvora sonde do kontrolisane površine i dr.) i određeni uticaj vrste i energije zagadjivača na pokazivanje monitora.

Monitori zračenja se mogu koristiti za određivanje stepena zagadjenja površine (Bq/m^2) ako je:

1. poznata vrsta i energija zračenja zagadjivača kontrolisane površine,
2. kontrola vršena pod definisanim geometrijskim uslovima,
3. zagadjena površina veća od površine otvora sonde i
4. monitor baždaren standardizovanom zagadjenom površinom čiji je stepen zagadjenja (Bq/m^2) poznat i vrsta zagadjivača istovetna sa zagadjivačem kontrolisane površine.

Kriterijum procene stepena zagadjenja površina su brojne vrednosti nivoa zagadjenosti radioaktivnim materijama površina radnih prostorija, opreme, radne odeće i obuće i kože osoblja, kao i sredstava za prenos i prevoz propisanih zakonskom regulativom. Propisane granice nivoa zagadjenosti površina beta - gama emiterima ustanovljene su u cilju ograničenja spoljašnjeg i unutrašnjeg ozračivanja.

Kontrola stepena zagadjenja vrši se neposrednim merenjem pomoću sonde monitora zračenja i uzimanjem uzoraka briseva sa kontrolisane površine, suvom ili vlažnom tkaninom, vatom, filter papirom i sl., čija se aktivnost meri monitorom. Kontrola zagadjenja površina metodom uzimanja brisa primenjuje se u slučaju kada se, zbog uticaja drugih izvora zračenja ili složene konfiguracije kontrolisane površine, metoda neposrednog merenja ne može primeniti. Primenom metode uzimanja brisa ustanovljava se samo prisustvo navedenog zagadjenja, koje je daleko opasnije od vezanog.

2.3. Kontrola zagadjenja vazduha

Pri radu sa otvorenim radioaktivnim materijama, posebno pri izvodjenju složenijih radioahemijskih postupaka, može nastati radioaktivno zagadjenje vazduha aerosolima, gasovima i parama. Prisustvo ovakvih zagadjivača u radnoj prostoriji je moguće i kad su preduzete odgovarajuće tehničke mere zaštite. Zbog toga je kontrola zagadjenja vazduha neophodna. Vršiti se neprekidno ili povremeno, nepokretnim i prenosnim instrumentima i uredjajima. Kod primene radionuklida u medicinskoj dijagnostici i terapiji kao otvorenih izvora zračenja, kontrolu zagadjenosti vazduha u prostorijama u kojima se vrši priprema i davanje ovih radionuklida, kao i u prostorijama u kojima su bolesnici hospitalizovani vrši se diskontinualno. Osim toga, pri ovoj primeni radionuklida može se očekivati pojava radioaktivnih aerosola i para.

Treba da se istakne da rezultati merenja koncentracija radioaktivnih materija u vazduhu, po pravilu, ne mogu dati tačnu kvantitativnu procesnu stvarnog unutrašnjeg ozračivanja osoblja. U najboljem slučaju rezultati takvih merenja mogu poslužiti za procenu gornjih mogućih vrednosti individualnih doza unutrašnjeg ozračivanja. Takva procena uvek ima samo karakter verovatnoće. Zato je odlučujući bezuslovno glavni kriterijum za procenu unutrašnjeg ozračivanja osoblja direktno merenje sadržaja ili ulazak radioaktivnih materija u organizam.

Kontrola zagadjenosti vazduha vrši se uzimanjem odgovarajućih uzoraka vazduha, čija se radioaktivnost meri na odgovarajućim brojačkim uredjajima, neposredno prilikom uzimanja ili kasnije. Uzorci aerosola iz vazduha uzimaju se pomoću odgovarajućih filter papira, kroz koje je prosisana određena količina vazduha. Uzorci para uzimaju se primenom metode apsorpcije na odgovarajućim materijalima. Uzorci vazduha se uzimaju sa mesta i položaja u prostoru na kojima se očekuje najverovatnije udisanje osoba koje rade u prostoriji. Cilj je da vazduh, pri uzimanju uzorka vazduha, bude najbliži vazduhu koji osoblje udiše. Pri tome, mesto i vreme trajanja uzimanja uzoraka zavisi od metode koja se koristi za ove potrebe. Osim toga mesto za uzimanje uzoraka vazduha bira se na osnovu izučavanja mesta očekivanog nastanka radioaktivnih materija u vazduhu, raspodele njihove koncentracije po zapremini prostorije. Uzorci vazduha uzimaju se u radnoj zoni, pod kojom se podrazumeva prostor na visini do dva metra iznad nivoa poda, ili površine gde se nalaze radna mesta. Radno mesto je mesto boravka osoblja za vršenje svoje radne funkcije u toku vremena koje nije kraće od 50%, radnog vremena ili dva sata neprekidno. Ako pri tome radnik svoje funkcije obavlja u različitim tačkama jedne prostorije ili više prostorija tada se kao stalno radno mesto uzimaju sve prostorije.

Uzorke vazduha za kontrolu treba uzimati na svim radnim mestima gde postoje izgledi za oslobadjanje aerosola i para oko ovakvih radnih mesta. Uzorci se uzimaju u jednoj ili nekoliko tačaka date prostorije. Broj kontrolnih tačaka i raspored njihovih mesta u vazduhu takve prostorije biraju se u zavisnosti od njene veličine i oblika, kao i od učestalosti i pravca kretanja osoblja u njoj.

Osim ovoga što je do sada izloženo neophodno je da se prikaže i propisana metodologija procene stepena izloženosti jonizujućim zračenjima ("Službeni list SFRJ", br. 40/86), po kojoj specijalizovane i propisom određene organizacije udruženog rada vrše kontrolu radne sredine u objektima i prostorijama u kojima se primenjuju rendgen aparati i radioaktivni izvori zračenja u medicinskoj dijagnostici i terapiji.

Stepen izloženosti jonizujućim zračenjima lica koja rade sa izvorima tih zračenja i nivoa kontaminacije radne sredine i uslova korišćenja izvora zračenja proverava se na sledeći način:

RENDGEN-DIJAGNOSTIKA

1. Procena stepena ozračenosti lica koja rade sa rendgen-aparatima obavlja se za uslove prosvetljavanja i snimanja.

Merenja se sprovode pre puštanja rendgen-aparata u rad, a posle puštanja - u rokovima koji su propisani ovim pravilnikom.

Rezultate merenja koja se obavljaju pre puštanja rendgen-aparata u rad proizvođač, odnosno prodavac dostavlja korisniku uz ostalu tehničku dokumentaciju.

2. Doze zračenja kojima se ozračuju lica koja vrše prosvetljavanje, kao i drugih lica koja se nalaze u radnoj sredini, određuju se uz primenu visokog napona od 70 kV i struje prosvetljavanja od 2 mA za prosvetljavanje pluća, odnosno visokog napona od 90 kV i struje prosvetljavanja od 3 mA za prosvetljavanje želuca.

Rastojanje ledjnog paravana od ekrana treba da iznosi 25 cm, a osvetljeno polje na ekranu - 20·20 cm.

Pri merenju se koristi vodeni fantom dimenzije 20·20·15 cm.

3. Ako se koristi rendgen-aparat sa TV sistemom ili pojačivačem slike, merenja treba izvesti za vreme prosvetljavanja pacijenta mase oko 70 kg, pod uslovom da se zbog toga ne produži vreme pregleda, ili uz primenu navedenog vodenog fantoma.

4. Pod navedenim uslovima mere se jačine apsorbovanih doza zračenja u vazduhu u visini glave, grudne kosti, jajnika - semenika i ruku lekara u pomoćnog osoblja.

Vrednost kerme određuje se u pravcu centralnog zraka na rastojanju fokus-koža pacijenta TL dozimetrima ili jonizacionom komorom.

Jačine apsorbovanih doza zračenja u vazduhu u susjednim prostorijama treba izmeriti na rastojanju 1 m od zidova ili vrata, kao i u čekaonici u kabinama za svlačenje pacijenata.

5. Određjivanje doza zračenja kojima se ozračuju lica koja vrše snimanje, kao i druga lica koja se nalaze u radnoj sredini vrši se pod uslovima za snimanje pacijenta mase oko 70 kg, koristeći vodeni fantom dimenzija 20·20·15 cm.

Uslovi snimanja zavisno od vrste rendgen-aparata (visoki napon, struja i vreme snimanja, otvor blende, rastojanje fokus - koža pacijenta) određeni su propisom o uslovima za primenjivanje izvora zračenja u medicini.

Merenja se vrše za snimanje pluća, lumbosakralnog dela kičme (profil), lobanje, tomografije pluća i fluorografije ako se rendgen-aparat koristi za sva ova snimanja.

Ako se rendgen-aparat koristi samo za specijalna snimanja, merenje se izvodi samo pod uslovima za ta snimanja.

6. Doze zračenja kojima se ozračuju lica koja vrše snimanje zuba obavlja se pod uslovima snimanja sekutića i molara leve i desne strane vilice, odnosno uslovima snimanja statusa vilice ako je aparat predviđen za takva snimanja.

Merenje se izvodi za vreme snimanja zuba pacijentima ili uz primenu vodenog fantoma prečnika 15 cm i zapremine 5 litara.

7. Odredjivanje doza zračenja kojima se ozračuju lica koja vrše snimanje dojki (mamografija) obavlja se ili za vreme snimanja dojki ili uz primenu fantoma od pleksiglasa, debljine 5 cm.

8. Pod navedenim uslovima snimanja treba izmeriti jačine apsorbovanih doza zračenja u vazduhu u visini glave, grudne kosti, jajnika - semenika lica koja vrše snimanje i drugih lica koja se nalaze u radnoj sredini; odrediti vrednost kerme u pravcu centralnog zraka na rastojanju fokus - koža pacijenta TL dozimetrima ili jonizacionom komorom i izmeriti jačine apsorbovanih doza zračenja na radnim mestima u susednim prostorijama, odnosno na rastojanju 1 m od spoljašnjih površina zidova i vrata prostorije u kojoj se koristi rendgen-aparat, u čekaonici i kabinama za svlačenje pacijenata.

9. Na osnovu izvršenih dozimetrijskih merenja, broja dijagnostičkih postupaka koja lica izvrše u toku meseca rendgen-aparatom, odredjuju se doze zračenja kojima se ta lica ozračuju i te vrednosti treba uporediti sa podacima lične dozimetrije.

10. Najmanje jedanput u toku dve godine u prostorijama u kojima se koriste rendgen-aparati za prosvetljavanje, snimanje ili lečenje treba proveriti koncentraciju slobodnih jona u vazduhu.

RENDGEN-TERAPIJA

11. Nivo ozračenosti lica koja rade na terapijskim rendgen-aparatima odredjuje se za vreme terapijskih postupaka nad pacijentom.

Jačina apsorbovane doze zračenja odredjuje se u vazduhu na lestu lica koja rukuju rendgen-aparatom, na radnim mestima, u susednim prostorijama i čekaonici.

Na osnovu dobijenih rezultata broja izvršenih ozračivanja i vremena njihovog trajanja, proračunava se ozračenost lica koja rade sa rendgen-aparatom, a izračunata vrednost se uporedjuje sa podacima lične dozimetrije.

PRIMENA RADIONUKLIDA U MEDICINI

12. Nivo ozračivanja lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja u laboratorijama za primenu radionuklida u medicinskoj dijagnostici i terapiji odredjuje se za vreme svih radnih operacija (pripremanje radiofarmaceutskih preparata, merenje i aplikacija "doze" aktivnosti radiofarmaceutskog preparata, završna merenja na pacijentu). Jačina apsorbovane doze zračenja u vazduhu u visini glave (oči), grudne kosti, jajnika - semenika i ruku, lica koja rade sa izvorima zračenja odredjuje se TL dozimetrima ili prenosnim dozimetrima zračenja. Merenja se vrše i na površini tela pacijenta kome je izvršena aplikacija "doze" radiofarmaceutskog preparata i na karakterističnim mestima u čekaonici.

13. Na osnovu merenja i poznatih vrednosti o broju i vrsti dijagnostičkih ili terapijskih postupaka i vremena koji su potrebni za izvršavanje pojedinih radnih operacija, proračunava se doza zračenja kojom se ozračuju lica koja rade sa izvorima zračenja, a dobijena vrednost se uporedjuje sa podacima lične dozimetrije.

SPREMLJANJE KVALITETE IN KVANTITETE RENTGENSKEGA SEVANJA V MEDICINSKI DIAGNOSTIKI IN TERAPIJI V SRS

UVOD

Ob rednem nadzoru rentgenskih aparatov v zdravstvu smo prišli do da svojo dejavnost razširimo na stalno spremljanje kvalitete in kvantitete. Rutinske meritve ekspozicije v zraku, v razdalji fokus-koža (FK) so za enako preiskavo dale zelo različne vrednosti. Tako smo za ciljano slikanje zoba izmerili vrednosti ekspozicije med 0,06 mC/kg (240 mR) in 0,77 mC/kg (3000 mR). Ekspozicijski čas smo dobili z anketiranjem uporabnikov. Ko smo ga začeli kontrolirati, smo spoznali, da anketiranje nima nobenega smisla, ker se ekspozicijski čas praviloma močno razlikuje. Pokazalo se je, da kvantitete niti kvalitete rentgenskega sevanja ni moč opredeljevati s parametri, ki jih je mogoče dobiti z anketiranjem uporabnikov.

CILJI SPREMLJANJA

Zadali smo si naslednje cilje spremljanja kvalitete in kvantitete rentgenskega sevanja:

- ocena ефективne ekvivalentne doze za posamezno diagnostiko
- ocena kolektivne ефективne ekvivalentne doze na populacijo zaradi uporabe rentgenskega sevanja v zdravstvu ter njena genetska pomembnost
- ocena korelacije med kolektivno effektivno ekvivalentno dozo pacientov in vrednostjo te količine za delavce, ki v zdravstvu delajo z rentgenskimi aparati
- tehnični kriteriji za medicinsko uporabo in upravičenost rentgenske diagnostike
- izdelava predloga za tehnične izboljšave

METODA SPREMLJANJA

Podatke, ki jih potrebujemo, da se realizirajo cilji spremljanja zajemamo ob rednih pregledih rentgenskih aparatov. Metodologijo spremljanja smo izdelali po priročniku: Quality Assurance in Diagnostic Radiology, WHO, Geneva 1982 in zborniku Quality Control and Assurance in Diagnostic Radiology, ed. A. Bäuml, Institut für Strahlenhygiene Neuherberg 1984.

Med spremljanjem merimo:

- ekspozicijo v zraku v razdalji FK
- jakost ekspozicije v razdalji FK (pri presvetljevanju)
- razpolovno debelino (HVL)

- reproducibilnost ekspozicije, napetosti in ekspozicijskega časa
- recipročnost tokovnega sunka pri rentgenskem slikanju
- ekspozicijski čas pri rentgenskem slikanju
- efektivno anodno napetost
- kongruenco svetlobnega (centrirnega) polja in sevalnega polja
- ločljivost pri presvetljevanju in slikanju
- lego "fulkruma" pri tomografiji
- velikost gorišča
- zasčitno sposobnost ohišja rentgenske cevi
- vrednost jakosti absorbirane doze ali jakosti ekspozicije na značilnih delovnih mestih

Pri meritvah uporabljamo

- RGD ROBOTPON 27040
- NERO 6000 B VICTOREEN
- ionizacijsko celico VICTOREEN, model 06-526
- digitalno uro VICTOREEN, model 07-457
- voltmeter VICTOREEN, model 07-473
- pribor VICTOREEN za ugotavljanje kvalitete sevanja

REZULTATI IN DISKUSIJA

Merjenje ekspozicije oziroma jakosti ekspozicije smo opravljali z uporabo predpisanega fantoma. Med presvetljevanjem smo izmerili jakosti ekspozicije med 0,21 mC/kg·min (800 mR/min) in 0,78 mC/kg·min (3000 mR/min). V spodnji tabeli so zbrane izmerjene ekspozicije (za posamezno rentgensko sliko).

Vrsta diagnostike	Ekspozicija (mC/kg)	
- ciljano slikanje zob	0,06 - 0,78	(240 - 3000 mR)
- slikanje zobnega statusa	0,05 - 0,21	(200 - 800 mR)
- slikanje pljuč	0,01 - 0,23	(40 - 800 mR)
- slikanje dojke	0,08 - 1,2	(300 - 4500 mR)
- slikanje hrbtenice	0,16 - 1,2	(600 - 4500 mR)

Vzrokov za tako različne vrednosti nismo raziskovali.

V SFRJ ne poznamo predpisov o reproducibilnosti. Predpisi v ZRN (VDE 0750/21) zahtevajo, da je povprečna vrednost ekspozicije pri stalnem tokovnem sunku in stalni anodni napetosti v intervalu z relativno napako 10% (v ZDA je dovoljeno odstopanje le 5%).

Naše meritve so pokazale, da je 50% rentgenskih aparatov nereproducibilnih: ali glede na ekspozicijo ali glede na napetost ali glede na ekspozicijski čas ali na dva ali celo na vse tri navedene parametre. Pri tej oceni smo upoštevali zahteve, ki veljajo v ZRN. Reproducibilnost nekaterih aparatov pa je pri posameznih parametrih odsto pala celo za več kakor 20%.

Merjenje reproducibilnosti smo opravili na 68 rentgenskih aparatih (od ki so evidentirani na Zavodu SRS za varstvo pri delu). Na enakem številu aparatov smo merili kongruenco. Le pri 31 aparatih je bila izmerjena zadovoljiva kongruenca. Največja odstopanja kongruence so bila izmerjena pri nekaterih aparatih tipa "ODELCA". Smatramo, da ima premer snopa na koncu tubusa (pri aparatih za ciljano slikanje zob) približno enako vlogo kakor kongruenca. Skoraj pravilo je, da premer snopa odstopa od predpisane vrednosti. Izmerili smo celo snop s premerom 180 mm (stoosemdeset).

ZAKLJUČEK

Spremljanje kvalitete in kvantitete rentgenskega sevanja bomo nadaljevali na številnejšem vzorcu aparatov. Prvi rezultati pa kažejo, da bo potrebno več pozornosti posvetiti temu nadzoru, ustrezne pravilnike pa v smislu navedenih problemov dopolniti.

LITERATURA

1. Fortuna Tomaž, Osnove radiološke zaščite v procesni tehniki, Zavod SRS za varstvo pri delu, Ljubljana 1988.
2. LAS-Rericht, Bayerishes Landesinstitut für Arbeitsschutz München 1985.
3. Operating Instructions NERO Model 6000 B, X-Ray Beam Analyser, Victoreen Inc. 1986.

Rad s izvorima ionizirajućeg zračenja, rasklikuje se od većine drugih radova, po tome, što to zračenje ne možemo osjetiti, pa makar se radilo i o velikim količinama zračenja, ili kako je uobičajeno reći kod te vrste posla, o velikim dozama.

Druga je karakteristika toga posla, da mi sa sigurnošću ne možemo tvrditi da ih ima, ili da poznajemo granice do kojih radnici izloženi toj štetnosti mogu biti zračeni, a da to za njih sigurno nema štetnih posljedica.

Razmatranja o dopustivim granicama ozračivanja, svode se na razmatranje odnosa doza-rizika za neki posao (1).

Ujedno taj rad nije jedini izvor ozračivanja bilo kojeg radnika, već je dodatak dozi od prirodnog zračenja i dozi radi izlaganja prilikom zdravstvenih pregleda.

Dozu od prirodnog zračenja, možemo procijeniti dovoljno točno, u svrhu zaštite. Nesigurniji smo kod procjene doze prilikom zdravstvenih pretraga, jako je ta procjena u načelu moguća.

Očito je, ako želimo procijeniti sveukupnu dozu koju prima radnik, i ocijeniti posljedice, da moramo što točnije poznavati doze koje on prima na radnom mjestu.

To je razlog da naši zakonski propisi (2), i sve ostale propisane i uobičajene mjere zaštite predviđaju mjerenje doze za svakog radnika. Time radnik dobiva sigurnost da je zračen dozama koje su u granicama dopuštenih prema zakonskim propisima, a i sigurnost da je mogućnost štetnih posljedica od zračenja svedena na minimum. Radna organizacija, redovnim mjerenjima doza, dobiva i kontrolu ostalih provedenih mjera zaštite od zračenja. Dodatno se obradom tih podataka mogu izvući preporuke za legislativu, za ocjenu izloženosti pojedinih grupa radnika na sličnim poslovima i podaci koje se može koristiti za specifičan zdravstveni nadzor tih radnika.

Ujedno u slučaju nesreće, mjerenja su jedan od elemenata za procjenu posljedica.

Razrada tih postavki, pokazala bi da bez tog sistema mjerenja doza, nazvanog osobnom dozimetrijom, nije moguće sigurno raditi sa izvorima zračenja.

Iz pravnih, stručnih, ekonomskih i organizacionih razloga, pokazalo se da je najpovoljnije za sigurnost radnika i društva da se kontrola osobnih doza, provodi preko jedne određene stručno odgovarajuće ustanove za jedno šire područje. U našoj zemlji, postoji takova ustanova za područje svake republike odnosno pokrajine. U SR Hrvatskoj takovu kontrolu provodi već preko 25 godina Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, pa se na temelju tog iskustva, dajem ovaj pregled.

Doze koje mogu primati radnici izloženi ionizirajućem zračenju dane su u Pravilniku čl.4. (2). Jedinice u tom propisu, dane su u Remima (Rem) jedinici koja je u međuvremenu zamijenjena (3) Zakon (10). Prema dogovoru svih institucija koje u našoj zemlji provode kontrolu osobnih doza, izmjerene doze izražavamo u Gy (grejima). S obzirom na granice dopuštenih doza i doze koje u najvećoj količini primaju radnici na radnim mjestima, doze u našim izvještajima dane su u uGy (mikrogrejima). Vezu sa prije uobičajenom jedinicom mRad, uspostavljamo tako da broj primljenih uGy-a, podijelimo sa 10. Još ispravnije bi bilo, primljene doze izražavati u jedinici Sv (Sivert). Ona odgovara staroj jedinici Rem.

Kao mjerni uredjaj, upotrebljava se kombinacija film i termoluminiscen-tnog dozimetra. Film-dozimetar je film veličine 31 x 41 mm (veličina zubnog

filma) sa dvije emulzije različite osjetljivosti na ionizirajuće zračenje. S jedne strane je emulzija koja je osjetljiva na zračenje odprilike jednako kao dobar rendgen film, koji se upotrebljava za radiološku dijagnostiku, a dozimetrijski se upotrebljava za mjerenja manjih doza. Gotovo potpuno zacrni (ovisno o uvjetima razvijanja) već kod doza zračenja 2-3 mGy (za energije od 250 RV). S druge strane je nanosena emulzija manje osjetljivosti koja zacrni uz jednake uvjete zračenja i razvijanja tek kod 0.5 Gy, pa je takav film upotrebljiv za velika područja doza. Za elektromagnetska zračenja do 250 RV (većina rendgenskih aparata) i odgovarajuće uvjete razvijanja, može se upotrijebiti za mjerenje doza od 10 uGy pa do 0.5 Gy. Emulzije su znatno manje osjetljive na elektromagnetsko zračenje energije 250 RV do 2 MeVa (većina gama izvora koji se upotrebljavaju u medicini i industriji) pa je prag osjetljivosti znatno niži. Na primjer za zračenje kobalta-60, sa sigurnošću se može odrediti tek doza od 500 uGy. Emulzija je osjetljiva i na beta i na gama čestice, u praktičnom radu, teško je odrediti odnos zacrnljenja filma-doza, jer za beta zračenje manjih energija, a gotovo za sve energije alfa zračenja, već plastični omot filma postaje zapreka koja apsorbira gotovo sve, ili bar veći dio (a različit ovisno o izotopu) zračenja. Uzevši u obzir sve karakteristike filma ukratko možemo reći:

- film može dobro poslužiti za mjerenje i registriranje elektromagnetskih valova do 2 MeVa, s tim da mu je znatno smanjena osjetljivost za male doze u području energija iznad 250 kV. Pogreške od različite osjetljivosti za pojedine energije, nastojimo umanjiti analizom zacrnljenja ispod filtera različite debljine i materijala (4) ugradjenih u nosač filma (kazetu). Točnost tako određene doze na filmu nije velika (možemo uzeti da je pogreška +-30%), ali je za svrhu zaštite potpuno dovoljna.
- film može poslužiti za registraciju beta i alfa zračenja ali doze određene preko filma (osim u slučajevima posebnog baždarenja i obrade) mogu biti i za nekoliko puta različite od stvarnih. Ipak je u granicama upotrebljivosti za svrhu zaštite.
- film se može upotrijebiti za mjerenje doze od neutrona, samo ako je emulzija posebne vrste, uz primjenu posebnih filtera i posebne obrade.
- film je upotrebljiv i za mjerenja u kombiniranim poljima zračenja (x, alfa, beta, gama), ali je nužna duža mjerna obrada i analiza filma.
- film daje mogućnost da posluži kao dokumenat, s kojim se može dokazati ne samo doza, već u mnogim slučajevima vrsta zračenja i način primanja doze.
- film je za sada daleko najjeftiniji način određivanja doza.

Uz film u istom nosaču (kazeti) upotrebljavamo termoluminiscentni dozimetar (TLD). To su dozimetri koji koriste pojavu da ionizirajuće zračenje prilikom interakcije sa materijom remeti kristalnu strukturu materijala, te da se žarenjem uspostavlja prijašnje stanje, uz emisiju svjetla. Koristi se proporcionalnost između doze koja je prouzrokovala poremećaj i emitiranih kvanata svjetla prilikom uspostavljanja ravnoteže zračenjem. Osnovne su značajke dozimetrije pomoću termoluminiscentnog dozimetra:

- U načelu taj je način neovisan o energiji ili vrsti zračenja. U praktičnom radu, radi apsorbcionih svojstava nosača (kazete) ili fizikalnih parametara čitača, odnosno uređaja za žarenje nije

tako, pa se u nešto manjoj mjeri domažemo filterima kao kod filma. Ipak razlike u energetske osjetljivosti su znatno manje nego kod filma, uključujući beta, alfa i neutronska zračenja.

- mjerenja su bez obzira na vrstu i energiju zračenja znatno točnija nego kod filma (+-10%).
- rezultat mjerenja ne ostaje pohranjen kao dokumenat, dokazne vrijednosti filma.
- taj je način, u odnosu na mjerenje doza pomoću filma, za sada znatno skuplji.

Da bi koristili prednosti oba načina, uz eliminaciju mana, smatram da je najpogodnije u istom nasaču (kazeti) upotrebljavati film i TLD, uz različiti ritam izmjene (12 puta godišnje film i 3 puta TLD).

Na taj način dobivamo dozimetar, koji u svemu zadovoljava zaštitu, osim u jednom detalju.

Raspodjela, obrada i očitavanje filma (12 puta godišnje) i TLD-a (4 puta godišnje) u načelu se obavlja u određenim vremenskim razmacima, podešenim zakonskim propisima (5) (4 tjedna + 4 tjedna + 5 tjedana = 13 tjedana; maksimalna dopuštena doza za taj interval iznosi 30 mGy). Radi organizacije osobne dozimetrije, dozu radnik doznaje sa izvjesnim zakašnjenjem.

U idealnom slučaju to je 4 tjedna nakon prestanka nošenja dozimetra. Taj razmak uvjetovan je centraliziranom obradom, ali situacija ne bi bila bitno drugačija, da se film obradjuje u samoj ustanovi. Teško bi bilo odrediti kada zapravo treba skinuti film, a to je gotovo nemoguće sprovesti nakon svakodnevnog posla s izvorima zračenja.

Radi toga, tamo gdje se opravdano može očekivati iz bilo kojeg razloga primanje većih doza u kratko vrijeme, predviđeno je i nošenje dozimetara sa izravnim očitavanjem doza. Obično su to ionizacijske komorice, ili G.M. cijevi sa odgovarajućim sklopovima te optički, ili digitalni način pokazivanja doza.

Na taj način doza se može odrediti neposredno nakon završetka cijelog rada sa izvorima zračenja ili nekog dijela rada. Nažalost, takovi dozimetri, izuzetno su osjetljivi na vrstu i energiju zračenja, na uvjete okoline (vlaga, temperatura, prašina), ili enormno skupi. Interpretaciju bi u pravilu trebalo vršiti kvalificirani dozimetrista, što sve skupa ne opravdava, osim u izuzetnim slučajevima, primjenu tih dozimetara.

Treba još napomenuti da se sve te tri vrste dozimetara, mogu zadovoljavajuće upotrijebiti kod rada sa zatvorenim izvorima zračenja ili rdg aparatima, što je na sreću velika većina izvora danas u primjeni, sa najvećim postotkom zaposlenih.

Kod rada sa otvorenim izvorima može ih se upotrijebiti samo kao kvalitativan indikator prisutnosti zračenja, a nipošto kao dozimetar.

Na kraju treba nešto reći o dva najčešća prigovora koje radnici zaposleni oko izvora zračenja postavljaju službi osobne dozimetrije. Prvi bi mogli sažeti kao: "nisam radio (ili nije radio drugi radnik), a pripisali ste mi dozu (ili njemu)".

Taj prigovor je najčešći, makar je u nizu prigovora koji se mogu postaviti, ili pogreškama koje se mogu dogoditi, najmanje vjerojatan.

Doza se nikako ne pridružuje filmu, na kojem se ne vidi slika filtera, što je siguran dokaz da je film bio ozračen. Mala je vjerojatnost da će radnik koji obradjuje film, sam sebi stvarati dodatni posao obrade ako jasno na filmu

ne vidi dozu (sliku filtera).

Drugi prigovor je zapravo inverzija prvoga: "radio sam, ali nisam po vama (ili njima) primio dozu".

Taj prigovor je začudo znatno rjedji, makar ga je teže tako efektno oboriti, kao što se može prvi sa slikom doze. Ujedno iz gornjeg proizlazi, da je to vjerojatniji način na koji će pogriješiti radnik koji obradjuje film.

Ipak filmom se može dokazati, da on nije bio ozračen, barem ne toliko da bi mogli odrediti mjerivu dozu, što je dovoljno.

Smatram da je osnovni razlog prigovorima nepoznavanje stvarnih mogućnosti ozračivanja na radnom mjestu, a zatim od loše postavljenog stvarnog ili zamišljenog odnosa primljenih doza s jedne strane, i izjednačavanja uvjeta rada s drugim radnicima (dodatak, dopust, skraćeno radno vrijeme i tome slično) s druge strane.

- 1) Annals of the ICRP Publ.26.: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (1977).
- 2) Pravilnik o granicama iznad kojih stanovništvo i osobe koje rade s izvorima ionizirajućih zračenja ne smiju biti izloženi ozračenju (Sl.list SFRJ br. 40/1986.).
- 3) Zakon o mjernim jedinicama i mjerilima (Sl. list SFRJ br. 13/1976.).
- 4) Dresel, K.: Fortschr. Gebiete Röntgenstrahlen, 84 (1956) 214.

RADIJACIONI AKCIDENTI

Radijacioni akcident je neplanirani događaj koji za posledicu ima, ili može imati, ozračenje ljudi i/ili kontaminaciju lica, površina ili vazduha. Pri radijacionom akcidentu obično dolazi do ozračivanja ili kontaminacije medicinskog osoblja u iznosu većem nego u normalnom radu. Ovakvi slučajevi se mogu desiti zbog lošeg rukovanja, gubitka izvora zračenja, kvara uređaja, eksplozije, požara i drugih uzroka. Naravno, u slučaju eksplozija ili požara primarna opasnost nije radijacione prirode.

Važno je da radijacioni akcident bude brzo ustanovljen i potrebne mere odmah preduzete. Ovo zahteva iskustvo u predviđanju akcidenta, adekvatan trening personala i jasno definisane instrukcije. Povremeno treba vršiti obnovu znanja i proveru poznavanja postupka u slučaju akcidenta i spremnosti. Po preporukama Medjunarodne Komisije za zaštitu od zračenja (ICRP br. 25) za ove aktivnosti treba biti odgovorno rukovodeće telo radne organizacije.

U svakoj prostoriji gde se radi sa izvorima jonizujućeg zračenja potrebno je postaviti pismeno Uputstvo za postupak u slučaju akcidenta, sa elementarnim instrukcijama i aktuelnim brojevima telefona.

Radijaciona opasnost koja se pojavljuje kao posledica radijacionog akcidenta može se manifestovati u obliku:

1. spoljašnjeg ozračivanja;
2. kontaminacije.

1. SPOLJAŠNJE OZRAČIVANJE

Opasnost od spoljašnjeg ozračivanja javlja se kod radijacionih akcidenta sa zatvorenim izvorima ili uređajima koji proizvode jonizujuća zračenja kao što su R₀-aparati, akceleratori, terapijski i drugi uređaji sa zatvorenim izvorima zračenja.

Kod rendgen-aparata do akcidentalnog ozračivanja dolazi boravkom osobe u polju X-zračenja. U većini slučajeva ove vrste ozračenje lice ne zna da je izloženo zračenju prisutnog R₀-aparata. Ozračenje lica u okolini R₀-aparata nastaje obično iz sledećih razloga:

- neispravnost R₀-aparata kao što može biti: loše centriran snop, loša geometrija direktnog snopa što može izazvati velika rasejanja i značajne iznose sekundarnog zračenja, nestabilne kondicije uređaja, disperzija fokusa, loše izvedena zaštita i drugo;
- nepoznavanje i nepridržavanje pravila o radu sa gledišta zaštite od zračenja, od kojih je naročito važna pravilna upotreba zaštitnih sredstava.

Kod terapijskih i drugih snažnih uređaja koji proizvode jonizujuće zračenje, izloženost poljima visokog intenziteta može prouzrokovati ozračenje osobe u značajnim iznosima i ozbiljne posledice po zdravlje. Do ovakvog akcidenta može doći usled kvara na sistemu signalizacije i ulaska osobe u radijaciono polje za vreme aktivnog rada uređaja. Izložena osoba, po pravilu, ne zna da prisutan uređaj radi u aktivnom režimu.

Kod terapijskih uređaja sa zatvorenim izvorima (kobaltron i drugi) do akcidenta može doći usled kvara mehanizma koji prebacuje izvor iz otvorenog u zatvoreni položaj i obrnuto, kao i kvara u sistemu signalizacije.

Najozbiljniji tip akcidenta sa zatvorenim izvorom jonizujućeg zračenja je gubitak radioaktivnog izvora, kako su zatvoreni izvori zračenja za

medicinske svrhe, po pravilu, vrlo visokih aktivnosti, pri ovakvom akcidentu dolazi do značajnog ozračenja, kako profesionalaca, tako i stanovništva, sa ozbiljnim, a u nekim slučajevima i tragičnim ishodom.

Izbor i procenu ozračenosti izloženih lica je teško izvršiti, jer, obično, mesto i vreme gubitka izvora nisu poznati. Usled nedovoljno pouzdanih informacija o mestima i vremenu boravka izvora zračenja u njima, kao i broja i vremena zadržavanja ljudi u blizini izgubljenog izvora, nije moguće izvršiti pouzdanu procenu ozračenosti izloženih lica.

U svim slučajevima akcidenta sa zatvorenim izvorom procena ozračenosti izloženih osoba vrši se na osnovu analiza rezultata fizičke, lične i bio dozimetrije. Naime vrši se detaljno mjerenje i izrada topografije polja zračenja, a takodje utvrđuju podaci o mestima i vremenu boravka osoba u tom polju. Na osnovu rezultata dobijenih na ovaj način i poredjenjem sa rezultatima očitavanja ličnih dozimetara i biodozimetrijskim analizama (ispitivanje stepena hromozomskih aberacija u krvi) donosi se konačan zaključak.

2. KONTAMINACIJA

Ova vrsta radijacionog akcidenta je moguća kod rada sa otvorenim izvorima jonizujućeg zračenja, a nastaje usled disperzije radioaktivnog materijala u okolinu. Uzroci ovakvih akcidenta mogu biti: razbijanje ili oštećenje ambalaže-kontejnera usled nepažljivog rukovanja, saobraćajnog udesa, požara ili drugi.

Sa gledišta prevencije, a naročito sanacije, ovaj tip akcidenta je znatno složeniji u odnosu na prethodni.

U nekim slučajevima i kod akcidenta sa zatvorenim izvorom zračenja može doći do kontaminacije. To se dešava u slučajevima razaranja i rasipanja zatvorenog izvora usled požara, eksplozija ili drugih uzroka (zatvoren izvor postaje otvoren).

Ukoliko je kontaminant u tečnom stanju moguća je kontaminacija tela, odeće, obuće, radnih i drugih površina.

Praškasti kontaminanti, pored gore navedene, mogu uzrokovati i kontaminaciju vazduha - radnih i drugih prostora.

Ukoliko je priroda radioaktivnog materijala takva, može doći i do isticanja radioaktivnog gasa u okolni ambijent.

Za donošenje procene ozračenosti (spoljašnje i unutrašnje) potrebno je, pored ostalog, utvrditi stepen unutrašnje kontaminacije ugroženih osoba, koristeći merenje radioaktivnosti celog tela, kao i ostale fizičke i biodozimetrijske metode.

3. POSTUPAK U SLUČAJU RADIJACIONOG AKCIDENTA

3.1. Zatvoreni izvori zračenja

Osnovne preventivne mere

Vrlo važan element prevencije radijacionog akcidenta sa zatvorenim izvorom zračenja je striktno sprovođenje propisane procedure u rukovanju i radu sa zatvorenim izvorom zračenja ili uredjajem.

U cilju prevencije akcidenta neophodno je u svakom trenutku znati tačnu lokaciju izvora zračenja. U tom cilju potrebno je imati i pravilno koristiti pogodan monitor zračenja.

Jedan od značajnih faktora u preventivi radijacionog akcidenta je onemogućavanje neovlašćenog pristupa izvoru zračenja, što znači da prostore sa izvorima zračenja treba držati zaključanim i označenim vidljivim oznakama radijacione opasnosti.

Postupak

Odmah po dobijanju prve informacije i potvrde o akcidentu treba izvršiti evakuaciju ljudstva iz ugroženog područja i onemogućiti neovlašćen pristup u isto.

Nakon izolacije izvora zračenja izvršiti sledeće aktivnosti:

- obavestiti odgovorno lice u radnoj organizaciji, nadležnog sanitarnog inspektora i stručnu ustanovu za poslove zaštite od zračenja;
- sprovesti uputstva dobijena od strane stručnih i ovlašćenih tela;
- izvršiti potrebna merenja i prikupiti ostale podatke za donošenje pouzdane procene ozračenosti;
- sprovesti sanaciju akcidenta od strane stručne i ovlašćene službe;
- ozračene osobe uputiti na dalji tretman u cilju donošenja biodozimetrijskih procena i eventualnog lečenja;
- izvršiti analizu uzroka i posledica akcidenta.

3.2. Otvoreni izvori zračenja

Osnovne preventivne mere

- u svakoj prostoriji gde se rukuje otvorenim izvorima postaviti pismeno Uputstvo za postupak u slučaju akcidenta, koje sadrži niz mera koje treba preduzeti u slučaju vanredne radijacione situacije. Na vidljivom mestu označiti ime, lokaciju i telefon lica ovlašćenih za zaštitu od zračenja;
- u svakom trenutku na raspolaganju moraju biti sledeći uređaji i sredstva:
 1. zaštitne rukavice, nazuvke i kape;
 2. materijali za dekontaminaciju, uključujući absorbujuće tkanine (krpe);
 3. sredstva za ličnu dekontaminaciju i prvu pomoć;
 4. oznake upozorenja i sredstva za izolaciju kontaminiranog područja;
 5. alate, orudja, kante i plastične kese za smeštaj kontaminiranih stvari;
 6. ručni, prenosni monitor za detekciju ili merenje kontaminacije;
 7. razna pomoćna sredstva kao što su: lepljive trake, etikete, pisaljke, i druga. Sve gore pobrojane stvari držati spremne za transport.
- obezbediti medicinski tretman kontaminiranih osoba;
- prostorije u kojima se radi sa otvorenim izvorima treba opremiti, a radne operacije organizovati tako da verovatnoća razbijanja ili oštećenja ambalaže i rasipanja radioaktivnog materijala bude minimalna.

Postupak

Osnovni cilj intervencije u slučaju radijacionog akcidenta je ukloniti ugrožene osobe i sprečiti širenje kontaminacije. U tom cilju potrebno je preduzeti sledeće osnovne mere:

- ukloniti sve ugrožene osobe sa kontaminiranog područja i izvršiti izolaciju istog;
- kontaminirane osobe izolovati i preduzeti mere za sprečavanje novih kontaminacija koje one mogu izazvati. Iste uputiti na postupak dekontaminacije i dalji medicinski tretman;

- o akcidentu obavestiti sva ovlašćena i stručna lica;
- pogodnim monitorom locirati kontaminirana područja;
- ograditi i obeležiti kontaminiranu zonu vodljivim oznakama radijacione opasnosti i onemogućiti neovlašćen pristup u istu;
- izvršiti dekontaminaciju i sanaciju akcidenta od strane stručnjaka;
- izvršiti analizu uzroka i posledica akcidenta.

4. RADIJACIONI AKCIDENT KAO POSLEDICA POZARA ILI EKSPLOZIJE

U slučaju požara rizik vezan za zatvoreni izvor zračenja je relativno mali i, prema tome, prva pažnja treba biti posvećena sigurnosti pacijenata i osoblja.

Radne tehnike moraju biti planirane tako da minimiziraju verovatnoću požara ili eksplozije, kao i disperziju radioaktivnog materijala.

Vatrogasna služba koja interveniše treba dobiti osnovne instrukcije o prirodi i nivou radijacione opasnosti.

U slučajevima radijacionog akcidenta koji je posledica eksplozije ili požara poslove dekontaminacije mogu vršiti samo iskusne i visokospecijalizovane stručne službe.

Na kraju ovog izlaganja priložen je predlog Izveštaja o radijacionom akcidentu koji sadrži elementarne informacije koje treba prikupiti.

LITERATURA

1. The Principles and General Procedures for Handling Emergency and Accidental Exposures of Workers, ICRP Publication No.28, Vol.2, No.1, 1978, Pergamon Press.
2. The Handling, Storage, Use and Disposal of Unsealed Radionuclides in Hospitals and Medical Research Establishments, ICRP publication No 25, Vol. 1, No. 2, 1977, Pergamon Press.
3. Mr. D. Petrović, Opasnosti pri radu sa radioaktivnim izvorima, *Zaštita - časopis*, Vol. 50, No. 1, 1987, Institut zaštite na radu, Sarajevo.

IZVJEŠTAJ O AKCIDENTU

MESTO AKCIDENTA: _____ RADNA ORG. _____

OBJEKAT: _____ ADRESA: _____
VREME AKCIDENTA: _____ U _____ hKRATAK OPIS AKCIDENTA: _____

UREDJAJ: _____

IZOTOP I AKTIVNOST: _____

VRSTA OPASNOSTI: OZRAČIVANJE _____, KONTAMINACIJA _____

TIP IZVORA: ZATVOREN _____, OTVOREN _____, IZVOR OŠTEĆEN: _____

IZVRŠENA MERENJA: DOZE _____, KONTAMINACIJE _____

POSTOJE REZULTATI MERENJA: DOZE _____, KONTAMINACIJE _____

BROJ OSOBA: OZRACENIH _____, KONTAMINIRANIH _____

UZROK AKCIDENTA: _____
_____PREDUZETE MERE: _____

PRVU INFORMACIJU O AKCIDENTU PRIMIO: _____ DANA _____

U _____ h, NA KOJI NAČIN _____

PRVU INFORMACIJU O AKCIDENTU DAO: _____

USTANOVE I LICA KOJA SU DALJE
OBAVESTENA O AKCIDENTU I KADA: _____

ODGOVORNA LICA U R.ORG.: _____ TEL. _____

_____ TEL. _____, _____ TEL. _____

PRELIMINARNA PROCENA POSLEDICA AKCIDENTA: _____
_____OSTALE INFORMACIJE: _____

DATUM I VREME

IZVEŠTAJ PODNEO

ZDRAVSTVENI NADZOR LICA KOJA RADE U ZONI JONIZUJUĆIH ZRAČENJA

Uvod

Sve šira primena jonizujućih zračenja u medicini, veterini, industriji i drugim delatnostima, povećava broj lica koja rade u zoni jonizujućih zračenja.

Ispitivanje dejstva jonizujućih zračenja na žive organizme počinje odmah posle otkrića rendgen zraka 1895. godine. Ova istraživanja su ukazala da su najosetljivije ćelije one koje su na nižem stupnju embrionalnog razvoja i koje su manje diferencirane.

Na osnovu tih istraživanja mogla se izvršiti klasifikacija osetljivosti pojedinih tkiva i organa i ćelija živog organizma. Prema toj klasifikaciji najosetljivije ćelije su embrionalne ćelije, ćelije hematopoeze, germinativne i epitelijalne ćelije. Imajući u vidu osetljivost pojedinih organa na dejstvo jonizujućih zračenja mogu se posle akutnog ili hroničnog ozračenja očekivanih promena u prvom redu na radioosetljivim organima.

U toku akutnog i hroničnog ozračivanja profesionalnoj patologiji možemo očekivati promene na koži, u krvnoj slici, poremećaj u spermatogenezi, zamućenje očnog sočiva ili maligne alteracije.

U cilju prevencije oštećenja izazvana dejstvom jonizujućih zračenja, radnici koji treba da rade ili rade sa izvorima jonizujućih zračenja nalaze se pod posebnim zdravstvenim nadzorom, koji je predviđen propisima u oblasti zaštite od jonizujućih zračenja.

Zdravstveni nadzor lica koja treba da rade u zoni jonizujućih zračenja ili poslovima zaštite od jonizujućih zračenja

Da bi neko lice moglo raditi u zoni jonizujućih zračenja mora da ispunjava stručne i zdravstvene uslove za rad sa izvorima jonizujućih zračenja.

Stručni uslovi

U principu, sva lica koja su u redovnom školovanju (specijalisti radio-lozi, pneumoftiziolozi, rendgen tehničari) osposobljena za rad sa izvorima jonizujućih zračenja mogu raditi sa tim izvorima.

Za lica koja rade sa otvorenim izvorima zračenja, a koja nisu u toku školovanja osposobljena za rad sa izvorima jonizujućih zračenja, potrebna je dopunska obuka od 3-6 nedelja u posebnim centrima za obuku za rad sa otvorenim izvorima jonizujućih zračenja.

Za rad u nuklearnim postrojenjima potrebna je specijalizovana obuka.

Zdravstveni uslovi

Sa izvorima jonizujućih zračenja mogu raditi lica koja su starija od 18 godina i ispunjavaju određene zdravstvene uslove.

Zdravstveni pregled pre stupanja na rad obuhvata:

- opšti klinički pregled sa detaljnom radnom, ličnom i porodičnom anamnezom;

- hematološke analize:
- pregled očnog sočiva;
- radiografija pluća - za radnike koji rade u rudnicima urana - obavezno snimak 35x35 cm, a za ostale radnike fluorografski snimak 10x10 cm;
- pregled urina: spec, težina, belančevine, šećer i sediment
- ginekološki pregled (za žene)
- kapilaroskopski pregled za radnike koji u toku rada mogu biti izloženi direktnom snopu X zraka, gama zraka ili mogućoj beta kontaminaciji.

Zdravstveni pregled u toku rada predviđa pored prethodnih pregleda i ispitivanje hromozomskih aberacija u limfocitima periferne krvi, ispitivanje binuklearnih limfocita, zatim radiografija pluća, ispitivanje celularnih elemenata u sputumu, spirometrijska i audiometrijska ispitivanja za radnike u rudnicima urana.

Za sve radnike koji rade sa otvorenim izvorima jonizujućih zračenja vrše se radiotoksikološke analize, a za pojedine radnike i merenje ukupne gama aktivnosti čovečjeg tela. U slučajevima kada se radi sa nefrotoksičnim radionuklidima vrši se klirens kreatinina.

Učestalost zdravstvenih pregleda

Pre početka rada svaki radnik koji želi da radi sa izvorima jonizujućih zračenja ili na poslovima zaštite od zračenja mora imati sertifikat od ovlašćene zdravstvene ustanove da ispunjava zdravstvene uslove za rad u zoni jonizujućih zračenja.

U toku rada obavezan je pregled najmanje jednom godišnje: klinički pregled, hematološke analize, pregled urina.

Svake druge godine oftalmološki pregled (očno sočivo) radiografija pluća, ispitivanje celularnih elemenata, sputuma, spirometrijska i audiometrijska ispitivanja za radnike u rudnicima urana i kapilaroskopski pregled.

Ispitivanje hromozomskih aberacija vrši se u toku prva tri meseca za radnike koji mogu da budu izloženi zračenju od 5 mSv/ godišnje i radnike u rudnicima urana i drugim rudnicima sa radioaktivnim pojavama čija ekspozicija radonu i njegovim potomcima može da bude veća od 0,002 J. Hromozomske aberacije ispituju se svake pete godine i ako radnik primi jednokratnu dozu iznad 50 mSv ili 0,02J radona i njegovih potomaka.

Radiotoksikološke analize, ispitivanje binuklearnih limfocita, klirens kreatinina i merenje ukupne gama aktivnosti vrši se na zahtev lekara određene zdravstvene ustanove.

Lica koja se jednokratno ozrače većom dozom od 50 mSv po celom telu podvrgavaju se vanrednom lecarskom pregledu.

Okvirni hematološki normativi za rad sa izvorima jonizujućih zračenja

Iako postoje znatne razlike u normalnim hematološkim vrednostima za pojedine grupe radnika za rad sa izvorima jonizujućih zračenja utvrđeni su okvirni normativi, koji nadležnom lekaru služe za ocenu radne sposobnosti radnika koji rade sa izvorima jonizujućih zračenja.

Ovi normativi su:

a) broj eritrocita	
za muškarce	od 3,8 do $5,5 \times 10^{12}/l$,
za žene	3,5 do $5,0 \times 10^{12}/l$,
b) količina hemoglobina	
za muškarce	120 do 160 g/l
za žene	110 do 150 g/l
c) broj belih krvnih zrnaca	4,0 do $9,0 \times 10^9/l$,
d) broj neutrofilnih granulocita	2,5 do $7,0 \times 10^9/l$
e) broj limfocita	1,5 do $3,0 \times 10^9/l$
f) broj trombocita ne manji od	$150 \times 10^9/l$
g) binuklearni limfociti	do 3/10.000 limfocita
h) hromozomske aberacije u limfocitima periferne krvi (analizira se najmanje 200 limfocita u metafazi celu- larnog ciklusa).	Normalan kariotip, bez hromozomskih aberacija kao što su: dicentrični i prstenasti hromozomi, translokacije pericentrične inverzije i acentrični frag- menti

Kontraindikacija za rad u zoni jonizujućih zračenja

Sa izvorima jonizujućih zračenja ne smeju raditi lica:

1. mladja od 18 godina;
2. sa obolenjima krvotvornih organa;
3. sa malignim oboljenjima (u toku oboljenja i posle sprovedene terapije);
4. koja imaju evolutivna oboljenja očnog sočiva
5. koja boluju od evolutivne tuberkuloze;
6. koja boluju od poremećaja endokrinih žlezdi;
7. koja imaju hiperplastični ili nekrotični radiodermatitis teža oboljenja kože (sklerodermija, dermatomiohitis, pemfigus i sl)
8. koja boluju od bolesti zavisnosti (hronični alkoholizam, narkomanija);
9. koja boluju od težih nervnih i duševnih oboljenja;
10. koja boluju od drugih funkcionalnih oboljenja, koja utvrdi lekar nadležne zdravstvene organizacije.
11. žene u toku celog toka graviditeta, a ako rade sa otvorenim izvorima zračenja ne treba raditi ni u toku laktacije.

Ocena radne sposobnosti

Pri utvrđivanju radne sposobnosti za lica koja rade sa izvorima jonizirajućih zračenja svi laboratorijski rezultati i specijalistički nalazi se kritički razmatraju u okviru opšteg zdravstvenog stanja radnika, ekspozicionog i opšteg staža. Posle višekratnog odstupanja rezultata u hematološkom nalazu uko liko postoji ekspozicioni staž više od 3 godine, može se zaključiti da se radi o tranzitornom profesionalnom oštećenju u hematološkom nalazu (leukopenija, trombopenija, anemija ili pojava hromozomskih aberacija). Kontrolu treba izvršiti za 3 meseca a za hromozomske aberacije i posle 6 meseci. Ova lica do normalizacije krvne slike nisu sposobna za rad u zoni jonizujućih zračenja a sposobna za druge odgovarajuće poslove u okviru zanimanja. Ovakvim radnicima može se predložiti i rehabilitacioni tretman u zdravstvenim organizacijama koje se bave rehabilitacijom.

Oštećenja izvorima dejstvom jonizujućih zračenja smatraju se profesionalnim oboljenjima.

LITERATURA

1. Društveni odgovor o listi profesionalnih bolseti Službeni list SFRJ br. 38/62
2. Jeremić M., Savić S., Kilibarda M., Panov D.
Katarakta kao kontraindikacija za rad u zoni jonizujućih zračenja
IV Jugoslovenski kongres za medicinu rada, Sarajevo, Galenika,
265, Beograd (1975)
3. Jammet A.: Progress Report of the IRPA Study group ou Protection
againgt nou ionizing Radiation, IRPA, 4th International Congress,
Paris (1977).
4. Manual on Radiation Haematology joing untertaking ty IAEA and WHO,
IAEA, Vienna 1971.
5. Merte H. Profesionalna oštećenja oka.
Munchener Medicinische Wachenchriff, 109,10,50 (prevod)
6. Protection des travailleurs contre les rayonnments ionisants
Decret No 67-228 du 15 mart 1967. Journeaux officids, Paris
15 (1967).
7. Panov D., Tomašević M.: Analiza o ozračenosti radnika koji rade sa
izvorima jonizujućih zračenja. Republička samoupravna interesna
zajednica zdravstvene zaštite, Beograd, 1986.
8. Pravilnik o stručnoj spremi, zdravstvenim uslovima i zdravstvenim
pregledima lica koja mogu raditi sa izvorima jonizujućih zračenja,
Službeni list SFRJ, 40/86.
9. Decommendations of the International Commision on
radiological Protection (ICRP Publication No 26)
Pergamon Press Oxford, 1977.

10. Radiation Protection Procedures Safety Series No 38, IAEA, Vienna, 1973.
11. Surveillance medical des travailleurs exposes aux radiation ionisantes, Actes officielles du Symposium International tenu a Stress-Ispra (Italie) du 2 au 5 maj 1966).
12. Zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja i o merama sigurnosti pri korišćenju nuklearne energije. Službeni list SFRJ, 62/84.

BIOBIOZIMETRIJSKA KONTROLA

Analiza strukturnih aberacija kromosoma prihvaćena je kao korisna metoda za procjenu bioloških posljedica ovisnih o apsorbiranoj dozi zračenja (1). To je metoda koja popunjava prazninu u dozimetrijskoj tehnologiji, naročito pri akcidentalnim slučajevima, pri sumnji na ozračenje bez dozimetrijskih dokaza, prilikom parcijalnog ozračenja tijela, te kod hematoloških poremećaja koje nije moguće vezati uz vrijednosti procijenjene fizikalnim dozimetrima.

Našim pozitivnim propisima, koji reguliraju pitanja zdravstvenog nadzora lica uključenih na poslove s izvorima ionizirajućih zračenja, ispitivanja kromosomskih aberacija u limfocitima periferne krvi predviđeno je:

- u prvom tromjesečju rada s izvorima zračenja (tzv. "0" analiza)
- za radnike koji u toku rada mogu biti izloženi dozi većoj od 5 mSv godišnje - svake pete godine
- u slučajevima kada radnik jednokratno primi dozu iznad 50 mSv
- kada izloženost radonu i njegovim produktima raspada prelazi 5 WLM (radnici u rudnicima urana ili u pogonima gdje postoji izloženost spomenutim radionuklidima, odnosno svake pete godine ako izloženost može biti veća od 0,5 WLM
- kada liječnik medicine rada smatra ovu analizu neophodnom prilikom periodičnog ili drugih pregleda.

Velike strukturne aberacije kromosoma uzrokuju u funkcioniranju oštećenih stanica brojne promjene, a često i njihovu smrt. To može rezultirati fiziološkim poremećajima ozračenog organizma. Prisutnost velikih strukturnih promjena kromosoma dokazuje se poznatim citogenetskim metodama primjenom svjetlostnog mikroskopa.

Stanice tkiva sa zadovoljavajućom proliferativnom sposobnošću kao što su koža, korijen kose, koštana srž i druge, mogu poslužiti za kromosomska ispitivanja. Ipak se najčešće koristi in vitro kultura limfocita periferne krvi. Mnogim, naprijed spomenutim tkivima i stanicama kompliciraniji je pristup, a uz to redovito imaju i visok postotak asinhronne stanične populacije. Osim toga postoje i razlike u radioosjetljivosti pojedinih tipova stanica.

U limfocitima periferne krvi ozračene osobe susreću se dva osnovna tipa kromosomskih aberacija - nestabilne i stabilne, odnosno kromosomske i kromatidne, kako ih danas najčešće kategoriziramo.

Nestabilne aberacije onemogućuju normalnu separaciju genetskog materijala tokom stanične diobe. Te su aberacije vjerojatno letalne unutar nekoliko staničnih ciklusa, te će biti selektivno eliminirane iz prirodno proliferirajuće populacije stanica. U toj skupini su najpoznatiji tzv. dicentriki, koji se danas smatraju i najozbiljnijim pokazateljem radijacijskog oštećenja. U stanicama neozračenih osoba, njihova je pojava vrlo niska, svega oko 1%. Dicentrična struktura rezultat je dva kromosomska loma zasebnih kromosoma unutar iste stanice, koji su tokom interfaznog razdoblja formirali dicentrik. Uz dicentrike su redovno prisutni i pripadajući acentrični fragmenti, što pomaže sigurnoj identifikaciji dicentrika. U skupini nestabilnih aberacija susreću se, osim dicentrika, i prstenasti ili ring kromosomi sa centromerom. Oni su također rezultat dva kromosomska loma, ali na istom kromosomu sa suprotnih strana centromere. Ring, u odnosu na dicentrik, znatno je rjeđe vidjen u ozračenih osoba. Smatra

se da je njegova učestalost oko 5% vrijednosti dicentrika.

Prisutnost dicentrika ili centričnih prstenova u nalazu profesionalno izložene osobe, razlog je za sumnju na izloženost mutagenu. Tu treba isključiti mogućnost dijagnostičkog ili terapijskog ozračivanja, dok je učinak kemijskih ili bioloških agensa lako uočljiv i prepoznatljiv. Nalaz sa dva, tri i više dicentrika ili prstenova, popraćen još i s kromosomskim lomovima i acentričnim fragmentima, vrlo je ozbiljan pokazatelj izloženosti mutagenom agensu.

Analize na strukturne aberacije kromosoma, obavljaju se u ovlaštenim ustanovama republika i pokrajina na zahtjev nadležne službe medicine rada ili radne organizacije u kojoj je radnik zaposlen (2).

Prilikom obrade za svakog se ispitanika popunjava detaljan anamnestički upitnik, koji uključuje opće podatke o dobu, spolu, profesiji i mjestu boravka. Osim spomenutih, prikupljaju se i podaci o ovisnostima (alkohol, droga, pušenje i sl.), kemo i fizikalnoj terapiji, dijagnostici ionizirajućim i neionizirajućim zračenjima tokom posljednjih 12 mjeseci, te o preboljelim virusnim bolestima i vakcinaciji. Od svakog se ispitanika uzima uzorak venske krvi od 5 ml. Na zahtjev radne organizacije može se uzimanje uzorka krvi obaviti i u prostoru radne organizacije - korisnika. Ovaj terenski način uzimanja uzorka za analizu kromosoma, vrlo je ekonomičan za radne organizacije, naročito kada je potrebno pregledati veći broj osoba. Radnici ne izbjivaju s radnog mjesta dulje od 30 minuta, a izostaju i putni troškovi.

Nakon uzimanja krvi uzorci se transportiraju u propisanim uvjetima do matičnog laboratorija. Tu se obavi in vitro kultivacija limfocita. Koriste se sintetski mediji, koji nadomještaju tjelesne tekućine, mitogeni stimulator - fitohemoglobin i još nekoliko namjenskih supstanci. Na 37 °C tokom 48 sati slijede brojni fiziološko-kemijski procesi u stanicama limfocita, a rezultat je in vitro dioba tih stanica. Imperativ metode je pravovremeno zaustavljanje stanične proliferacije i preparacija kromosoma u prvoj in vitro diobi.

Samo rezultati dobiveni na prvim in vitro metafazama realan su pokazatelj oštećenja staničnih struktura, dok su bile u živom organizmu (3).

Ukoliko postoji sumnja na ozračenje, a u prvih pregledanih 200 metafaza nije nadjeno specifičnih kromosomskih oštećenja, taj broj se udvostručuje, a ponekad se kontrolira i do 1000 stanica.

Dobiveni rezultati iskazuju se kao ukupni postotak kromosomskih oštećenja i kao distribucija odredjenih tipova kromosomskih aberacija. Ukoliko u nalazu dominiraju kromatidna oštećenja od nekoliko postotaka, nalaz se smatra u granicama normalnog. Kromatidna oštećenja najčešće nastaju nakon dodavanja mitogenog stimulatora, dakle, u epruveti, pa s ozračenjem organizma nemaju nikakve veze. Registriramo ih, ali u ocjeni radijacijskih oštećenja ne dolaze u obzir.

Prisustvo kromosomskih lomova, a posebno specifičnih kromosomskih struktura kao što su dicentrični i prstenasti kromosomi, uz prateće acentrične fragmente, pokazatelj su promjena u genomu somatskih stanica dotične osobe. U tom slučaju uputno je detaljno pregledati vrijednosti hematoloških testova, naročito za trombocite i leukocite. Ukoliko su vrijednosti krvnih analiza u granicama normalnog, radnik se upozorava na maksimalnu pažnju tokom rada, a analizu kromosomskih aberacija ponavlja nakon 6 mjeseci do godinu dana.

Prisustvo više dicentrika i prstenova u nalazu, praćeno još i hematološkim poremećajima, zahtijeva postupak u skladu s pozitivnim zakonskim propisima.

Iz svega proizlazi da su analize strukturnih promjena kromosoma za populaciju profesionalno izloženih ionizirajućem zračenju izvanredno važne, jer predstavljaju dokaz direktnih promjena koje je uzrokovalo ionizirajuće zračenje u organizmu. Jasno je da pri ocjeni "težine" nalaza treba uzeti uvijek u obzir i moguće utjecaje dijagnostičkih ozračenja, kao i terapijskog postupka (4).

Kada je riječ o ionizirajućem zračenju, osim uobičajene registracije kromosomskih oštećenja u krvi ozračene osobe, na osnovu broja specifičnih kromosomskih lezija, moguće je prilično točno procijeniti primljenu dozu. Takva procjena moguća je samo u onim laboratorijama koji posjeduju vlastite kalibracijske krivulje za određeni tip zračenja i odgovarajuće doze. Ova mogućnost dolazi naročito do izražaja prilikom pojedinačnih ili širih radijacijskih akcidenata. Na osnovu tako dobivenih podataka može se planirati i svrsishodno provoditi potrebna terapija. Danas se smatra korisnim raspolagati biodozimetrijskim podacima i u slučajevima kada su fizikalna mjerenja doza posve zadovoljavajuća.

Princip biološke dozimetrije zasniva se na činjenici da se u limfocitima periferne krvi čovjeka, nakon ozračenja u živo i onog u epruveti, formira slična količina i tip kromosomskih oštećenja po jedinici apsorbirane doze zračenja.

Na osnovu te spoznaje moguće je nadjeni broj kromosomskih oštećenja u ozračenih osoba komparirati s rezultatima na kalibracijskoj krivulji in vitro ozračene krvi, te vrlo pouzdano procijeniti dozu.

Ovaj postupak biološke procjene doze, iako nije zakonom propisan, trebalo bi koristiti u svim akcidentalnim slučajevima, kao što to čine brojni biodozimetrijski centri u svijetu (1).

LITERATURA

1. Biological Dosimetry: Chromosomal Aberration Analysis for Dose Assessment, IAEA, Technical Reports Series No 260 (1986).
2. Dj. Horvat: Somatske mutacije u profesionalno izloženoj populaciji, Zaštita 13 (1) 29-32 (1987).
3. Horvat Dj.: Strukturne aberacije kromosoma u sistemu zaštite od zračenja, Seminar "Zdravstveni i dozimetrijski nadzor osoba zaposlenih u zoni ionizirajućeg zračenja" Stubičke Toplice svibanj 1986.
4. Horvat Dj.: Primjena biodozimetrije u zdravstvenom nadzoru lica u industrijskoj radiografiji, Seminar: "Mjere zaštite i zdravstvene zaštite pri korištenju izvora zračenja u industriji", Sarajevo 1986.

BIOLOSKI EFEKTI NEJONIZUJUĆIH ZRAČENJA

UVOD

Pod nejonizujućim zračenjima podrazumevaju se svi oblici elektromagnetskog zračenja koji u interakciji sa materijom ne poseduju dovoljno energije sposobne da izazove jonizaciju te materije. Zbog toga se, po opštoj definiciji, nejonizujuća zračenja odnose na deo elektromagnetskog spektra čija je energija fotona manja od 12 elektronvolta, a u odnosu na talasne dužine ona obuhvataju sva elektromagnetska zračenja koja u vakuumu imaju talasnu dužinu veću od 100 nanometara. Pri relativno niskim frekvencijama uobičajeno je da se elektromagnetski talasi obeležavaju prema frekvencijama, a pri vrlo visokim frekvencijama, prema talasnim dužinama.

U zavisnosti od talasnih dužina, odnosno frekvencija, nejonizujućim zračenjima su obuhvaćeni:

- radiotalasi
- infracrveno zračenje
- vidljiva svetlost i
- ultraljubičasto zračenje.

Jedan deo spektra nejonizujućih zračenja (infracrveno zračenje, vidljiva svetlost i ultraljubičasto zračenje) može da se manifestuje i u obliku koherentnih snopova zračenja (kvantni generatori - laseri), u kom slučaju oni predstavljaju nosioce energija čija koncentracija može da bude vrlo značajna.

Iako ne pripadaju elektromagnetskom zračenju u nejonizujuća zračenja uključene su i mehaničke ultrazvučne vibracije, iz čisto pragmatičkih biomedicinskih razloga, zbog svojih bioloških efekata i problema zaštite, koji su vrlo slični onima kod elektromagnetskog zračenja.

Biološki efekti koje izazivaju pojedine vrste nejonizujućih zračenja veoma su raznoliki i zavise od mnogih faktora. Ti faktori mogu se grupisati u tri kategorije:

1. Faktori vezani za karakteristike izvora zračenja

- dimenzije izvora
- frekvencija emitovanog zračenja
- intenzitet ili gustina snage polja ili snopa
- način emitovanja zračenja (koherentno ili nekoherentno, kontinuirano ili pulsno);

2. Faktori vezani za modalitete ekspozicije

- trajanje ekspozicije i njegova vremenska raspodela (kontinuirana ili intermitentna ekspozicija)
- rastojanje od izvora (izuzev u slučaju ekspozicije laserskom zračenju)
- prostorna distribucija ekspozicije (potpuna ili delimična ekspozicija organizma);

3. Faktori vezani za biološke karakteristike

- fiziološke karakteristike tkiva (kao što je prokrvljenost, ako su u pitanju termički efekti)
- električna svojstva tkiva

- dimenzije organa
- funkcionalni značaj organa ili tkiva koji su zahvaćeni.

Lica izložena jonizujućim zračenjima, u zavisnosti od uslova ekspozicije, podeljena su u tri kategorije. To su:

- profesionalna ekspozicija
- ekspozicija stanovništva i
- medicinska ekspozicija.

Profesionalna ekspozicija odnosi se na punoletna lica koja u toku svoje profesionalne delatnosti sa izvorima nejonizujućih zračenja mogu biti akutno ili hronično ozračena.

Ekspozicija stanovništva odnosi se na pojedince, uključujući i decu, koji u toku celog života mogu biti izloženi pojedinim vrstama nejonizujućih zračenja. Mada je nivo ozračivanja pojedinaca iz stanovništva obično nizak, broj eksponovanih lica i dužina ekspozicije mogu ponekad da predstavljaju značajnu kolektivnu ekspoziciju stanovništva.

Medicinska ekspozicija odnosi se na ekspoziciju pacijenata podvrgnutih dijagnostičkoj ili terapijskoj primeni odredjenih vrsta nejonizujućih zračenja.

RADIOTALASI

Radiotalasi obuhvataju deo elektromagnetskog spektra čiji se talasne dužine kreću od nekoliko kilometara (dugi talasi) do jednog milimetra (granica infracrvenog zračenja), i obuhvataju opseg frekvencija od 30 kiloherca do 300 megaherca. Prema jednoj drugoj, široko prihvaćenoj konvenciji, radiotalasima se nazivaju talasi sa frekvencijama od 300 kiloherca do 300 megaherca, dok se talasi sa frekvencijama od 300 megaherca do 300 gigaherca nazivaju mikrotalasima.

Biološki efekti koji nastaju posle akutne ili hronične ekspozicije radiotalasima različitih frekvencija mogu se podeliti u dve grupe. To su:

- termički efekti i
- netermički efekti.

Pojava termičkih efekata mogućna je pri ekspoziciji organizma ultrakratkim talasima i mikrotalasima i ispoljava se u porastu temperature ozračenog dela tela. Ljudski organizam sposoban je da apsorbuje 20 do 100% energije zračenja talasa čija frekvencija prelazi 15 MHz i da je pretvori u toplotu, ali, da bi penetracija elektromagnetske energije mogla u nekom telu da proizvede toplotu, potrebno je da prečnik tog tela bude jednak najmanje jednog desetini dužine talasa. Prema tome, elektromagnetska zračenja u opsegu frekvencija manjih od 15 megaherca, čija je talasna dužina veća od 20 metara, ne predstavljaju sa stanovišta termičkih efekata nikakvu opasnost za čoveka.

Najugroženija tkiva i organi ljudskog organizma su očno sočivo, testisi i centralni nervni sistem, koji prema termičkim efektima pokazuju vrlo veliku osetljivost. Osetljivost nekog organa u prvom redu zavisi od stepena vaskularizacije (zagrevanjem se krvni sudovi dilatiraju, pojačavaju cirkulaciju i odvoze višak toplote sa ozračenog mesta), frekvencije mitoze i stepena ćelijske diferencijacije. Temperaturu očnog sočiva mogu da podignu, zbog slabe mogućnosti odavanja toplote (nedostatak krvnih sudova), i relativno male količine elektromagnetske energije. Povećanje temperature inhibiše procese mitoze i ćelijske diferencijacije i te promene mogu, vremenom, dovesti do njegovog zamućenja (katarakta). U testisima se visok stepen ćelijske deobe i diferencijacije

jacije germinalnih ćelija održava u kanalikulima, i podizanjem temperature germinalne ćelije lako mogu da budu oštećene. Povećanjem unutrašnje temperature testisa intersticijalne ćelije (Leidigove ćelije) proizvode manje muških hormona, što može da izazove slabljenje potencije. U centralnom nervnom sistemu najosetljiviju oblast predstavlja retikularna formacija produžene moždine i hipotalamusa, u kojima se nalaze važni regulatorni centri, te i laka hipertermija može znatno da poremeti različite organske funkcije.

Netermički efekti ili, kako se još nazivaju, "specifični" efekti, javljaju se posle duževremenog izlaganja radiotalasima čija gustina snage nije u stanju da izazove termički efekat, odnosno, čija je gustina snage manja od 10 mW/cm^2 . Ti efekti se manifestuju, uglavnom, kao funkcionalni poremećaji centralnog nervnog sistema, neurovegetativni poremećaji i poremećaji u broju i odnosu pojedinih elemenata periferne krvi. Poremećaji u centralnom nervnom sistemu ispoljavaju se u pojavi zamora, poremećaju pažnje, produženom vremenu adaptacije na mrak i povišenom pragu nadražaja čula mirisa. U vegetativnim poremećajima dominiraju vagotonične reakcije sa tendencijom ka hipotoniji i bradikardiji. Promene u uobličnim elementima periferne krvi ogledaju se u pojavi leukocitopenije, limfocitoze, monocitoze i trombocitopenije.

INFRACRVENO ZRAČENJE

U spektru elektromagnetskog zračenja infracrveni zraci nadovezuju se na crvene zrake vidljive svetlosti i obuhvataju oblast talasnih dužina od 780 nanometara do 1 milimetra. Prema svojim talasnim dužinama podeljeni su u tri grupe:

- kratki IC zraci (IA-A) od 780 nm do 1400 nm
- srednji IC zraci (IC-B) od 1400 nm do 3000 nm
- dugi IC zraci (IC-C) od 3000 nm do 1000000 nm (1 mm).

Biološki efekti su gotovo isključivo termičkog karaktera i po svojim manifestacijama mogu biti lokalni i opšti. Lokalni efekti ograničavaju se na površinu ljudskog organizma i ispoljavaju se prvenstveno na koži i organu vida. Opšti efekti nastaju kao posledica dejstva infracrvenog zračenja iz Sunčevog spektra na moždane opne i ispoljavaju se u obliku sunčanice.

Dejstvo infracrvenog zračenja na kožu. - Površina čovečjeg tela ima izrazito svojstvo da apsorbuje toplotne zrake. Koža te zrake opaža kao subjektivni osećaj topline, a objektivno, oni izazivaju lokalno povećanje temperature. Povećanje temperature kože zavisi od talasne dužine zraka, ukupne količine energije predate tkivu i dužine ekspozicije. Duge infracrvene zrake, talasnih dužina većih od 5000 nanometara, u potpunosti apsorbuje rožasti sloj kože. Zraci talasnih dužina između 5000 i 1400 nanometara mogu da izazovu superficijalna oštećenja jer ih znatno apsorbuje epiderm. Kratki infracrveni zraci prodiru dublje i mogu da izazovu teža akutna oštećenja. Oštećenja kože mogu se ispoljiti kao opekotine i retikularni dermatitis. Opekotine su u najvećem broju slučajeva površne i manifestuju se kao opekotine I ili II stepena. Intenzivnije ozračenje može da izazove i oštećenja III stepena, sa izraženim kutanim nekrozama. Neposredni osećaj bola posle intenzivnije apsorpcije infracrvenog zračenja sprečava, najčešće, pojavu težih akutnih oštećenja. Retikularni dermatitis spada u hronična oštećenja. Oštećenje počinje stvaranjem mreže ljubičastih površina sa širokim okcima i intenzivnom dilatacijom kapilara kože. Docnije, oštećenja postaju zagasito smeđja, čineći neprimetan prelaz prema neoštećenoj koži. Ponekad su praćena osećajem toplote, pečenja i svraba. Pojavu oštećenja favorizuju cirkulatorni, endokrini i neurovegetativni poremećaji, kao i opadanje opštih imunobioloških snaga organizma.

Dejstvo infracrvenog zračenja na organ vida. - Dugi infracrveni zraci, talasnih dužina većih od 3000 nanometara, potpuno su bezopasni za organ vida jer ne prolaze kroz medije oka, budući da ih voda, čiji je procenat u ćelijama oka vrlo visok, potpuno apsorbuje. Međutim, i ti zraci posle duže ekspozicije mogu da izazovu hronično zapaljenje očnih kapaka. Srednji infracrveni zraci mogu da izazovu oštećenja različitih struktura organa vida kao što su očno sočivo, dužica, sudovnjača i mrežnjača. Od navedenih oštećenja relativno je najčešće oštećenje očnog sočiva, naročito pri profesionalnoj ekspoziciji. Kratki infracrveni zraci, kao i delom srednji infracrveni zraci, mogu pod određenim okolnostima da izazovu ozbiljna oštećenja mrežnjače. Do oštećenja mrežnjače može da dodje pri direktnom posmatranju pomračenja Sunca bez odgovarajuće zaštite oka kada lice koje posmatra pomračenje golim okom biva izloženo intenzivnom infracrvenom zračenju, koje za vreme pomračenja ne primećuje. Njegovo očno sočivo, ponašajući se kao i svako konvergentno sočivo, fokalizuje zrake na mrežnjaču izazivajući njenu termičku koagulaciju u nivou foveje. Kao posledica koagulacije stvara se na mrežnjači ožiljak koji prouzrokuje skotom, sa definitivnim oštećenjem centralnog vida. Pri korišćenju vrlo intenzivnih i koncentrovanih izvora energije, kao što su laseri, kada oko u delu sekunde može da primi veliku dozu infracrvenog zračenja kratkih talasnih dužina, takodje može da dodje do ozbiljnih oštećenja mrežnjače.

Sunčanica. - Infracrveni zraci kratkih talasnih dužina iz Sunčeva spektra mogu svojim direktnim delovanjem na moždane opne i mozak da izazove njihovu hiperemiju, a ta hiperemija da prouzrokuje vrlo ozbiljno oboljenje poznato pod nazivom sunčanica ili insolacija, koje može da ima i letalni ishod. Sunčanica se obično javlja u toku letnjih meseci, kada je zračenje najintenzivnije, ako se glava i potiljak nezaštićeni duže izkažu Sunčevim zracima. Oboljenje karakteriše opšti simptomi kao što su jaka glavobolja, hipertermija, smetenost, vrtoglavica i nesvestica, a u težim slučajevima i pad krvnog pritiska, midrijaza, cijanoza i koma.

ULTRALJUBIČASTO ZRAČENJE

Ultraljubičasti zraci čine onaj deo elektromagnetskog spektra koji se nalazi između najkraćih talasnih dužina vidljive svetlosti i X zraka, i obuhvata oblast talasnih dužina od 400 do 100 nanometara. Prema svom biološkom dejstvu podeljeni su u tri oblasti:

- UVA zraci - od 400 do 315 nm
- UVB zraci - od 315 do 280 nm
- UVC zraci - od 280 do 100 nm.

Biološki efekti koji se javljaju pri ekspoziciji ljudskog organizma UV zracima najizraženiji su na koži i na oku. Svaku od navedenih oblasti UV zračenja karakteriše određena vrsta reakcija: pigmentacija, eritem i bakterioidno dejstvo.

Izlaganje kože zracima UVA oblasti izaziva hiperpigmentaciju bez prethodne pojave eritema. Reakcija je reverzibilna, javlja se posle kratke latencije od jednog časa ili kraće (Kruzen) i predstavlja normalnu fotohemijsku reakciju koja ne izaziva štetne posledice. Osetljivost kože varira u znatnoj meri od debljine rožastog sloja, kao i od količine pigmenta u površnom sloju kože. Hronična ekspozicija masivnim dozama zraka UVA oblasti može, prema nekim autorima (Slinye i Feasier) da izazove oštećenje očnog sočiva.

Zraci UVB oblasti imaju najizrazitiji biološki efekat. Na koži izazivaju eritem, a pri intenzivnoj ekspoziciji i opekotine II stepena. Potrebno je napomenuti da Sunčevi zraci talasnih dužina većih od 330 nanometara nemaju eritemotogeno dejstvo, a kako najkraće talasne dužine zraka Sunčeve svetlosti

koji prodiru do Zemljine površine iznose 290 nanometara, samo mali deo Sunčeve svetlosti ima to dejstvo. Znatnija melanizacija, kao i zadebljanje rožastog sloja epiderma obezbeđuju veću zaštitu od UVB zračenja pri dočnijoj ekspoziciji. Dugotrajna ekspozicija ultraljubičastom zračenju stvara ireverzibilna oštećenja kože čiji je ishod pojava "staračke kože": koža postaje zadebljana i naborana, posuta mnogim pigmentovanim mrljama. Te promene se zapažaju naročito na delovima tela koji su izloženi suncu (solarna ili staračka elastoza). Pored eritemskog dejstva, većina zraka iz ovog dela spektra poseduje i kancerogeno dejstvo. Smatra se da oni deluju bilo direktno na molekul dezoksiribonukleinske kiseline, bilo na potencijalne onkogene intracelularne viruse (WHO, 1975). Registrovani su mnogi slučajevi raka kože kod ljudi koji su u toku dugog vremenskog perioda bili profesionalno izloženi direktnom dejstvu Sunčevih zraka. Zapažena je, takodje, povećana učestalost raka kože kod radnika koji na otvorenom prostoru rade sa katranom, benzopirenom, metilholantrenom i drugim jedinjenjima antracena, zbog čega se s pravom postavlja pitanje u kojoj meri u tim slučajevima ultraljubičasti zraci igraju ulogu u nastajanju malignih alteracija.

Pigmentacija i eritem predstavljaju normalne reakcije koje se pojavljuju posle ekscesivne ekspozicije UV zracima. Medjutim, kod nekih osoba može da dodje do preosetljivosti kože prema UV zracima. Ta pojava, poznata kao fotosenzibilizacija, predstavlja nenormalnu reakciju i može da bude izazvana dozama koje su daleko slabije od onih koje izazivaju jedva primetan eritem, ili, pak, pri ekspoziciji zracima talasnih dužina koje ne dovode do pojave eritema. Fotosenzibilizacija može da bude endogenog ili egzogenog porekla. Fotosenzibilizacija endogenog porekla javlja se kod lica koja boluju od nekih kongenitalnih ili stečenih oboljenja i kod kojih ekspozicija UV zracima može da izazove urtikarijalne, vezikulozne, bulozne ili ekcematozne promene ili da dovede do pogoršanja postojećeg oboljenja. Opisane promene javljaju se kod obolelih od kongenitalne ili stečene porfirije, dok kod oboljenja kao što su herpes, polimorfni eritem, limfogranulomatoza i neki ekcemi, dolazi do pogoršanja bolesti. Povećana osetljivost može da nastane i zbog poremećaja pigmentacije, kako je zapaženo kod albinizma i vitiliga. Kod obolelih od Lupus eritematodesa, koji su posebno osetljivi prema UV zracima, ekspozicija tim zracima može da dovede do znatnog pogoršanja bolesti. Fotosenzibilizacija egzogenog porekla može se ispoljiti u obliku fototoksične reakcije ili u obliku fotoalergije. Fototoksične reakcije nastaju posle eksterne ili interne primene nekih antibiotika (tetraciklin), antibakterijskih sredstava (sulfonamidi), antimikotičnih sredstava (griseofulvin), sedativa (fenotijazin) ili diuretika (hlortijazid). Fototoksičnu reakciju mogu izazvati i neke biljke (smokva, lipa), neke boje (eozin, bengalsko crvenilo, fluorescein) i derivati katrana. Reakcije nastaju neposredno posle intenzivne ekspozicije UV zracima i manifestuju se u obliku eritema, edema i bula. Za razliku od prethodnih reakcija, fotoalergija zavisi od izmenjene reaktivnosti organizma, koja nastaje kao posledica senzibilizacije prema odredjenim hemijskim supstancijama (hapteni) koje se stvaraju pod dejstvom UV zračenja. Fotoalergiju može da izazove i vrlo slaba ekspozicija, a reakcija se manifestuje 24 do 48 časova posle ekspozicije UV zracima i senzibilizujućem haptenu, traje obično oko desetak dana i manifestuje se svrabom, hiperhidrozom i ekcematoznim promenama. Prema nekim autorima (Turk), u osnovi mehanizma nastajanja fotoalergije leži ćelijska imuna reakcija u kojoj pojedine hemijske supstance, koje se fiksiraju za proteine kože, stiču antigena svojstva posle aktivacije zracima odredjenih talasnih dužina.

Organ vida je veoma osetljiv prema zracima UVB dela spektra. Ekscesivna akutna ekspozicija oka tim zracima dovodi do pojave fotokeratokonjunktivitisa, poznatog pod nazivom "snežno slepilo". Efekat zračenja se ispoljava posle latentnog perioda čija dužina zavisi od intenziteta zračenja i može iznositi od 30 minuta do 24 časa, najčešće 6 do 12 časova. Simptomi se ispoljavaju u vidu osećaja stranog tela u oku, jakim bolovima i blefarospazmu. Sim-

ptomi traju dva do tri dana i iščezavaju, obično, bez posledica. Pri radu sa veštačkim izvorima UV zraka pojava keratokonjunktivitisa sreće se kod radnika zaposlenih na zavarivanju, ako rade bez odgovarajuće zaštitne opreme. Za razliku od kože, vežnjača i rožnjača ne pokazuju povećanu otpornost pri ponovnoj ekspoziciji UV zracima.

Još jedan važan, veoma koristan, biološki efekat zraka UVB dela spektra je njihova sposobnost da proizvode vitamin D iz ergosterola u ljudskoj koži. Na toj reakciji se zasniva korisno dejstvo Sunčevih zraka u prevenciji i lečenju rahitisa dece koja imaju deficitarnu vitaminsku ishranu. U ljudskoj koži ta reakcija nastaje konverzijom ergosterola u vitamin D₃ pod uticajem UV zraka.

Zraci UVC oblasti karakteristični su po svome baktericidnom i germicidnom dejstvu, kao i po nekim indirektnim efektima koje, pod određenim uslovima, mogu da izazovu. Zraci talasnih dužina kraći od 250 nanometara mogu da izazovu disocijaciju molekula kiseonika, a izvesni reaktivni atomi stvoreni tom disocijacijom mogu rekombinacijom da stvore jednu još aktivniju ali nestabilniju i toksičnu supstanciju - ozon. Zraci talasnih dužina između 220 i 170 nanometara su najefikasniji za stvaranje ozona. Na isti način, zraci talasnih dužina ispod 160 nanometara mogu da disociraju molekule azota, koji u prisustvu kiseonika mogu da formiraju azotne okside. Interakcija zraka UVC oblasti sa parama hlorisanih ugljovodonika, kao što su tetrahlorugljenik i trihloretilen, izaziva razlaganje tih ugljovodonika uz oslobađanje hlorovodonika i fosgena.

LASERSKO ZRAČENJE

Laseri su uređaji koji predstavljaju generatore intenzivnog monohromatskog, koherentnog zračenja optičkog dela spektra. Za razliku od konvencionalnih izvora svetlosti kao što su, na primer, električna sijalica ili fluorescentna lampa kod kojih emitovane zrake čine fotoni različitih talasnih dužina koji se prostiru u svim pravcima, kod laserskih zraka svi fotoni, zahvaljujući svojevrsnom fizičkom fenomenu stimulisane emisije, imaju istu talasnu dužinu, istu frekvenciju i nalaze se vremenski i prostorno u istoj fazi, sačinjavajući vrlo uzak snop jednobojnih, strogo usmerenih zraka. Reč laser predstavlja akronim engleskih reči Light Amplification (by) Stimulated Emission (of) Radiation, što u prevodu znači: amplifikacija svetlosti putem stimulisane emisije zračenja. Oblast talasnih dužina laserskog zračenja kreće se, danas, od infracrvenog, preko vidljivog dela spektra, do kratkih ultraljubičastih zraka.

Štetni biološki efekti laserskih zraka zavise od njihovih fizikalnih osobina: talasne dužine, energije, trajanja i gustine snage, kao i određenih bioloških faktora: pigmentacije, prokrveljenosti i spektralne apsorpcije energije. Najvažniji organi i tkiva na kojima lasersko zračenje ispoljava svoje štetno dejstvo su oko i koža.

Oštećenja oka mogu se ispoljiti na rožnjači, očnom sočivu ili mrežnjači, što zavisi od talasnih dužina zraka koje propušta dioptrička sredina oka (dioptrička sredina oka propušta elektromagnetske zrake talasnih dužina, od približno, 400 nanometara do 1450 nanometara). Zrake talasnih dužina kraćih od 400 nanometara apsorbuju spoljni slojevi rožnjače, što znači da laserski zraci ultraljubičastog dela spektra izazivaju, prvenstveno, oštećenja rožnjače. Laserski zraci koje propušta dioptrička sredina oka (vidljivi zraci i infracrveni zraci kraćih talasnih dužina) stvaraju na mrežnjači, fokusiranjem kroz očno sočivo, intenzivnu koncentraciju svetlosne energije koja može da bude i sto hiljada puta veća od koncentracije energije obične svetlosti. Zbog tog fo-

kusirajućeg efekta oko je daleko najosetljiviji i najugroženiji deo čovječjeg tela. Apsorbovana energija preobraća se u toplotu koja denaturacijom belančevina izaziva fotoagulaciju u tački apsorpcije, dovodeći do gubitka vida na oštećenom mestu. Termalne opekotine mrežnjače mogu pri pokretima oka imati multipli karakter i biti naročito opasne ako zahvate centralnu zonu mrežnjače (foveu). Zraci infracrvenog dela spektra mogu da izazovu i zamućenje očnog sočiva.

Opasnost od nastajanja oštećenja kože znatno je manja u odnosu na oštećenja oka, jer, da bi došlo do bilo kakvog приметnog oštećenja kože potrebna je znatno veća gustina energije zračenja od one koja može izazvati oštećenja oka. Promene se manifestuju u vidu površnih ili dubokih opekotina. Pri pojavi dubokih opekotina mogu da budu oštećeni i krvni sudovi.

O potencijalnim kumulativnim efektima laserskog zračenja ima malo podataka, dok njihov uticaj na pojavu malignih alteracija pri ekspoziciji zracima UVB dela spektra nije isključen (WHO, 1982). Na osnovu eksperimentalnih podataka na životinjama nije zapažen njihov uticaj na nastajanje genetskih promena.

Pored direktnog laserskog zračenja određenu opasnost predstavlja i reflektovano zračenje, čiji intenzitet može da bude blizak intenzitetu direktnog zračenja.

ULTRAZVUK

Ultrazvuk predstavlja mehaničke talase koji se stvaraju u opsegu frekvencija koje se nalaze iznad gornje granice čujnosti za ljudsko uvo i leže u opsegu od oko 16 kiloherca do jednog gigaherca (10^9 Hz). U zavisnosti od frekvencija opseg ultrazvučnih talasa podeljen je u tri oblasti:

- niske ultrazvučne frekvencije - od 16 kHz do 100 kHz
- srednje ultrazvučne frekvencije - od 100 kHz do 10 MHz
- visoke ultrazvučne frekvencije - od 10 MHz do 1 GHz.

Za razliku od elektromagnetskih talasa, čije prostiranje nije vezano za prisustvo materijalne sredine, ultrazvučni talasi se mogu prostirati isključivo kroz materijalnu sredinu, a ta sredina može da bude svako agregatno stanje materije.

Ultrazvuk niskih frekvencija može da izazove kako opšte, tako i lokalno dejstvo na organizam. U prvom slučaju prenošenjem kroz vazduh, a u drugom, kontaktom tela sa generatorom ultrazvuka. Kod lica koja rade sa niskofrekventnim ultrazvučnim uređajima i koja su istovremeno izložena buci koja prevazilazi nivoe od 100 do 110 decibela mogu se zapaziti poremećaji u auditivnim i vestibularnim funkcijama i poremećaji u centralnom i perifernom nervnom sistemu. Oni se ispoljavaju u osećaju pritiska u ušima, nestabilnom hodu, vrtoglavici, abnormalnom dremljivošću u toku dana i anomalijama sna. Često se javlja hipotonija i oslabljeni kožni refleksi, preosetljivost na svetlost i povišen prag osetljivosti na bol. Opisani simptomi imaju tranzitorni karakter i, po pravilu, iščezavaju po prestanku rada sa ultrazvučnim generatorima. Ultrazvuk visokih frekvencija i malih intenziteta kroz vazduh se praktički ne prostire i pri profesionalnoj ekspoziciji predstavlja izvestan zdravstveni rizik samo u slučaju direktnog kontakta radnikovog tela i generatora ultrazvuka, do koga može da dodje, na primer, pod lošim radnim uslovima. Kada se koriste moćni generatori od 6 do 7 W/cm², pri kontaktnom dejstvu ultrazvuka može da dodje do oštećenja perifernog nervnog sistema: parcijalne pareze šaka, prstiju i podlaktica. Kod medicinskog osoblja takva oštećenja mogućna su samo

u slučaju grubog narušavanja odredjenih mera predostrožnosti pri radu na terapijskoj primeni ultrazvučnih uredjaja.

Pri terapijskoj primeni ultrazvuka može po nekad da dodje do nepoželjnih reakcija organizma, naročito kod kardiolabilnih bolesnika. Nekoliko časova posle terapijske primene može da dodje do ubrzanja pulsa, pojave ekstrasistola, bolnih senzacija u predlu srca i otežanog disanja. Navedene srčane tegobe nastaju vazokonstrikcijom koronarnih sudova usled podražaja nervnih receptora, kao i nespecifičnim podražajnim delovanjem belančevina. Pri terapijskoj primeni ultrazvuka dolazi, kako se smatra, do promena u procentualnom odnosu pojedinih frakcija belančevina, kao i do njihove delimične denaturacije u području primene. Te belančevine deluju kao parenteralna aplikacija proteina i izazivaju nespecifično podražajno delovanje. Time se može protumačiti i vremenski razmak od četiri do šest časova koji obično protekne od primene ultrazvučnih vibracija do pojave srčanih senzacija. Zapaženo je da terapijska primena ultrazvuka može da izazove srčane smetnje i kod starijih lica koja ranije nisu imala nikakvih srčanih tegoba. Zapažene su, takodje, u izvesnim slučajevima i urtikarijalne reakcije, kao znak preosetljivosti organizma na terapiju ultrazvukom. Pri primeni terapije ultrazvukom može u redjim slučajevima da dodje i do opekotina kože pri ekscesivnoj primeni ultrazvučnih vibracija, naročito kod bolesnika s oštećenim senzibilitetom kože.

Pitanje da li se pri ekspoziciji gravidnih žena ultrazvuku mogu očekivati štetni efekti na fetusu postavlja se od 1956. godine, kada je ultrazvuk uveden u akušersku praksu. Na osnovu mnogih ispitivanja došlo se do zaključka da se pri dijagnostičkoj primeni ultrazvuka pojave abnormalnosti na fetusu ne pojavljuju u većem broju nego u opštoj populaciji.

LITERATURA

Radiotalasi i mikritalasi

1. Bush D.: Health Hazards from Microwave Exposure, Health Phys. (1975), Vol. 29, 431.
2. Gordon Z.: Occupational health aspects of radio-frequency electromagnetic radiation. In: Ergonomics and physical environmental factors, Geneva, International Labour Office (1970), 159 (Occupational Safety and Health Series, No. 21).
3. Djordjević Z. i Kilibarda M.: Biološki efekti mikrotalasnog zračenja i zaštita, Zbornik radova IV jugoslovenskog kongresa za medicinu rada, Sarajevo (1975), 197-200.
4. Djordjević Z.: Uticaj radarskog zračenja na zdravstveno stanje ljudstva u našim radarskim stanicama, Magistarski rad, 1969. godine.
5. Michaelson S.: Microwave and Radiofrequency Radiation, Nonionizing Radiation Protection, WHO Regional Publication No. 10, Copenhagen (1982) 97-174.
6. Michaux P., Curtes J. et Duval J.: Le risque professionnel des personnels exposés aux ondes électromagnétiques de haute fréquence dans les stations émettrices de radio-télévision, Arch. malad. prof. (1969), 30, 6, 363.
7. Mikolajczyk H.: Biological effects of radiofrequency radiation, In: Occupational Health and Safety, ILO, Geneva (1972), Vol. II, 1178.

8. Miličević S.: Dejstvo radio-talasa na organizam čoveka i mere zaštite, *Ergonomija* (1978), 5, 37-43.
9. Report on an Evaluation Group: Health Hazards from Exposure to Microwaves, *Health Phys.* (1975), Vol. 28, 69-73.
10. World Health Organisation: Radiofrequency and Microwaves, *Environmental Health Criteria* 16, WHO, Geneva (1981).

Infracrveno zračenje

11. Commission internationale de l'éclairage, *International Illumination Vocabulary*, CIE, Paris (1970), Publication No. 17.
12. Dérobert L.: Rayons infrarouges, In: *Intoxications et maladies professionnelles*, Editions médicales Flammarion, Paris (1954), 1409.
13. Despres S.: Effets biologiques des infrarouges et des ultraviolets, *Radio-protection*, Dunod (1978), Vol. 13 (1), 11.
14. Jammet H.: Progress Report of the IRPA Study Group on Protection against nonionizing Radiation, IRPA, 4th International Congress, Paris (1977).
15. Kruzen F., Kottke F., Ellwood P.: Physics of infrared Heating, In: *Handbook of Physical Medicine and Rehabilitation*, W.B. Saunders Comp. Philadelphia (1971) 265.
16. Kuhn H.: Cataracte par rayonnements non ionisants, In: *Encyclopedie de médecine, d'hygiene et de sécurité du travail*, BIT, Geneve (1973), Vol. 1, 338.
17. Matelski I.: Infrared Radiation, In: *Occupational Health and Safety*, ILO, Geneve (1972), Vol. II, 1181.
18. Merte H.: Profesionalna oštećenja oka, *Münchener Medizinische Wochenschrift*, 109.10, 501 (prevod).
19. Moss C., Ellis R., Murray W. and Parr W.: Infrared Radiation, In: *Non-ionizing Radiation Protection*, WHO Regional Publications, European Series No. 10, Copenhagen (1982), 69-95.
20. Zoz N., Taubkina A., Šafranov B.: Gigieničeskie aspekti biologičeskogo deistvija UV izlučenija na proizvodstve, *Gigiena truda i prof. zabojevanija* (1975), 11, 1.

Ultraljubičasto zračenje

21. Dérobert L.: Rayons ultraviolets, In: *Intoxications et maladies professionnelles*, Editions médicales Flammarion, Paris (1954), 1423.
22. World Health Organisation, *Environmental Health Criteria* 14, WHO, Geneva (1979).
23. Koller J.: Ultraviolet radiation, In: *Encyclopedia americana*, New York (1976), Vol. 27, 353c.
24. Matelski I.: Rayonnement ultraviolet, In: *Médecine, Hygiene, Sécurité du travail*, ILO, Geneve (1974), Vol. II, 1386.

25. Olishifski J.: Fundamentals of Industrial Hygiene, National Safety Council, Chicago (1971), 213.
26. Overviews on Nonionizing Radiation, International Radiation Protection Association, printed by U.S. Department of Health, Education and Welfare (1977), 30.
27. Thürauf J.: Health Effects of Exposure to Ultraviolet and Infrared Radiation, Int. Arch. Occup. Environ. Health (1979), Vol. 43 (1), 69.
28. Turk J.: Réactions immunologiques cutanéescusées par des agents physiques, In: Immunologie médicale, Masson et Cie, Paris (1971), 156.
29. Faber M.: Ultraviolet Radiation, In: Nonionizing Radiation Protection, WHO Regional Publications, European Series No. 10, Copenhagen (1982), 9-38.

Lasersko zračenje

30. Cabal C. et Gaillard J.: Risques liés a l'utilisation du rayon Laser, Arch. Malad. Prof. (1975), 36, 9, 545-546.
31. Clarke A.: Laser Effects on the Eye, Arch. Environ. Health (1969), 18, 3, 413-415.
32. Dettmers D.: Opasnosti od laserovih zračenja, Jug. i inostr. dokum. zašt. na radu, Niš (1969), 5, 10, 35-64.
33. Granier R. et Kellershohn C.: Effects oculaires de la lumiere laser, Arch. Malad. Prof. (1968), 29, 7-8, 389-402.
34. Goldman L., Michaelson S., Rockwell R., Sliney D., Tengroth B., and Wolbarsht M.: Optical Radiation with particular Reference to Lasers, Non-ionizing Radiation Protection, WHO Regional Publications, European Series No. 10, Copenhagen (1982), 39-68.
35. Herrypon H.: Le Laser, ses principes, ses dangers, les moyens de protection, Arch. Malad. Prof. (1968), 29, 6, 315-318.
36. LaNier M., Vernon R. and Powrl H.: A Preliminary Study of National Health Hazards from Lasers, Amer. Ind. Hyg. Assoc. J. (1970), 31, 1, 60-68.
37. Miličević S., Petrović D., Giser A.: Dejstvo laserskog zračenja na organizam čoveka i mere zaštite, Vojnosanit. pregled (1973), 30, 2, 111-114.
38. Pletnev S., Abdurazakov M.: Opyt organizacii lazernoj operacionnoj i mero-prijatija po obespečeniju bezopasnosti personala, Gig. i san. (1976), 2, 102-104.
39. Powel Ch., Murray B.: Laser Problems as Related to the Nation's Health, Arch. Environ. Health (1969), 18, 3, 448-452.
40. Sliney D.: Environmental Health Hazards from Highpowered Infrared Laser Devices, Arch. Environ. Health (1975), 30, 4, 174-179.
41. Terill J.: Microwaves, Laser and X-rays. Adverse Reactions due to Occupational Exposures, Arch. Environ. Health (1969), 19, 2, 265-271.

Ultrazvuk

42. Bernardi P., Boggio M., Checucci A., Grandolfo M., Righi E., Tamburello C., Zanolli R.: Criteri in tema di sorveglianza per rischio da ultrasuoni in soggetti professionalmente esposti, *La medicina del lavoro* (1982), Vol. 73, No. 2, 152-155.
43. Gerasimova E.: izučenie vlijanija ultrazvuka na simpatikoadrenalovuju sistemu u rabočih, *Gigiena i sanitarija* (1973), 7, 23.
44. Gligorijević J.: Biološko dejstvo ultrazvuka i radijacioni rizik, X simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Arandjelovac (1979), 233-239.
45. Hill C. and Haar ter G.: Ultrasound, In: nonionizing Radiation Protection, WHO Regional Publications, European Series No. 10, Copenhagen (1982), 199-228.
46. Kruzen F., Kottke F., Ellwood P.: Ultrasonic Diathermy, In: Handbook of Physical Medicine and Rehabilitation, W.B. Saunders Company, Philadelphia (1971), 297.
47. Kurjak A., Breyer B.: Da li dijagnostički ultrazvuk može dovesti do oštećenja ploda i majke, VII simpozij Jugoslavenskog društva za zaštitu od zračenja, Kaštel-Stari (1973), 558-563.
48. Lundström B.: Effects of local vibration transmitted from ultrasonic devices on vibrotactile perception in the hands of the therapists, *Ergonomics* (1985), Vol. 28 (5), 793-803.
49. Radovanović R., Simonović J. i Jeremić M.: Biofizičke karakteristike ultrazvuka, XI jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja, Portorož (1981), 681-686.
50. World Health Organisation: Ultrasound, Environmental Health Criteria 22, WHO, Geneve (1982).

U uvodu svoje knjige "Medical Applications of Microwave Imaging" (IEEE Press, 1986), L.E. Larsen i J.H. Jacobi ističu da je često u prošlosti oduševljenje novim tehnologijama išlo ispred procene zdravstvenog rizika koje su one nosile sobom". Ovo je svakako tačno ako se misli na primenu izvora visokofrekventnih elektromagnetskih zračenja u medicini. U savremenoj medicini posebno se široko primenjuju mikrotalasi, pri čemu se mogući štetni efekti ovog zračenja uglavnom ignorišu. Jedan od razloga za to je relativno komplikovano određivanje stepena ekspozicije u polju mikrotalasnog zračenja. Tako, naprimer, za mikrotalase ne postoje analogni bedž dozimetri kao za X-zračenje. Budući da primena mikrotalasa u medicini postaje sve šira, problem zaštite pacijenata i medicinskog osoblja od prekomernog i štetnog delovanja mikrotalasa, postaje sve veći. Pored već klasične primene mikrotalasa u fizijatrijskoj praksi, danas se mikrotalasi sve više koriste u terapiji raznih sistemskih oboljenja, a posebno u terapiji malignih oboljenja. Poslednjih godina se u svetu intenzivno radi na razvoju novih metoda za primenu mikrotalasa u dijagnostičke svrhe. Korišćenje radarskih odraza sa unutrašnjih organa i tkiva pruža velike mogućnosti i na usavršavanju ove neinvazivne dijagnostičke metode danas se užurbano radi u svetu. Prvi rezultati primene mikrotalasa u dijagnostici su veoma ohrabrujući i sasvim je izvesno da će u bliskoj budućnosti mikrotalasa dijagnostika zauzeti značajno mesto u nizu savremenih dijagnostičkih metoda. Uporedo sa sve širom primenom izvora mikrotalasnog zračenja u medicini treba očekivati i narastanje problema zaštite medicinskog osoblja od neželjenih posledica prekomernog izlaganja mikrotalasnog zračenju. Da bi se ovom osoblju pružila sigurna zaštita na njihovim radnim mestima, neophodno je dobro poznavanje fizičkih karakteristika i bioloških efekata mikrotalasnog zračenja. I ovde, kao i u drugim oblastima medicine, važi pravilo: najveće greške se prave iz neznanja. Iz tih razloga ovde će ukratko biti iznete neke osnovne činjenice o mikrotalasa i njihovim biološkim efektima.

Brojni eksperimentalni radovi na životinjama pokazali su da mikrotalaso zračenje može da izazove značajne funkcionalne promene, organska oštećenja, pa i smrt organizma. Ova istraživanja nesumnjivo su pružila dragocene informacije o biološkim efektima mikrotalasa. Medjutim, varijacije u reakcijama oglednih životinja na mikrotalase, bitno se razlikuju od onih koje se mogu očekivati u čovečijem organizmu, tako da je jednostavna ekstrapolacija ovih rezultata nemoguća. Biološki efekti mikrotalasa zavise, sa jedne strane od njihove frekvencije i gustine snage polja, a sa druge, od fizičkih karakteristika organizma izloženog zračenju. Baranski i Čerski smatraju da interakcija živog organizma sa mikrotalasa može da se svede u osnovi na sledeća tri fenomena:

1. Prodiranje mikrotalasa u biološki materijal i njihovo prostiranje u njemu;
2. primarna interakcija mikrotalasa sa živom materijom (mehanizam mikrotalasne apsorpcije) i 3. sekundarni efekti izazvani primarnom interakcijom. Fenomen apsorpcije mikrotalasnog zračenja u živom organizmu može se smatrati osnovnim procesom u interakciji mikrotalasa i organizovane žive materije. Kada se dovoljna količina mikrotalasne energije apsorbuje u biološkom materijalu i preobrati u toplotu, dolazi do odgovarajućeg porasta telesne temperature. Termičke povrede izazvane izlaganjem eksperimentalnih životinja visokim intenzitetima mikrotalasnog zračenja variraju od lokalnih i površnih lezija, do dubokih nekroza i smrti usled termičkog šoka. Oštećenja su zapažana u unutrašnjim organima eksperimentalnih životinja koje su bile izlagane relativno niskim intenzitetima zračenja, pri čemu nije dolazilo do porasta telesne temperature. Kratkotrajno izlaganje visokim intenzitetima mikrotalasnog zračenja dovodi do

oštećenja oka (katarakte, retinalne lezije i dr.) kao i do inhibicije spermatogeneze pa čak i trajnih lezija parenhima testisa. Takođe je dokazano da hronično izlaganje niskim intenzitetima mikrotalasnog zračenja izaziva poremećaje u funkcijama hematopoetskog, imunološkog i nervnog sistema. Kliničke studije na grupama ljudi profesionalno eksponiranih mikrotalasnom zračenju pokazale su da u uslovima hronične ekspozicije relativno niskim intenzitetima mikrotalasnog zračenja postoji mogućnost za značajne poremećaje zdravstvenog stanja ljudi. Simptomatologija koja obuhvata glavobolje, pojačan zamor, opadanje intelektualnih sposobnosti, delimični gubitak memorije, iritabilnost, sniženje seksualne aktivnosti i sl., često se sreće u osoba koje rade sa izvorima mikrotalasnog zračenja. Ovi podaci ukazuju da neurovegetativni sistem reaguje na mikrotalase čak i u uslovima izlaganja niskim intenzitetima zračenja. U krvi ovih ispitanika često se nalaze promene u proteinskim frakcijama, jonima, nivoima hormona i enzima. Leukopenije i drugi poremećaji u krvnim elementima takođe su karakteristični nalazi u ovih ispitanika. U poslednjih pet godina niz epidemioloških studija je posvećen istraživanju kauzalne veze između malignih procesa i ekspozicije mikrotalasima. Tako su Wertheimer i Leeper (1986) utvrdili da postoji značajna učestanost leukemija u dece na području Denovera (SAD) u blizini snažnih izvora elektromagnetskog zračenja. Szmigelski i saradnici (1987) su opisali ubrzani razvoj karcinoma kože u miševa izlaganih mikrotalasima, a takođe i značajnu učestanost malignih oboljenja u vojnih radarista u Poljskoj.

Naša ranija eksperimentalna istraživanja efekata mikrotalase dijatermije koja se rutinski primenjuje u fizijatrijskoj praksi pokazala su da se radi o dozama zračenja koja mogu da dovedu do teških oštećenja živog tkiva.

Rezultati navedenih istraživanja ukazuju na potrebu da se preduzimaju potrebne mere zaštite medicinskog osoblja koje neposredno radi sa izvorima mikrotalasnog zračenja. Ove mere zaštite mogu se u osnovi svesti na sledeće: 1. Sistematska periodična zdravstvena kontrola zaposlenog osoblja, 2. hermetizacija i ekranizacija otvorenih izvora zračenja u medicinskim ustanovama i 3. obavezno korišćenje ličnih zaštitnih sredstava pri radu sa uređajima koji emituju mikrotalase zračenje.

ZADACI SLUŽBE ZAŠTITE OD ZRAČENJA U RADNOJ ORGANIZACIJI

1. UVOD

Zadatak službe zaštite od zračenja je sprovođenje i kontrola mera zaštite od zračenja u radnoj organizaciji. Iako su mere zaštite od zračenja u oblasti medicinske primene izvora jonizujućih zračenja veoma različite, u zavisnosti od toga da li je u pitanju rad sa zatvorenim ili otvorenim izvorima zračenja, dijagnostika ili terapija, zadaci službe zaštite od zračenja u velikoj meri su zajednički.

U većini medicinskih organizacija služba zaštite od zračenja svedena je na jednu osobu - lice zaduženo za nadzor i sprovođenje mera zaštite od zračenja. Naravno, kod većih ustanova, posebno pri terapijskoj primeni jonizujućih zračenja, postoje formirane službe - timovi specijalista zaštite od zračenja.

Lice zaduženo za zaštitu od zračenja ("zaduženo lice") ili služba zaštite tesno saradjuje, kako sa stručnom ustanovom, ovlašćenom za poslove zaštite od zračenja, tako i sa sanitarnim inspektoratom pri republičkom (pokrajinskom) komitetu za poslove zdravlja, a koji je nadležan za sprovođenje Zakona i propisa donetih na osnovu istog. U tom smislu osnovni zadatak zaduženog lica ili službe je dobro poznavanje zakonskih propisa iz oblasti primene izvora jonizujućih zračenja i zaštite.

2. USLOVI KOJE MORA DA ISPUNJAVA ZADUŽENO LICE ILI SLUŽBA ZAŠTITE od ZRAČENJA

U važećim zakonskim propisima nije dovoljno jasno iskazano koje zdravstvene uslove moraju ispunjavati lica zadužena za nadzor i sprovođenje mera zaštite od zračenja. Takodje, nije jasno definisano da li zaduženo lice spada u profesionalno izložena lica, što uslovljava redovnu kontrolu ličnog ozračivanja i redovan medicinski nadzor. Ipak, može se reći da lica zadužena za zaštitu od zračenja u medicinskim organizacijama treba da budu svrstana u kategoriju profesionalno izloženih osoba, što znači da budu pod ličnom, dozimetrijskom i medicinskom kontrolom i da ispunjavaju zdravstvene uslove, saglasno Pravilniku o stručnoj spremi, zdravstvenim uslovima i zdravstvenim pregledima lica koja mogu raditi sa izvorima jonizujućih zračenja (br. 616, "Službeni list SFRJ, br. 40/86).

U pogledu stručne spreme, na poslovima zaštite od zračenja u medicinskim ustanovama mogu raditi: nuklearni fizičar, radiohemičar, specijalista medicinske nuklearne fizike, magistar nauka za primenu radionuklida i zaštitu, specijalista medicine rada, interne medicine ili radiologije sa užom specijalizacijom iz radiološke zaštite, lice koje ima VI ili IV stepen stručne špreme radiološkog smera i druga lica koja imaju najmanje IV stepen stručne spreme, a koja su u toku školovanja ili dopunskog obrazovanja osposobljena za rad na poslovima zaštite od jonizujućih zračenja i koja imaju dokaze o tome.

Lica koja su stručno osposobljena za rad sa izvorima jonizujućih zračenja u skladu sa propisima koji su važili do stupanja na snagu važećih propisa i imaju dokaz o tome mogu i dalje raditi sa izvorima jonizujućih zračenja.

3. DUŽNOSTI LICA ILI SLUŽBI ZADUŽENIH ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

U cilju sprovođenja mera i nadzora nad merama zaštite od zračenja u radnoj organizaciji zaduženo lice ili služba ima više značajnih zadataka. Ovi zadaci predstavljaju zakonske obaveze radne organizacije koje je ova, važećom odlukom, prenela na zaduženo lice ili službu. Naravno, odgovornost radne organizacije, odnosno njenih rukovodećih organa, ostaje.

Značajan element zaštite od zračenja je pravilno vođenje evidencije, saglasno Pravilniku o načinu vođenja evidencije o izvorima jonizujućeg zračenja i o zračenju stanovništva i lica koja su pri radu izložena dejstvu jonizujućih zračenja (br. 612, "Službeni list SFRJ", br. 40/86).

Unutar medicinske ustanove zaduženo lice ili služba dužni su da vode sledeće evidencije:

1. Rendgen-aparata, akceleratora i drugih uređaja i mašina koje proizvode ili mogu da prouzrokuju jonizujuća zračenja, koja sadrži sledeće podatke:
 - a/ redni broj,
 - b/ firmu, odnosno naziv proizvođača,
 - c/ vrstu aparata, uređaja, mašine,
 - d/ namenu aparata, uređaja, mašine,
 - e/ fabrički broj,
 - f/ broj i datum atesta,
 - g/ broj i datum isporuke, odnosno prijema,
 - h/ broj i datum odobrenja o nabavci ili korišćenju,
 - i/ datum i rezultate izvršene dozimetrijske kontrole,
 - j/ datum i razloge za trajni prestanak korišćenja,
 - k/ energiju i vrstu zračenja u (eV), odnosno maksimalni anodni napon u kV i struju u mA.
2. Radioaktivnih materija i uređaja sa radioaktivnim materijama, koja sadrži sledeće podatke:
 - a/ redni broj,
 - b/ naziv radionuklida, radiofarmaceutika, odnosno uređaja,
 - c/ namenu,
 - d/ firmu, odnosno naziv proizvođača, odnosno isporučioća,
 - e/ datum proizvodnje, isporuke, odnosno početka korišćenja,
 - f/ aktivnost radioaktivne materije u momentu proizvodnje, isporuke, odnosno početka korišćenja,
 - g/ aktivnost radioaktivne materije u momentu prestanka korišćenja,
 - h/ aktivnost radioaktivne otpadne materije ispuštene u čovekovu sredinu,
 - i/ aktivnost radioaktivne materije koja je uskladištena.
3. Evidenciju o isporukama i pošiljkama pri razmeni ličnih dozimetara i lekar-skim pregledima profesionalno izloženih lica;
4. Evidenciju o radijacionim akcidentima.

Pored gornjih obaveza, dužnost zaduženog lica ili službe je da radnike koji su profesionalno izloženi jonizujućem zračenju snabde ličnim dozimetrima i zaštitnim sredstvima, da obezbede proveru i ispravnost tih sredstava i da se stara da ih radnici pravilno koriste pri radu, kao i da preduzima mere zaštite tih radnika i da, po potrebi, upućuje pojedina lica na pregled i lečenje.

Značajna obaveza zaduženog lica ili službe je i obezbeđenje propisanih merenja kontaminacije stvari, površina i vazduha u prostorijama gde se radi sa izvorima jonizujućih zračenja, kao i povremena proveravanja mernih instrumenata i zaštitnih sredstava.

Pored gornjih, zaduženo lice ili služba ima i sledeće posebne dužnosti:

- da, u svojoj organizaciji, obezbedi ili napravi Pravilnik o radu, sa gledišta zaštite od zračenja;
- da prati i kontroliše sprovođenje pravila o radu sa gledišta zaštite;
- da obezbedi izradu ili izradi Postupak u slučaju akcidenta i da o tome upozna lica koja rade sa izvorima jonizujućeg zračenja;
- da posle zamene R β -cevi pribavi rešenje za novu R β -cev. Isto važi i posle izmena na R β -aparatu ili pri premeštanju istog u drugu prostoriju (ovo, naravno, ne važi za pokretne rendgene);
- da, u slučaju otudjenja ili rashodovanja R β -aparata, u roku od 15 dana, obavesti organ koji je izdao odobrenje za korišćenje, kao i stručnu ustanovu koja profesionalno vrši poslove zaštite od zračenja;
- da sve učesnike u dijagnostičkoj ili terapijskoj proceduri informiše o vrsti i stepenu radijacionog rizika, kako u normalnim, tako i u akcidentalnim uslovima.

Posebni zadaci pri radu sa otvorenim izvorima jonizujućih zračenja

Kako je sprovođenje i kontrola mera zaštite od zračenja u radu radioizotopne laboratorije kompleksniji problem, dužnosti zaduženog lica ili službe su znatno složenije, a sastoje se od sledećih glavnih aktivnosti:

- najmanje jedanput godišnje izvršiti inventarisanje svih radioaktivnih materija, sa podacima o tehničkoj ispravnosti i stanju zaštite od zračenja;
- sistem nabavke, čuvanja i transporta radioaktivnih materija treba biti takav da minimizira verovatnoću gubljenja ili nekontrolisanog korišćenja istih;
- opasnost od požara u prostoru gde se čuvaju izvori svesti na najmanju meru, a u slučaju požara obezbediti prvenstveno u gašenju tih prostora;
- pojedinačne sudove za čuvanje izvora zračenja, kao i vrata spremišta ili pregrada obeležiti vidljivim natpisom iz kojeg se lako saznaje naziv i aktivnost radioaktivnog izotopa, kao i vrsta opasnosti;
- redovno vršiti preglede radioizotopne laboratorije i proveravati da li su rezerve izotopa i radioaktivni otpaci adekvatno uskladišteni i čuvani;
- onemogućiti neovlašćen pristup izvorima jonizujućeg zračenja, a radioizotope čuvati u zaključanim prostorima;
- ispitivati kvalitet i funkcionalnost sanitarnog propusnika;
- kontrolisati ispravnost ventilacije;
- obezbediti dva puta godišnje dozimetrijsku kontrolu i proveru kvaliteta izvedenih mera zaštite od zračenja od strane ovlašćene ustanove.

LITERATURA

1. Zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja i o posebnim merama sigurnosti pri korišćenju nuklearne energije, Službeni list SFRJ br. 62/84.
2. Zbirka propisa - pravilnika, Službeni list SFRJ, br. 40/86.
3. Protection Against Ionizing Radiation from External Sources Used in Medicine, ICRP publication No. 33, Vol. 9, No. 1, 1982, Pergamon-Press.