

DJELOVANJE ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA NA LJUDSKI ORGANIZAM

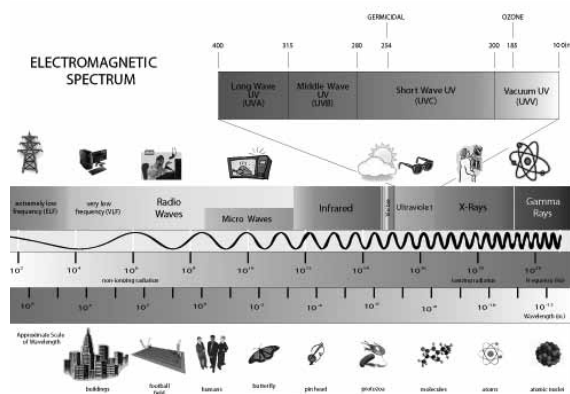
Pod terminom zračenja elektromagnetskog spektra razumijevamo emisiju čestica i/ili elektromagnetskih valova iz nekog radioaktivnog izvora. Razlikujemo prirodna i umjetna elektromagnetska zračenja. Prirodna zračenja su magnetsko polje Zemlje, elektrostatičko polje atmosfere, prirodna radioaktivnost, sunčeva svjetlost i sva radijacija iz svemira. Umjetna zračenja potječu iz antropogenih izvora (izvora načinjenih ljudskom rukom); (tzv. elektrosmog).

Sva zračenja elektromagnetskog spektra biološki su aktivna, tj. u međudjelovanju s biološkim medijem ostvaruju neki biološki učinak. Ovisno o utjecaju na ozračeni biološki medij, spektar elektromagnetskog zračenja uvriježeno je dijeliti na ionizirajuća i neionizirajuća zračenja. No, suvremena radijacijska znanost preferira podjelu elektromagnetskog spektra po frekvencijskim pojasevima (slika 1).

Nađu li se u prostoru dva električki nabijena tijela, ona će međusobno djelovati silom koju nazivamo električna sila. Prostor oko ta dva električki nabijena tijela nazivamo električno polje. Kad se naboji pokrenu (npr. kad poteče struja), inducira se i magnetsko polje. Jakost električnog polja mjeri se u voltima po metru (V/m), dok se gustoća magnetskog toka u čast Nikole Tesle mjeri u jedinicama nazvanim tesla (T). U SAD-u češće se

primjenjuje 10.000 puta manja mjerna jedinica gaus (G), nazvana po čuvenom njemačkom matematičaru i fizičaru Johannu Carlu Friedrichu Gaussu.

Pri prolazu kroz većinu bioloških medija električna polja slabe pa se od njih lakše i štiti, dok magnetska neometano prolaze kroz veliki broj materijala. Kako je već istaknuto, svako međudjelovanje zračenja elektromagnetskog spektra i biološkog medija proizvede neki biološki učinak. Većina tih učinaka su tzv. *nestohastički ili deterministički učinci*, određeni pragom doze ispod kojeg *ne nastaju*. No, ima i tzv. *stohastičkih ili nedeterminističkih učinaka* koji teoretski mogu nastati pri bilo kojoj dozi zračenja većoj od nule.



Slika 1. Elektromagnetski spektar

Liječniku je važno znati da, činjenicom da je nastao biološki učinak, ciljnom tkivu i organizmu u cjelini *nije nužno nanesena zdravstvena šteta*, jer ima i radiobioloških učinaka koji su stimulirajuće prirode. Fenomen stimulirajućeg djelovanja elektromagnetskog zračenja na ciljno tkivo u radijacijskoj medicini poznat je kao *hormeza*, a takvi učinci kao *hormetički učinci*. Dio radiobioloških učinaka nema nikakvog biomedicinskog značenja (npr. ježenje kože pri djelovanju statičkih polja). Dio učinaka elektromagnetskih zračenja šteti ciljnom tkivu i organizmu u cjelini te predstavlja štetnost ili noksu u punom smislu riječi.

Statička električna i magnetska polja, frekvencije 0 Hz, u fizikalnom smislu su jedina prava stacionarna polja. Istraživanja njihovih bioloških učinaka na životinjskom modelu pokazala su da ovakva izlaganja ne djeluju štetno na stanični genom, ne stimuliraju rast tumorskih stanica niti štete endokrinom i srčano-žilnom sustavu, dok su promjene na krvotvornom i imunološkom sustavu prolazne i nekonzistentne. Međutim, EEG-zapisi pokazali su da izlaganja poljima jakosti do 10 kV/m mogu izazvati promjene u električnoj aktivnosti mozga. Epidemiološka istraživanja, provedena na radnicima zaposlenim u proizvodnji trajnih magneta, pokazala su da se u ovoj profesionalnoj kategoriji učestalo javljaju razdražljivost, umor, glavobolje, pomanjkanje teka, poremećaji srčanog ritma, hipotenzija, promjene u EEG-u te svrbež i pečenje kože, listom shvaćeni kao moguća očitovanja kumulativnog učinka dugotrajnog profesionalnog izlaganja statičkim elektromagnetskim poljima. Rizične mogu biti jedino osobe s ugrađenim elektrostimulatorom (pejsmejkerom) ili feromagnetskim implantatom, jer je međudjelovanje s vanjskim poljem u njih vjerojatnije i izraženije, naročito ako se osoba u polju kreće.

Polja iznimno niskih frekvencija sežu od >0 Hz pa do < 300 Hz. U inozemnoj literaturi obično ih se navodi kao ELF polja (od engleskog *Extremely Low Frequency*). Pokusi *in vitro* pokazali su da ELF polja moduliraju tijek iona u stanicama, uzrokujući istjecanje ili tzv. efluks kalcija. U stanicama dolazi do oksidativnog stresa, osloba-

đaju se enzimi kinaze, a biosinteza bjelancevina i transkripcija DNK bivaju promijenjene. Pobornici mišljenja da su ovakva polja karcinogena temelje svoju tezu na navedenim događanjima koja nesporno bitno utječu na proliferaciju i funkciju stanice. Pokusi *in vivo* na životinjskom modelu ukazuju na mogućnost da ova polja djeluju kao promotori i kopromotori tumora, posebice raka dojke. Vjerojatnim mehanizmom djelovanja smatra se poremećaj u diurnalnoj sekreciji melatonina (indola pinealne žlijezde).

Radiofrekvencijska polja nalaze se u frekvencijskom pojasu koji seže od 300 Hz do 300 GigaHertza (GHz; 1 GHz = 10⁹ Hz), pri čemu se polja frekvencija između 300 MegaHertza (MHz; 1 MHz = 10⁶ Hz) i 300 GHz uobičajeno nazivaju **mikrovalnim poljima**.

Pri razmatranju biomedicinskog značaja ovih polja treba imati na umu tri činjenice:

1. da se pri izlaganju elektromagnetskim poljima ovakvih frekvencija ciljno tkivo može pregrijati (hipertermija);
2. da su inducirane struje dovoljno jake da izazovu opekline;
3. da pri istim fizikalnim uvjetima pulsna elektromagnetska polja imaju značajniji biomedicinski učinak od kontinuiranih polja.

Vitalni organski sustavi koji će ostvariti najznačajnije međudjelovanje s vanjskim poljima, električnim i magnetskim poljima, jesu oni koji svoju fiziologiju temelje upravo na elektromagnetskim fenomenima. Riječ je o središnjem živčanom i srčano-žilnom sustavu. Klinička slika odgovara slici neurovegetativne distonije, a uključuje pojavu glavobolja, vrtoglavica, dekoncentracije, zaboravljivosti, poremećaja spavanja te promjene emocionalnog stanja i ponašanja. Sa strane srčano-žilnog sustava dolazi do poremećaja srčanog ritma i krvnog tlaka, a ponekad i do pojave bolova u predjelu srca i grudnog koša. Ove promjene mogu se objektivizirati na EKG-u, mikrocirkulaciji i u hemogramu. Promjene na krvotvornom sustavu prolaznog su karaktera i po svemu sudeći posljedica toplinskog stresa, a ne

samog ozračenja. Općenito se smatra da kratkotrajna izlaganja radiofrekvencijskim zračenjima imaju stimulirajuće (hormetičko) djelovanje na imunološki sustav, dok dugotrajna izlaganja taj sustav suprimiraju pa čak i inhibiraju. Hormetički učinak ovakvog ozračenja danas se uspješno primjenjuje u liječenju imunodeficientnih stanja. Radiofrekvencijska polja imaju i kataraktogeni potencijal. Uz to, moguće je zamucenje kristalnog tijela te patološko mijenjanje spojnice i rožnice. U profesionalaca se registrira slabljenje refleksije svjetla u području "žute pjege" te pojava opaciteta leće.

Reproduktivna toksičnost radiofrekvencijskih polja očituje se kako klinički (testikularna oštećenja), tako i patofiziološki (patološka spermatogeneza/oogeneza) i biokemijski (promjene u serumskim razinama spolnih hormona). Teratogeneza je mahom posljedica inducirane hipertermije za koju se sa sigurnošću zna da je humani teratogen i genotoksik.

U suvremenom svijetu bilježi se vrtoglav porast broja antropogenih izvora zračenja, posebno ovog dijela spektra. Tu se ubrajaju telekomunikacijski sustavi, RTV-odašiljači, radarski detektorski sustavi, sigurnosni i nadzorni sustavi, ali i mobilni telefoni i mikrovalne pećnice.

Posebno je značajna i primjena radiofrekvencijske i mikrovalne energije u medicini. Jednu od prvih jatrogenih primjena ova polja našla su u dijatermijskoj terapiji koja se provodi u sklopu fizikalne medicine i rehabilitacije. Primjena radiovalova u onkologiji osniva se na porastu temperature ciljnog tumorskog tkiva na 430 do 450 C. Još jedan oblik dijagnostičke primjene elektromagnetskog zračenja je nuklearna magnetska rezonancija.

Pod terminom **optički spektar** razumijevamo zračenja valnih duljina od 100 nm do 1 mm. Tu se ubrajaju ultraljubičasto zračenje (UV; od engleskog *ultraviolet*) valne duljine od 100 do 400 nm i frekvencije između 10^{15} i 10^{17} Hz; vidljiva svjetlost (valne duljine između 400 i 760 nm i frekvencije oko 10^{15} Hz) te infracrveno zračenje

(IR; od engleskog *infrared*) valne duljine od 760 nm do 1 mm i frekvencije između 10^{12} i 10^{14} Hz). Ciljni organi svih zračenja optičkog spektra su koža i oko. Pri izlaganju *infracrvenom zračenju* na koži mogu nastati akutne opekline, a na oku oštećenja mrežnice i spojnice oka. Pri izlaganju oka valnim duljinama preko 800 nm u nekih je profesionalnih kategorija zamijećena pojava opaciteta leće i profesionalna katarakta, no u pravilu tek nakon svakodnevnih profesionalnih izlaganja u ukupnom trajanju od 10 do 15 godina. U kategoriji antropogenih izvora optičkog zračenja vidljivog dijela spektra svakako treba izdvojiti laser čija se svojstva danas s uspjehom primjenjuju u suvremenoj medicini. Glavni izvor *ultraljubičastog zračenja* jest Sunce. Zdravstvene rizike nije moguće generalizirati, nego ih treba razmatrati u kontekstu individualne predispozicije i osjetljivosti. Činjenica je, međutim, da UV zračenje izravno pogađa esencijalnu makromolekulu DNK. Ovo oštećenje ne uspijeva se popraviti te se smatra ključnim mutagenim oštećenjem pri UV ozračenju. Važno je napomenuti da krajnji dijelovi optičkog spektra (visokofrekventna ultraljubičasta zračenja) imaju dovoljnu energiju da već u primarnom međudjelovanju s medijem izazivaju ionizaciju.

Visokoenergetska polja predstavljaju krajnji frekvencijski pojas elektromagnetskog spektra, sposoban da ionizira molekule ozračene tvari, uključujući tu i biološke medije.

Mali je broj osoba koje su bez potrebne zaštite izložene tim poljima iz profesionalnih razloga, a gotovo cjelokupna opća populacija u razvijenim zemljama izložena je niskim razinama elektromagnetskog zračenja u svojim domovima i na radnim mjestima. Mjeru u kojoj zračenja elektromagnetskog spektra predstavljaju zdravstvenu prijetnju teško je odrediti, jer se pojedini učinci mogu manifestirati sa značajnom vremenskom odgodom i/ili povezati s drugim rizičnim čimbenicima prisutnim u suvremenoj populaciji (stres, loše prehranbene navike, tjelesna neaktivnost), no ova intrigantna tema svakako i nadalje ostaje predmetom brojnih istraživanja.

PRIKAZ SLUČAJA

Muškarac, starosti 53 godine, po zanimanju elektromonter i 31 godinu ukupnog radnog staža. Zaposlenik je došao na redoviti periodički zdravstveni pregled i za vrijeme pregleda anamnestički je utvrđeno da mu je prije 5 mjeseci ugrađen trajni elektrostimu-

lator. Iz opisa radnog mjesta bilo je vidljivo da radi na radnom mjestu u trafostanici, a uz to je povremeno i radio s motornom pilom. Pregledom medicinske dokumentacije i dokumentacije o tehničkim karakteristikama ugrađenog elektrostimulatora donesena je ocjena o radnoj nesposobnosti za rad na tom radnom mjestu.

*dr. sc. Dijana Poplašen, dr. med., spec. med. rada i sporta
Specijalistička ordinacija medicine rada, Zagreb*

prof. dr. sc. Vlatka Brumen, Zdravstveno veleučilište, Zagreb

Diana Bućan, dr. med., Specijalistička ordinacija medicine rada, Split