

REVIEW  
UDC 614.875

## ZAŠTITA OD NEIONIZIRAJUĆIH ZRAČENJA U MEDICINI

J. GOLDONI

*Institut za medicinska istraživanja i  
medicinu rada, Zagreb, Hrvatska*

Primljeno 3. prosinca 1993.

Neionizirajuće zračenje koristi se u medicini za brojne dijagnostičke, terapijske i druge svrhe, a područja primjene svakodnevno se proširuju. Još su nedovoljno poznati svi zdravstveni rizici vezani uz primjenu ovih izvora. Ovisno o intenzitetu ozračenosti i trajanju izloženosti, neionizirajuće zračenje može proizvesti akutne učinke na ciljnim organima. Postoji i mogućnost oštećenja zdravlja pri dugotrajnoj izloženosti manjim intenzitetima, što je važno prilikom profesionalnog izlaganja medicinskog osoblja. Zato je nužno poznavati moguće štetne učinke neionizirajućeg zračenja, kao i mjere zaštite koje povećavaju sigurnost pacijenta, ali i osoblja koje primjenjuje zračenje.

*Ključne riječi:*  
elektromagnetsko zračenje, izvori neionizirajućeg zračenja, medicina rada, mjere zaštite, profesionalni zdravstveni rizici, ultrazvuk

Prema definiciji Međunarodnog društva za zaštitu od zračenja, neionizirajućim zračenjem naziva se dio elektromagnetskog spektra koji u primarnoj interakciji s tkivima ne ionizira atome i molekule materije. To su ultraljubičasto zračenje, vidljiva svjetlost, infracrveno zračenje i radiovalovi (mikrovalovi i radiofrekvencije). Prema mehanizmu interakcije s tkivima u ovu se skupinu ubraja i ultrazvuk. U novije vrijeme osobitu pozornost privlače mogući zdravstveni učinci elektromagnetskih polja vrlo niskih frekvencija (50-60 Hz) te snažnih magnetskih i elektros-tatskih polja (1).

Elektromagnetski valovi javljaju se u prirodi u vrlo širokom frekvencijskom pojasu. Zemljina ionosfera djelotvorno štiti biosferu od elektromagnetskog zračenja koje dopire iz svemira. Emisija Sunca i zvijezda u radiovalnom području pridonosi fonu prirodnog zračenja s  $10 \text{ pW/cm}^2$ . Elektromagnetska polja jačih intenziteta mogu nastati kao posljedica prirodnih električnih fenomena. Ipak, jakost prirodnih polja i zračenja razmjerno je niska.

Umjetni izvori elektromagnetskog zračenja povećavaju izloženost stanovništva i za nekoliko redova veličine iznad razine prirodnog zračenja. Kako su broj i vrsta umjetnih izvora u zadnjih nekoliko desetljeća višestruko povećani, čovjek se još nije uspio biološki prilagoditi dosegnutim intenzitetima elektromagnetskih polja. Sve šira primjena elektromagnetske energije dovela je do novog tipa onečišćenja okoliša, nazvanog »elektromagnetsko onečišćenje«. Problem onečišćenja okoliša elektromagnetskim zračenjem veći je u zemljama s višim stupnjem tehnološkog razvoja, no zbog oblikovanja i postavljanja izvora sve jačih snaga i dometa, pitanje učinaka zračenja postaje sveopće.

Svaki uređaj koji koristi ili proizvodi električnu energiju formira oko sebe elektromagnetska polja te se može smatrati izvorom elektromagnetskih valova. Zbog fizikalnih zakona, unatoč usavršenosti izvedbe elektroničke opreme, nešto slučajnog zračenja uvijek se propušta u okoliš, što treba uzeti u obzir prilikom procjene uređaja kao izvora zračenja.

U novije vrijeme izvori neionizirajućeg zračenja sve se više koriste u medicini za brojne dijagnostičke i terapijske namjene, ali i za sterilizaciju materijala i opreme. Novi uređaji pojavljuju se svakodnevno u gotovo svim granama medicine. U isto vrijeme primjenjuju se izvori već dugo prisutni u dijagnostici i terapiji, iako često s nedovoljnim spoznajama o mogućim štetnim zdravstvenim učincima na pacijenta, ali i na medicinsko osoblje koje radi s izvorom (2).

Ovaj prilog je pisan s namjerom da sistematizira postojeće izvore neionizirajućeg zračenja u medicini prema njihovim fizikalnim karakteristikama i namjeni te da upozna profesionalno izloženo osoblje s potencijalnim rizicima za zdravlje i mjerama zaštite pri radu.

## IZVORI ELEKTROMAGNETSKOG NEIONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

### *Ultraljubičasto zračenje*

Ultraljubičasto zračenje (Ultraviolet - UV) dio je elektromagnetskog spektra koji obuhvaća valne duljine od 100 do 400 nm. Donja granica od 100 nm ima energiju fotona od 12 eV iznad koje nastaje ionizacija u biološkim tkivima, dok se gornja granica preklapa s najkraćim valnim duljinama vidljivog spektra. Već iz navedenih fizikalnih osobina jasno je zašto je UV zračenje od posebnog značenja - ono je granično područje između neionizirajućeg i ionizirajućeg dijela elektromagnetskog spektra te zbog svoje visoke energije fotona izaziva snažnu interakciju sa živom tvari (3). Srećom, slaba prodornost UV zračenja ograničava većinu primarnih bioloških odgovora na površinska tkiva. Poznati su fototoksični, fotoalergijski i fotokarcinogeni učinci, a osjetljivi organi su oko i koža. Treba imati na umu da je čitava populacija svakodnevno izložena visokim dozama prirodnog UV zračenja, što se mora uzimati u obzir prilikom izrade zaštitnih standarda.



Kao umjetni izvori UV zračenja u medicini se koriste živine lampe (niskog, srednjeg i visokog tlaka živine pare) i fluorescentne cijevi.

Živine lampe niskog tlaka živine pare ili »germicidne lampe« emitiraju UV zračenje valne duljine od 254 nm. Upotrebljavaju se za sterilizaciju zraka u bolnicama, laboratorijima i radnim prostorima za proizvodnju lijekova. Rijetko se primjenjuju u terapiji. Živine lampe srednjeg i visokog tlaka emitiraju pojedine valne duljine iz sva tri područja UV spektra (UVA: 315-400 nm, UVB: 280-315 nm i UVC: 100-280 nm), a upotrebljavaju se u terapiji različitih kožnih bolesti, u stomatologiji i kozmetologiji.

Fluorescentne lampe također mogu emitirati elektromagnetske valove različitih valnih duljina, a najčešće se koriste u dijagnostici i terapiji kožnih bolesti i za kozmetičke svrhe.

Zaštitni ekspozicijski standardi u svijetu osnivaju se na minimalnoj dozi potrebnoj za nastanak eritema i minimalnoj dozi za razvoj fotokeratitisa (tablica 1. i 2). Prema tome, uzimaju se u obzir samo akutni učinci UV zračenja, a nijedan danas primjenjivani standard ne uključuje evaluaciju rizika od karcinogeneze. Najšire korišten standard (tablica 1) odnosi se na monokromatske izvore zračenja. Maksimalno dopuštena doza za širokopojasne izvore računa se zbrajanjem relativnih doprinosa svih komponenti spektra.

Tablica 1. Dopuštena 8-satna doza i relativni spektralni učinak odabranih monokromatskih valnih duljina  
*Table 1 Permissible 8-hour dose and relative spectral effect of selected monochromatic wavelengths*

Valna duljina (nm) <i>Wavelength</i>	Dopuštena 8-satna doza (J <sup>2</sup> /m) <i>Permissible 8-hour dose</i>	Relativni spektralni učinak <i>Relative spectral effect</i>
200	1000	0.03
210	400	0.075
220	250	0.12
230	160	0.19
240	100	0.30
250	70	0.43
254	60	0.50
260	46	0.65
270	30	1.00
280	34	0.88
290	47	0.64
300	100	0.30
305	500	0.06
310	2.000	0.015
315	10.000	0.003

Tablica 2. Maksimalno dopušteno vrijeme izloženosti za odabrane vrijednosti efektivne ozračenosti

Table 2 Maximal exposure duration for selected values of effective irradiation

Trajanje izloženosti po danu <i>Exposure duration per day</i>	Efektivna ozračenost (W/m <sup>2</sup> ) <i>Effective irradiation</i>
4 h	1.0
3 h	2.0
2 h	4.0
1 h	8.0
30 min	17.0
15 min	33.0
10 min	50.0
5 min	100.0
1 min	500.0
30 sec	1.000.0

U sobama za terapiju UV zračenjem treba voditi računa o pojavi refleksije od glatkih i sjajnih površina. Osoblje u prostoriji treba se zadržavati, ako je to moguće, što dalje od direktnog snopa zračenja i ne gledati u izvor zračenja. Noviji izvori su zaštićeni već samom konstrukcijom i obloženi staklenim pokrovom koji selektivno propušta samo potrebne valne duljine i intenzitete zračenja. Ako zaštitno staklo pukne, emisija se automatski prekida. Kod izvora koji ne emitiraju i vidljivu svjetlost, ugrađen je zvučni signal za označavanje početka emisije zračenja. Snažni izvori UV zračenja proizvode ozon te je potrebna prikladna ventilacija. Ako tehničke mjere nisu dovoljne, osoblje se mora koristiti osobnim zaštitnim sredstvima – naočale, maske, rukavice.

Kontraindikacije za rad u zoni UV zračenja jesu bolesti oka, dokazana preosjetljivost kože na UV zračenje i teže bolesti kože.

### *Laseri*

Laseri su uređaji koji emitiraju snažnu, koherentnu i usmjerenu struju svjetla (4). Primarni učinci lasera na tkiva, ponajprije kožu i oko, jesu termalni, termo-akustički i fotokemijski, no ne treba zanemariti ni sekundarne učinke koji mogu nastati kao rezultat neispravnih uređaja ili rukovanja – električni šok zbog nedovoljne izolacije visokonaponskih komponenti, ozljede od eksplozije lučnih lampi, opekline kriogenim plinovima koji služe za hlađenje dijelova laserskog sistema, respiratorni incidenti kod obrade isparavajućih materijala i sl.

Prilikom procjene zdravstvenog rizika od primjene lasera analiziraju se tri aspekta: fizikalne osobine lasera, karakteristike radnog okoliša i stupanj izobrazbe osoba koje se koriste laserom ili ulaze u zonu laserskog zračenja.



*Fizikalne osobine lasera.* Prema izmjerenim fizikalnim karakteristikama svakog uređaja laseri se klasificiraju u jednu od četiri kategorije: nerizični (kategorija 1), izvori niskog (kategorija 2), srednjeg (kategorije 3a i 3b) i visokog rizika (kategorija 4). Parametri na temelju kojih se izvori uvrštavaju u jednu od nabrojanih kategorija jesu valna duljina, tip emisije (kontinuirani ili impulsi), prosječne i vršne snage, za impulsno emitiranje-trajanje i frekvencija impulsa, ukupno trajanje emisije.

*Karakteristike radnog okoliša.* Analiza radnog okoliša obavlja se ako je laser kategoriziran u neku od rizičnih skupina izvora. Razmatra se posebno primjena lasera u otvorenim i zatvorenim prostorijama, mogućnost fokusiranih, zakrivljenih i difuznih refleksija od okolnih površina te se ocjenjuje prisutnost ostalih štetnih činilaca na radnim mjestima.

*Stupanj izobrazbe osoblja.* Osobe koje rade s laserom, kao i one koje na drugi način dolaze u blizinu laserskih uređaja, utječu na opseg zaštitnih mjera na radnom mjestu. U obzir se uzimaju ovi činioci: zrelost i stupanj izobrazbe korisnika lasera, svijest o profesionalnom riziku i znanje o mjerama sigurnosti, broj osoba za koji se očekuje da će se naći u blizini primarnog ili reflektiranog snopa.

U medicini su se laseri počeli primjenjivati u oftalmologiji za fotokoagulaciju retine, a zatim i u kirurgiji, osobito mikrokirurgiji i neurokirurgiji. Danas se brojne dijagnostičke i terapijske tehnike neprekidno ispituju i uvode u sva područja medicine.

Pri radu s laserima poduzimaju se zaštitne mjere kojima se sprečava akcidentalna izloženost direktnom laserskom snopu ili reflektiranom zračenju, a također uklanja opasnost od sekundarnih štetnih učinaka.

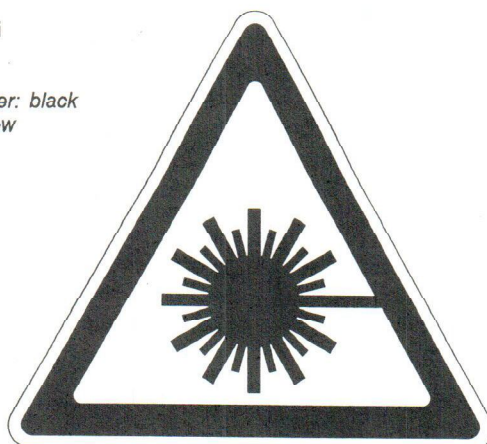
### ***Tehničke zaštitne mjere***

Laserski medicinski uređaji imaju ugrađene sigurnosne uređaje, uključujući specijalne protupožarne mehanizme, upozoravajuće oznake (slika 1) i zaštitne filtre za operatera i pacijenta. Oni moraju biti izdvojeni u zasebnu prostoriju u koju je pristup strogo nadziran. Rad s laserskim uređajima mora biti automatiziran, a uređaj izvana dobro zaštićen. Zidovi, podovi i stropovi moraju biti od materijala koji onemogućava refleksiju laserskog zračenja. Sve polirane površine (kvake na vratima, ručice na prozorima) trebaju biti pokriven materijalima crne boje, a prozori crnim zavjesama. Prostor treba osigurati od opasnosti od visokog napona i požara te osigurati dobru ventilaciju.

*Osobna zaštitna sredstva.* Njima se osigurava zaštita očiju i kože. Za zaštitu očiju koriste se specijalne naočale s filtrima koji imaju visoku moć apsorpcije valnih duljina karakterističnih za odgovarajući laserski uređaj. Naočale moraju dobro prianjati uz lice. Kod novijih uređaja postoje ugrađeni zasloni koji automatski zaklanjaju oko u trenutku emisije. Ostala zaštitna sredstva su rukavice, maske i odijela, a koriste se kod laserskih uređaja visokog rizika.

Simboli i rub: crni  
Pozadina: žuta

Symbol and border: black  
Background: yellow



Slika 1. Upozoravajuća oznaka za blizinu izvora laserskog zračenja  
Figure 1 Laser warning sign

*Izobrazba.* Osobe koje rade s laserskim uređajima trebaju biti svjesne profesionalnog rizika i educirane o mjerama zaštite koje trebaju poduzimati s obzirom na tip lasera kojim se koriste. Također moraju znati prepoznati svaki nepravilan rad uređaja koji može rezultirati nekontroliranom i povećanom ekspozicijom pacijenta ili ostalih osoba u radnoj prostoriji.

*Medicinski nadzor.* Osobe koje rade s laserom trebaju biti pod redovnim liječničkim nadzorom. Pri prethodnom pregledu treba isključiti postojanje medicinskih kontraindikacija za rad s laserom – bolesti oka, kože, kronične bolesti srca i pluća, endokrine bolesti. U slučaju akcidentalne izloženosti odmah treba obaviti izvanredni medicinski pregled, posebno struktura oka.

## INFRACRVENO ZRAČENJE

Infracrveno (IC) zračenje ili »tamno toplinsko zračenje« pokriva područje elektromagnetskog spektra valnih duljina od 780 nm do 1 mm. Emitiraju ga sva tijela zagrijana iznad apsolutne nule. Osnovni biološki učinak je zagrijavanje tkiva, tj. veće doze IC zračenja pridonose ili uzrokuju toplinski stres. Kod slabijih intenziteta ciljni organi djelovanja su oko i koža, no još se istražuje postoji li rizik oštećenja i ostalih tkiva te koji je mehanizam i prag oštećenja kod poznatih akutnih i kroničnih učinaka (5). Kako je IC zračenje u prirodi vezano za vidljivu svjetlost, oko ima ugrađen mehanizam obrane sužavanjem zjenica. Međutim, kod umjetnih izvora uz IC zračenje ne mora uvijek postojati i emisija vidljive svjetlosti. Oko



raširenih zjenica fokusira izvor i tako apsorbira znatnu količinu energije zračenja, što može dovesti do oštećenja praktički svih struktura oka, a posebno leće.

U medicini se IC zračenje koristi u dijagnostičke i terapijske svrhe. U dijagnostici se primjenjuju »pasivni« uređaji koji detektiraju emitirano zračenje i »aktivni« uređaji koji istodobno emitiraju i primaju IC zračenje. Za potrebe dijagnostike uglavnom se koristi zračenje valnih duljina od 1.100 nm, tj. blisko IC zračenje. Primjenjuje se u dijagnostici bolesti krvožilnog sustava (IC fotografija, IC pletizmografija) te u kliničkoj termografiji i termoviziji gdje se registrira temperaturna distribucija na koži detekcijom IC zračenja emitiranog iz organizma. Ova se tehnika danas koristi u dijagnostici i za procjenu uspješnosti terapije kod upalnih procesa tkiva i organa, tumora (dojke, štitnjače), reumatskih i degenerativnih bolesti, promjena krvno-žilnog sustava, neuroloških bolesti itd.

U terapiji se IC zračenje koristi za zagrijavanje tkiva, i to površinsko, jer ne prodire u kožu više od 1 do 2 mm. Koriste se »svjetleći izvori« IC zračenja (»Solus lampe«) i »nesvjetleći izvori« u obliku užarene metalne spirale pokrivene porculanskim, keramičkim ili metalnim štitnikom, koje emitiraju isključivo IC zračenje bez vidljive svjetlosti. Izvori IC zračenja koriste se za uklanjanje mišićnih spazama i boli, a u kombinaciji s drugim oblicima terapije za poboljšavanje resorpcije otekline na ekstremitetima, ubrzavanje zarastanja rana (dekubitusa, varikoznih ulcera i sl.) i postoperativnog tijeka u kirurgiji itd.

Standardi za profesionalnu izloženost baziraju se na pragu toplinskog oštećenja mrežnice i kasnog učinka na leću. Parametri potrebni za izračunavanje dopuštenog vremena izlaganja jesu ukupno zračenje izvora, valna duljina emitiranog zračenja, udaljenost oka od izvora i kut gledanja. Za snažne izvore koji ne emitiraju vidljivu svjetlost vrši se korekcija na promjer zjenice od 7 mm.

Zaštitne mjere su tehničke, osobne i medicinske. Od tehničkih mjera primjenjuje se izolacija izvora te postavljanje zaslona koji reflektiraju i/ili apsorbiraju toplinsko zračenje. Aluminij je najpogodniji materijal za refleksiju, dok se apsorbirajući zasloni izrađuju od posebnih vrsta stakla i plastike iz kojih se apsorbirana toplina odvodi ventilacijom ili cirkulirajućom hladnom vodom.

Osoblje koje primjenjuje IC zračenje u terapijske svrhe treba se što kraće zadržavati u blizini izvora, ne treba gledati direktno u izvor niti stavljati nezaštićene ruke u snop zračenja. Prilikom rada s jakim izvorima potrebno je upotrijebiti zaštitna sredstva – naočale i rukavice. Medicinskim pregledom prije zapošljavanja treba isključiti postojanje kontraindikacija za rad s izvorima IC zračenja – funkcionalnih i/ili morfoloških lezija oka i kože.

## MIKROVALOVI I RADIOFREKVENCije

Mikrovalovi (MV) i radiofrekvencije (RF) obuhvaćaju opseg frekvencija od 300 kHz do 300 GHz. U ozračenom biološkom tkivu MV i RF energija najvećim se dijelom pretvara u toplinu, što se iskorištava u terapijske svrhe, no također

predstavlja i mogući zdravstveni rizik. Apsorbirana toplinska energija nejednoliko je raspoređena u organizmu zbog različitih dielektričkih osobina pojedinih tkiva. Zbog toga mogu nastati neočekivano teška oštećenja dubokih tkiva i organa koji ne posjeduju mehanizme za odvođenje topline, a bez znakova općeg pregrijavanja organizma (6, 7).

Izvori MV i RF koriste se u medicini za niz namjena. U dijagnostičke svrhe koriste se bežična veza za praćenje EKG-a, pulsa i disanja osoba u kretanju (biotelemetrija), mikrovalna apekskardiografija, mikrovalni doplerski radar, mikrovalna kompjutorska tomografija i sl. Terapijska primjena je šira, a najčešće se koriste kratkovalna (40,68 MHz; 27,12 MHz; 13,56 MHz) i mikrovalna dijatermija (2,45 GHz; 915 MHz; 433,9 MHz) za dubinsko zagrijavanje tkiva, posebno u terapiji lezija (uganuća, iščašenja, ruptura, upala, hematoma, otoka, ozljeda tetiva, ukočenosti zglobova) i degenerativnih bolesti mišićno-zglobnog sustava te za ubrzanje regeneracije perifernih živaca. Također se koriste elektrokirurški instrumenti, a u novije vrijeme se mikrovalovima izazvana hipertermija koristi kao adjuvantna terapija u onkologiji. Sve se češće upotrebljavaju mikrovalni autoklavi za sterilizaciju instrumenata i drugih materijala te mikrovalni grijači za odmrzavanje organa za transplantaciju. Treba imati na umu da uz hotimičnu i korisnu izloženost mikrovalovima i radiofrekvencijama uvijek postoji i incidentna ekspozicija nastala refleksijom, raspršivanjem i/ili gubitkom elektromagnetske energije zbog nesavršenosti u konstrukciji uređaja.

Mjere zaštite pacijenata od MV i RF zračenja u medicini su ove:

- osoblje koje radi s izvorima MV i RF treba biti upoznato s mogućim štetnim učincima, a terapijske indikacije treba svesti na najnužnije,
- ne ozračivati područje glave i vrata (moguća oštećenja očiju i moždanog tkiva) niti područje zdjelice (moguća oštećenja reproduktivnih organa),
- ne ozračivati djecu i stare osobe, kao ni pacijente s ugrađenim pacemakerom,
- ne ozračivati područja sa slabijom cirkulacijom, kod svježeg krvarenja, akutnih upalnih procesa, oko metalnih implantanata, tuberkulozne upale kostiju, kao ni kosti u rastu,
- oprezno ozračivati osobe koje uzimaju analgetike i narkotike, a ne zračiti pacijente koji su bili pod terapijom X-zračenjem unatrag tri mjeseca,
- prije terapije zahtijevati da pacijenti skinu sve ukrasne predmete od metala, aparat za pojačanje sluha i sl.

Osoblje koje radi u sobama za MV i RF dijatermiju izloženo je katkad i visokim razinama ovog zračenja. Zračenje jednim dijelom potječe od samog aplikatora, jer se određena količina elektromagnetske energije ne apsorbira u tijelu pacijenta, već se kao »zalutalo« zračenje širi prostorijom. Jedan dio zračenja potječe i od nezaštićenih vodova aparata za dijatermiju. Zračenje se često refleksijom od zidova i pojačava, a može prodirati i u susjedne prostorije te ometati rad drugih uređaja: EKG-a, EMG-a, EEG-a. Zbog mogućnosti interferencije u prostoriji za dijatermiju smije biti uključen samo jedan aparat.

Gustoću snage elektromagnetske energije u prostorijama gdje se koriste izvori MV i RF zračenja treba odrediti mjerenjem, a ako ona prelazi dopuštene vrijednosti, treba poduzeti odgovarajuće tehničke mjere zaštite. Treba označiti područje u



kojima je vrijeme boravka ograničeno. Na vrata prostorija treba postaviti upozoravajući znak za MV i RF zračenje (slika 2), sa zabranom ulaska osobama s ugrađenim pacemakerom.

Simbol: crni  
Rub: žuti

Symbol: black  
Border: yellow



Slika 2. Upozoravajuća oznaka za blizinu izvora radiofrekventnog zračenja  
Figure 2 High level radiofrequency warning sign

U polju MT i RF zračenja ne smiju raditi osobe s organskim i težim progresivnim funkcionalnim oštećenjima živčanog sustava, s promjenama u prozirnim medijima oka, poremećajima u hematopoezi, endokrinim bolestima, aktivnom tuberkulozom i malignim bolestima. Privremena kontraindikacija za rad s izvorima MV i RF zračenja je trudnoća.

## MAGNETSKA POLJA

Magnetsko polje nastaje prilikom prolaska električne struje. Statičko magnetsko polje formira se oko istosmjernje struje, dok izmjenična struja proizvodi promjenjivo magnetsko polje. Osnovne fizikalne veličine koje opisuju magnetsko polje jesu jakost polja  $H$  (mjerna jedinica: A/m) i gustoća magnetskog toka  $B$  (mjerna jedinica: T – tesla) (8).

Magnetska polja primjenjuju se u medicini za dijagnostičke i terapijske svrhe. Najpoznatije i najraširenije dijagnostičke procedure su MRI (Magnetic Resonance Imaging) i MRS (Magnetic Resonance Spectroscopy). U terapijske svrhe najčešće se koriste pulsirajuća magnetska polja za ubrzanje zacjeljivanja koštanih i mekih tkiva. Primjenjuju se uređaji s prosječnom gustoćom magnetskog toka od 0,3 mT i s vršnim vrijednostima od 2,5 mT, što je mnogo manje nego kod dijagnostičkih postupaka (9, 10).

### *Magnetska rezonancija*

Prilikom slikanja organa magnetskom rezonancijom (MRI) i ispitivanja metabolizma magnetskom spektroskopijom (MRS) pacijent se izlaže, u trajanju do 1 sata, jakom statičkom i promjenjivom magnetskom polju te radiofrekventnom zračenju (9).

*Statičko magnetsko polje* izaziva zdravstvene učinke zbog redukcije protoka krvi kroz aortu, povećanog krvnog tlaka, aritmije i promjene nekih mentalnih funkcija. Gornja granica izloženosti za pacijente je, prema većini nacionalnih zaštitnih standarda, gustoća magnetskog toka od 2,5 T. Za osoblje koje radi s uređajem i izlaže se dugotrajno ovom štetnom činiocu, dopuštene granice su 0,02 T za čitavo tijelo i 0,2 T za ruke i šake. Ove se vrijednosti smiju povisiti do 0,2 T za čitavo tijelo i 2 T za ruke, ali samo do ukupnog vremena manjeg od 15 minuta. Nakon ovakve povišene izloženosti mora slijediti razmak od barem 1 sata do sljedeće povećane ekspozicije.

*Promjenjivo magnetsko polje* stimulira periferne živce i mišiće, posebno srčani mišić. Dopuštene granice izloženosti ovise o karakteristikama polja, primarno o trajanju promjena gustoće magnetskog toka (obično u milisekundama), ali i o obliku emitiranih valova. Ipak, može se općenito reći da gustoća magnetskog toka ne smije biti veća od 3 T/s, što se odnosi i na pacijente, i na osoblje.

*Radiofrekventno zračenje* povećava toplinsko opterećenje organizma s posljedičnim porastom protoka krvi kroz kožu i znojenjem, ali i s drugim pojavama vezanim uz psihičke i metaboličke direktne učinke. Izloženost RF zračenju mora biti takva da porast temperature pacijenta, mjereno na koži i rektalno, ne bude veći od 1 °C.

Zaštitne mjere koje treba provoditi prilikom primjene magnetske rezonancije moraju se striktno poštovati, jer se radi o novoj tehnologiji čiji su zdravstveni rizici nedovoljno ispitani. Pacijenti koji se izlažu ovoj kombinaciji zračenja trebaju imati prave indikacije, a osobito treba paziti na rizične skupine – djecu, trudnice, stare osobe, osobe s poremećajima termoregulacije, osobe s povišenom tjelesnom temperaturom i pacijente pod terapijom. Pacemakeri, posebno oni unipolarnog tipa, vrlo su osjetljivi na elektromagnetsko zračenje zbog moguće interferencije. Isto vrijedi za ostale električki, mehanički ili magnetski aktivne implantante čija se funkcija može poremetiti zbog elektromagnetske interferencije, pregrijavanja ili mehaničke sile pomaka u jakom magnetskom polju.

Zbog sigurnosnih razloga na radnim mjestima uz uređaje koji rade na principu magnetske rezonancije treba:

- postaviti upozoravajuće znakove za opasnost od radiofrekventnog zračenja i jakog magnetskog polja,
- postaviti upozoravajuće znakove da magnetska i RF polja mogu ometati rad pacemakera i drugih elektroničkih naprava,
- zone u kojima gustoća magnetskog toka prelazi 1,5 mT moraju biti označene, a pristup u njih nadziran,



- u zonama gdje gustoća magnetskog toka prelazi 10 mT mora se nalaziti pribor za reanimaciju s defibrilatorom,
- statičko magnetsko polje nigdje ne smije prelaziti 2,5 T,
- promjenjivo magnetsko polje ne smije prelaziti 3 T/s,
- na prostorima s neograničenim vremenom boravka statičko magnetsko polje mora biti ispod 0,5 mT,
- iz blizine izvora treba ukloniti sve metalne predmete (škare, skalpele, igle, kopče) kako ne bi poremetili polje,
- ako se ne može nadzirati kretanje u rizičnim zonama, treba postaviti zaslon od feromagnetskog materijala oko izvora kako bi se ograničilo prostorno širenje polja.

## OSTALI IZVORI NEIONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

### *Ultrazvuk*

Sve češćom primjenom ultrazvuka u industriji, prometu, kućanstvima, a osobito u medicini, značajno je povećana izloženost ljudi ovom čimbeniku, a time i zabrinutost zbog posljedičnih zdravstvenih učinaka, posebno na organizam fetusa (11).

Ultrazvučne (UZ) vibracije u zraku smatraju se analognim buci, a prisutne su u brojnim industrijskim procesima kao što su čišćenje i odmašćivanje metala, zavarivanje, galvanizacija i kataliza kemijskih procesa. Ne treba zanemariti činjenicu da ultrazvuk često nastaje kao popratna pojava buke, npr. kod rada motora na mlazni pogon, turbina, snažnih pneumatskih motora i sl.

Ultrazvuk vođen tekućinom najčešće se primjenjuje u medicini - dijagnostici, terapiji i kirurgiji. U dijagnostičke svrhe koristi se ultrazvučni izvor s impulsnom emisijom (obično trajanje impulsa iznosi nekoliko  $\mu$ s, u intervalima reda veličine ms) i amplitudno moduliranim valovima, dok se u terapiji primjenjuju kontinuirani ultrazvučni valovi. Važno je naglasiti: iako dijagnostički uređaji emitiraju ultrazvuk prosječne snage oko 1000 puta manje nego terapijski, vršne su vrijednosti impulsa u dijagnostici za red veličine više nego u terapijskim aplikacijama.

Iako dosad nisu dokazani štetni učinci pri izloženosti ljudi ultrazvuku, treba odmah naglasiti da u ovom području nije ni bilo adekvatno izvedenih epidemioloških studija, što zabrinjava s obzirom na činjenicu da u tehnološki razvijenim zemljama više gotovo i nema ljudskog fetusa koji nije barem jednokratno bio izložen ultrazvuku. Većina dosad opisanih promjena pripisuje se porastu temperature u tkivima zbog apsorpcije ultrazvučne energije. Zagrijavanje tkiva je poželjan učinak u većini fizioterapijskih aplikacija ultrazvuka, naravno, ako je ispravno dozirano. U dijagnostičkim aplikacijama razina ulazne energije preniska je da bi izazvala značajan porast temperature u tkivima. Pri profesionalnoj izloženosti, zagrijavanje tkiva može se javiti u kombinaciji s drugim štetnim čimbenicima.

### Mjere zaštite u medicini

Uređaji koji se primjenjuju u dijagnostici i terapiji moraju imati potpunu dokumentaciju o izlaznoj snazi uređaja i svim ostalim tehničkim podacima relevantnim za siguran rad s pacijentima. Oprema mora imati mogućnost regulacije izlazne snage, tako da se s minimumom emisije ultrazvučne energije dobije dijagnostički vrijedna slika ili postigne terapijski učinak. Opremu treba redovito održavati.

Pacijente treba upućivati na UZ dijagnostiku i terapiju samo s pravim medicinskim indikacijama. S obzirom na visoke intenzitete UZ energije, moguće su toplinske ozljede, a poseban oprez potreban je kad se radi o:

- primjeni UZ u blizini kostiju u rastu, zbog mogućeg usporavanja koštanog rasta,
- trudnicama, jer terapijske doze mogu povisiti temperaturu fetusa, s posljedičnim malformacijama,
- aplikaciji UZ u blizini fetalnog ili dječjeg srca, zbog moguće kavitacijske aktivnosti

Trajanje terapijskih, a osobito dijagnostičkih procedura kod trudnica, potrebno je svesti na razumni minimum. Nije dovoljno poznata činjenica kako X zračenje (dijagnostika i terapija), povišena tjelesna temperatura, virusne infekcije i upotreba različitih lijekova, djeluju sinergistički s ultrazvukom. Zato u praksi treba izbjegavati sve UZ aplikacije u kombinaciji s navedenim čimbenicima.

Osoblje koje rukuje UZ uređajima mora biti ispravno educirano o tehnici korištenja aparata i mjerama zaštite tijekom rada. U radu s dijagnostičkim i terapijskim UZ aparatima, ruke operatera su izložene prilikom vođenja UZ sonde, no smatra se da pritom ne postoji osobit zdravstveni rizik. Ipak, opisani su slučajevi ozljeda fizioterapeuta koji su se nepotrebno učestalo izlagali ultrazvuku isprobavajući rad sonde na vlastitoj ruci. Takvu praksu treba svakako izbjegavati.

### LITERATURA

1. *World Health Organization, WHO*. Electromagnetic fields (300 Hz to 300 GHz). Geneva; World Health Organization. Environmental Health Criteria 137, 1993.
2. *Allen SG et al*. Proposals for basic restrictions for protection against occupational exposure to electromagnetic non-ionizing radiations. *Physica Medica* 1991;7:77-89.
3. *World Health Organization*. Ultraviolet radiation. Geneva; World Health Organization. Environmental Health Criteria 14, 1979.
4. *International Labour Organization, ILO*. The use of lasers in the workplace - A practical guide. Geneva; International Labour Office. Occupational Safety and Health Series 68, 1993.
5. *Moss CE, Ellis RJ*. Infrared radiation. U: ur. *Suess M*. Nonionizing Radiation Protection. Copenhagen: World Health Organization, 1982: 69-75.
6. *Saunders RD, Kowalczyk CI, Sienkiewicz ZJ*. Biological effects of non-ionising electromagnetic fields and radiation: III. Radiofrequency and microwave radiation. Chilton; NRPB-R240, 1991.



7. *Goldoni J.* Biomedicinski učinci profesionalne izloženosti mikrovalovima i radiofrekvencijama (Disertacija). Zagreb; Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada Sveučilišta u Zagrebu, 1988.
8. *International Labour Organization, ILO.* Protection of workers from power frequency electric and magnetic fields - A practical guide. Geneva; International Labour Office. Occupational Safety and Health Series 69, 1994.
9. *National Radiological Protection Board.* Board statement on clinical magnetic resonance diagnostic procedures. Chilton; National Radiological Protection Board, 1991.
10. *Sienkiewicz ZJ, Saunders RD, Kowalczyk CI.* Biological effects of exposure to non-ionising electromagnetic fields and radiation: II. Extremely low frequency electric and magnetic fields. Chilton; NRPB-R239; 1991.
11. *World Health Organization, WHO.* Ultrasound. Geneva; World Health Organization. Environmental Health Criteria 22, 1982.

### Summary

## NON-IONIZING RADIATION PROTECTION IN MEDICINE

Non-ionizing radiation is extensively used in medicine for diagnostic and therapeutic purposes. Health risks from exposure to different sources of non-ionizing radiation are still not well known. High exposure to non-ionizing radiation produces acute effects on sensitive organs, mostly depending on radiation intensity, frequency and exposure duration. Prolonged low-level occupational exposure may also be hazardous. It is therefore necessary for the medical personnel to be aware of their occupational risk and to know how to apply protective measures in order to protect own health as well as that of the patients.

#### *Key terms:*

electromagnetic radiation, occupational health, occupational health risks, protective measures, sources of non-ionizing radiation, supersonic vibrations

### Requests for reprints:

Dr J. Goldoni  
Institute for Medical Research  
and Occupational Health  
2 Ksaverska St., POB 291  
41001 Zagreb, Croatia