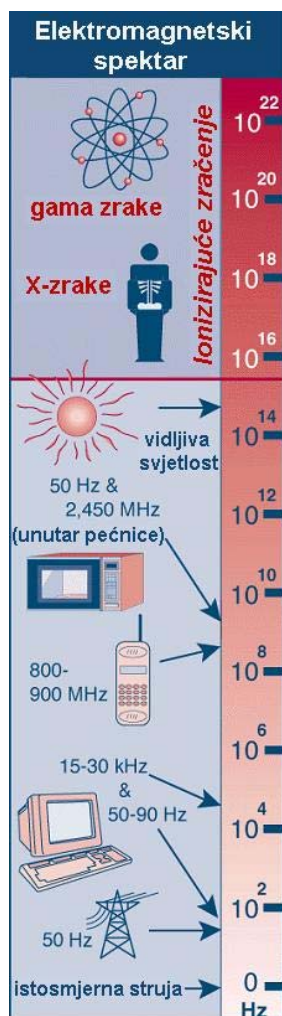


Utjecaj neionizirajućih elektromagnetskih polja na zdravlje čovjeka

Ana Sušac

Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb

Elektromagnetski okoliš, naročito neionizirajući, bitno se promijenio u 20. stoljeću. Prirodno, neionizirajuće elektromagnetsko zračenje uglavnom je podrijetlom sa Sunca. Izvori koje je načinio čovjek počinju se javljati početkom 20. stoljeća razvojem električne mreže, ali zadnjih desetljeća njihov broj se povećao do neslučenih razmjera i još uvijek je u porastu. Visokonaponski dalekovodi i snažni radarski uređaji su izvori jakih električnih i magnetskih polja. Mali je broj osoba koje su izložene tim poljima i to iz profesionalnih razloga. S druge strane gotovo cjelokupna opća populacija u razvijenim zemljama izložena je niskim razinama elektromagnetskog zračenja u svojim domovima i na radnim mjestima.



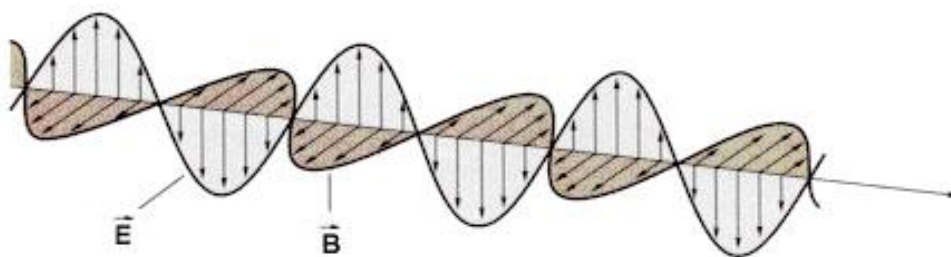
Prirodni i mnogi izvori koje je načinio čovjek proizvode elektromagnetsku energiju u obliku elektromagnetskih valova koji se sastoje od oscilirajućih električnih i magnetskih polja (Andreis i dr., 2000; Brković, 1996; Krsnik, 2000; Paar, 2000). Elektromagnetske valove određuje njihova valna duljina λ , frekvencija ν i energija E . Ta tri parametra su međusobno povezana. Frekvencija elektromagnetskog vala je broj oscilacija koje prolaze kroz fiksnu točku u jedinici vremena i izražava se u okretima u sekundi ili hercima (Hz). Što je kraća valna duljina, viša je frekvencija ($\lambda\nu=c$, gdje je c brzina svjetlosti).

U mnogim međudjelovanjima elektromagnetskih valova s materijom mora se uzeti u obzir kvantna priroda zračenja. Energija koju nosi elektromagnetski val lokalizirana je u pulsevima elektromagnetskog zračenja koji se zovu fotoni i iznosi $E=h\nu$, gdje je h Planckova konstanta. Elektromagnetski spektar proteže se od statičnih polja preko promjenljivih struja, radiovalova, vidljive svjetlosti, X i γ zraka do kozmičkog zračenja.

Prema frekvenciji i energiji elektromagnetski valovi se dijele na ionizirajuća zračenja i neionizirajuća zračenja. **Ionizirajuća zračenja** su elektromagnetski valovi (X zrake i γ zrake) koji imaju dovoljnu energiju fotona da izazovu ionizaciju. **Neionizirajuće zračenje** uključuje niskoenergetsko ultraljubičasto (Ultraviolet - UV) zračenje, vidljivu svjetlost, infracrveno (Infrared - IR) zračenje, radiofrekventna (Radiofrequency - RF) i mikrovalna (Microwave - MW) polja, polja ekstremno niskih frekvencija (Extremely Low Frequency - ELF), kao i statična električna i magnetska polja.

Pokazalo se da neionizirajuće zračenje izaziva biološke učinke kao što su zagrijavanje, mijenjanje kemijskih reakcija ili induciranje električnih struja u tkivima i stanicama. Ovdje ćemo se ograničiti na proučavanje učinaka RF (300 Hz - 300 GHz) i ELF (< 300 Hz) polja.

Ekspozicijska polja mogu biti tzv. daleka ili bliska polja (Polk i Postow, 1986). **Područje dalekog polja** se širi od određene minimalne udaljenosti od antene do beskonačnosti. Za minimalnu udaljenost obično se odabire $l \cong 2D^2/\lambda$, gdje je D veća dimenzija antene, a λ valna duljina. U ovom području polje ima pretežno osobine ravnog vala, tj. vektor električnog polja **E** je okomit na vektor magnetskog polja **B**, a obadva su okomita na smjer širenja. Za ravni val, najčešće se za opis ekspozicijskog polja koristi gustoća snage.



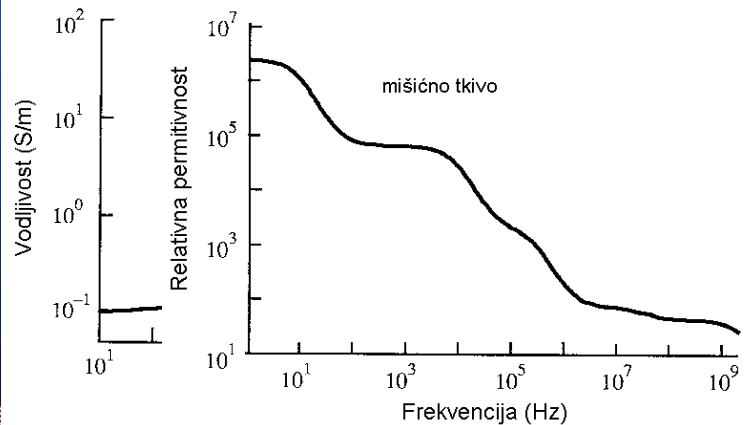
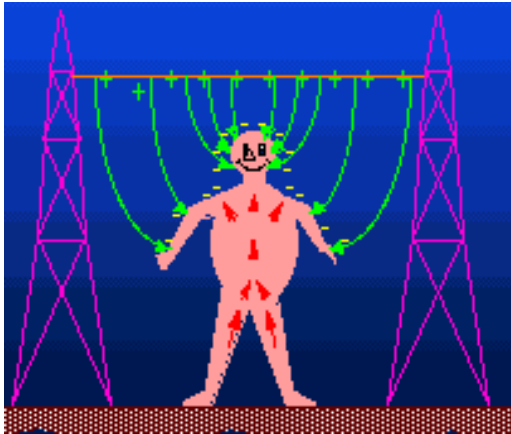
Područje bliskog polja u blizini izvora zračenja (antena) obuhvaća radijacijsko (Fresnel-ovo) područje i reaktivno (neradijacijsko) područje. Reaktivno područje nalazi se uz antenu i širi se oko jednu valnu duljinu od antene. U tom području električno i magnetsko polje jako se mijenjaju s udaljenošću i tu je pohranjen dio elektromagnetske energije. U radijacijskom području bliskog polja energija se širi od antene, i intenzitet električnog i magnetskog polja se smanjuje s udaljenošću, ali zračenje još uvijek nema osobine ravnog vala. Gustoća snage obično se mijenja s udaljenošću i to oscilatorno, a ne obrnuto proporcionalno s kvadratom udaljenosti kao za ravni val (daleko polje).

U strogo fizičkom smislu RF elektromagnetsko polje može se zvati RF zračenje samo u području dalekog polja. U nefizičkom jeziku, npr. u zakonodavstvu, svi oblici elektromagnetskih polja zovu se zračenje, čak iako ne ispunjavaju fizičke kriterije elektromagnetskog zračenja. U tekstu koji slijedi nije uvijek strogo naglašena razlika između bliskog i dalekog polja.

Fizički mehanizmi međudjelovanja

Fizički mehanizmi međudjelovanja elektromagnetskih polja s biološkim sustavima jako ovise o frekvenciji polja. Utvrđena su tri osnovna mehanizma međudjelovanja vremenski ovisnih elektromagnetskih polja s biološkim sustavima (ICNIRP, 1998):

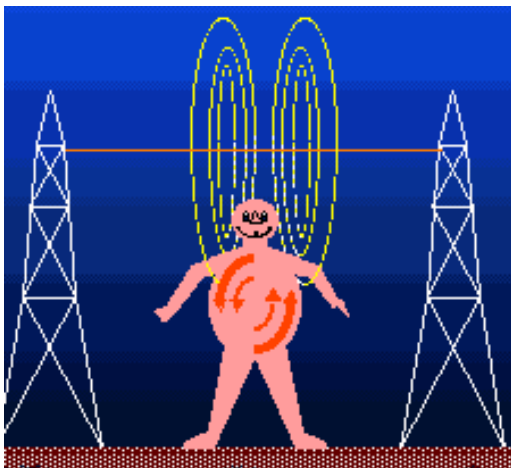
1. vezanje na niskofrekventna električna polja
2. vezanje na niskofrekventna magnetska polja
3. apsorpcija energije elektromagnetskog polja



Vežanje na niskofrekventna električna polja. Kao posljedica međudjelovanja električnih polja s ljudskim organizmom javlja se tok električnih naboja (električna struja), polarizacija vezanog naboja (nastajanje električnih dipola) i preusmjerenje električnih dipola koji već postoje u tkivima. Doprinosi od ovih različitih učinaka ovise o električnim svojstvima tijela - električnoj vodljivosti (o kojoj ovisi tok električne struje) i permitivnosti (o kojoj ovise polarizacijski efekti). Električna vodljivost i permitivnost su različite za različite vrste tkiva i ovise o frekvenciji primjenjenog elektromagnetskog polja. Vanjsko električno polje inducira naboj na površini tijela. Kao posljedica se javljaju struje u organizmu čija raspodjela ovisi o uvjetima izlaganja polju; o veličini i obliku organizma i o njegovom položaju u polju.

Vežanje na niskofrekventna magnetska polja. Kao posljedica međudjelovanja vremenski promjenljivih magnetskih polja s ljudskim organizmom induciraju se električna polja i kružne električne struje. Jakost induciranih polja i gustoće struje su proporcionalne polumjeru petlje (kružnih struja), električnoj vodljivosti tkiva, brzini promjene i veličini gustoće magnetskog toka. Za danu jakost i frekvenciju magnetskog polja, najjača električna polja se induciraju na mjestima gdje su dimenzije petlje najveće. Točna putanja i jakost struja induciranih u različitim dijelovima tijela ovise o električnoj vodljivosti tkiva. Tijelo nije električki homogeno, ali gustoće induciranih struja mogu se izračunati rabeći anatomske i električke realističke modele tijela i računalne metode koje imaju visoki stupanj anatomske rezolucije.

Apsorpcija energije elektromagnetskog polja. Izlaganje niskofrekventnim elektromagnetskim poljima ne izaziva značajne apsorpcije energije i mjerljivo povišenje temperature tijela. Međutim izlaganje



elektromagnetskim poljima na frekvencijama višim od 100 kHz može prouzročiti značajnu apsorpciju energije i povišenje temperature. Općenito, izlaganje homogenim elektromagnetskim poljima dovodi do vrlo nehomogene raspodjele energije unutar tijela što se može utvrditi dozimetrijskim mjerenjima i proračunima.

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho} |\mathbf{E}_i|^2$$

Specifična brzina apsorpcije (Specific Absorption Rate - SAR) je široko prihvaćena dozimetrijska veličina koja mjeri energiju apsorbiranu u jedinici mase u jedinici vremena i može se izraziti kao:

gdje je σ vodljivost tkiva, ρ gustoća, $|\mathbf{E}_i|$ vršna vrijednost unutarnjeg električnog polja. Jedinica za SAR je W/kg. Prosječni SAR se definira kao omjer ukupne snage apsorbirane u izloženom tijelu i njegove mase. Lokalni SAR odnosi se na vrijednost unutar definiranog jediničnog volumena ili jedinične mase, koji mogu biti proizvoljno maleni. Vrijednosti SAR-a ovise o sljedećim parametrima:

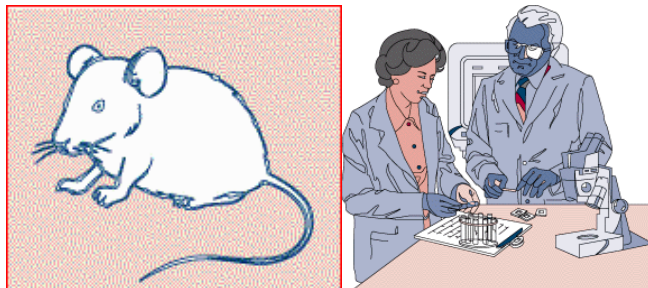
- parametri upadnog polja: frekvencija, jakost, polarizacija, položaj izvora i objekta (blisko i daleko polje);
- svojstva izloženog tijela: veličina, unutarnja i vanjska geometrija, dielektrična svojstva različitih tkiva;
- efekti uzemljenja i refleksije zbog drugih objekata u polju u blizini izloženog tijela.

Prosječna vrijednost specifične brzine apsorpcije za cijelo tijelo ovisi o položaju tijela u odnosu na smjer električne i magnetske komponente. SAR postiže maksimalnu vrijednost kad je dugačka os ljudskog tijela paralelna s vektorom električnog polja u uvjetima izlaganja dalekom polju (aproksimacija ravnog vala).

Učinci izlaganja neionizirajućim elektromagnetskim poljima

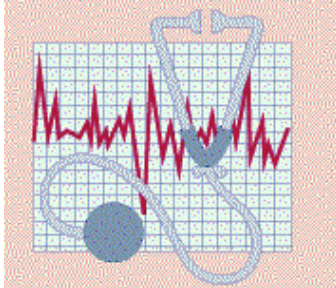
Elektromagnetska polja mogu izazvati biološke učinke koji ponekad, ali ne uvijek, mogu dovesti do negativnih učinaka na zdravlje. Važno je razlikovati ta dva pojma. **Biološki učinak** se javlja kad izlaganje elektromagnetskim poljima uzrokuje fiziološke promjene u biološkom sustavu koje se mogu otkriti mjerenjem ili opažanjem. **Negativan učinak na zdravlje** se javlja kad je biološki učinak izlaganja polju izvan normalnog raspona koje organizam može kompenzirati i koji je protivan općem blagostanju osobe (Repacholi, 1998).

Neki biološki učinci mogu biti neškodljivi, kao što je tjelesna reakcija povećanja protoka krvi u koži kao odgovor na malo povećanje sunčevog zagrijavanja. Neki učinci mogu biti povoljni, kao što je osjećaj topline od direktne sunčeve svjetlosti u hladnom danu, ili čak mogu dovesti do pozitivnih učinaka na zdravlje, kao što sunčeva svjetlost pomaže tijelu u proizvodnji vitamina D. Ipak neki biološki učinci vode do negativnih učinaka na zdravlje, kao što su opekline ili rak kože.



U istraživanju djelovanja neionizirajućih elektromagnetskih polja na biološke sustave koriste se različite metode i pristupi. **In vitro studije** na staničnim kulturama daju važan uvid u osnovne mehanizme bioloških učinaka

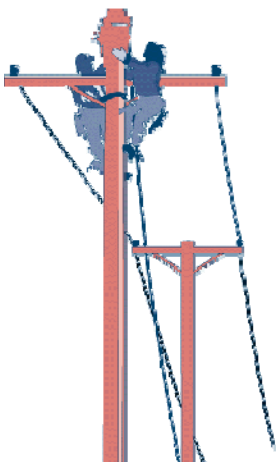
niskih jakosti zračenja. Često nije moguće zaključiti koji je funkcionalni odgovor ljudskog organizma na određeni biološki učinak. **In vivo studije** na životinjama i ljudima osiguravaju uvjerljivije dokaze o mogućim negativnim učincima na zdravlje. Javlja se problem kod ekstrapolacije rezultata dobivenih u eksperimentima sa životinjama na ljude.



Epidemiološke studije daju najdirektnije informacije o riziku od negativnih učinaka kod ljudi. Međutim teško je pronaći dobre kontrolne skupine koje u svim aspektima (dob, spol, slične životne navike i dr.) odgovaraju izloženim skupinama. Treba biti pažljiv kod interpretacije rezultata epidemioloških istraživanja posebno ako je pronađen nizak rizik jer to može biti i posljedica nekih drugih čimbenika. Epidemiološke studije su važne za praćenje djelovanja novih tehnologija na zdravlje ljudi.

Obično se razlikuju termički i netermički učinci elektromagnetskog zračenja. **Termički učinci** elektromagnetskih polja na ljudski organizam se očituju povišenjem temperature organizma. Utvrđene su opasnosti od izlaganja termičkim razinama elektromagnetskih zračenja i to čini osnovu današnjih graničnih vrijednosti izlaganja elektromagnetskim poljima (ICNIRP, 1998). Termički učinci nemaju kumulativni učinak, tj. nema dokaza o njihovom povećanju u organizmu ili o dugoročnom odgovoru. Nikakve popratne pojave nisu poznate u dijatermičkoj terapiji (primjena visokofrekventne struje u cilju dubinskog zagrijavanja tijela) koja se koristi na velikom broju pacijenata već desetljećima. Mehanizmi termičkih djelovanja danas su dobro poznati. **Netermički učinci** elektromagnetskih polja niskih jakosti opaženi su u *in vivo* i *in vitro* istraživanjima (Repacholi, 1999) na različitim razinama biološke složenosti (od molekula do organizma). Fizički mehanizmi tih djelovanja nisu još uvijek razjašnjeni. Energija kvanata pridruženih elektromagnetskom polju za nekoliko je redova veličine niža od energije veze među molekulama u biološkom materijalu. Dakle, ako se javlja neki efekt, on mora biti postignut konverzijom energije, pojačanjem, rezonantnom pojavom ili kumulativnim procesom (slično kao u elektronici kad se želi stvoriti ili pojačati omjer signal-šum). Potrebno je razjasniti jesu li netermički učinci štetni za ljudski organizam.

Djelovanje elektromagnetskih polja ekstremno niskih frekvencija na zdravlje čovjeka



Električna i magnetska polja koja se javljaju u prirodi su vrlo slaba, reda veličine 0.0001 V/m, odnosno 0.00001 mT. Izlaganje ljudi poljima ekstremno niskih frekvencija (ELF) se uglavnom povezuje s proizvodnjom, prijenosom i uporabom električne energije. Elektromagnetska polja ekstremno niskih frekvencija najčešće se povezuju s utjecajem na razvoj raka. Neka epidemiološka istraživanja provedena u zadnjih nekoliko desetljeća pokazale su slabu statističku povezanost između:

- blizine dalekovoda i dječije leukemije

- radnog mjesta u okolišu s jakim magnetskim poljima i leukemije kod odraslih i tumora mozga

Statistička povezanost je slaba i nije potvrđena u istraživanjima na životinjama. Nije jasno postoji li uzročno-posljedična veza između izlaganja ELF magnetskim poljima i razvoja raka ili postoje neki drugi uzroci iz okoliša (COST, 2001). U zadnje vrijeme sve se više ispituje utjecaj ELF polja na razvoj raznih neuroloških poremećaja i bolesti.

Djelovanje elektromagnetskih polja pokretnih telefona na zdravlje čovjeka



Pokretni telefoni su radiofrekventni (RF) odašiljači koji emitiraju maksimalnu snagu u rasponu 0.2 W – 0.6 W. RF polja iz prirodnih izvora imaju vrlo nisku gustoću snage. Jakost RF zračenja sa Sunca koje je primarni prirodni izvor je manje od 0.01 mW/m². Pokretni telefoni danas su sastavni dio suvremenih telekomunikacija. U mnogim zemljama već više od polovine stanovništva koristi pokretne telefone, a taj broj se još uvijek brzo povećava. S obzirom na ogroman broj korisnika pokretnih telefona, čak i mali negativni učinak na zdravlje bi mogao imati velike posljedice na javno zdravstvo.

RF polja na frekvenciji pokretnih telefona prodiru u izložena tkiva na dubinu od oko 1 cm. RF energija se apsorbira u tijelu i proizvodi toplinu koju normalni tjelesni termoregulacijski procesi odvođuju. Većina studija do sada je ispitivala rezultate kratkotrajnog izlaganja cijelog tijela RF poljima puno jačim od onih koji se obično povezuju s bežičnim komunikacijama. Zbog sve šire uporabe uređaja kao što su pokretni telefoni i "walkie-talkies", javlja se potreba za oblikovanjem studija koje istražuju posljedice lokaliziranog izlaganja glave RF zračenju.

Do sada su provedene četiri epidemiološke studije o razvoju raka kod korisnika pokretnih telefona (<http://www.mcw.edu/gcrc/cop/cell-phone-health-FAQ/toc.html>) i nijedna od njih nije pokazala povećani rizik. Dosadašnja znanstvena istraživanja ne ukazuju na postojanje negativnih učinaka na zdravlje zbog izlaganja niskim, netermičkim jakostima elektromagnetskih polja pokretnih telefona. Postojanje bioloških učinaka i činjenica da neka područja nisu dovoljno ispitana potiču na daljnja istraživanja.

Nekoliko istraživanja sa životinjama izloženim poljima sličnim kao kod pokretnih telefona nije našlo dokaza da RF zračenje uzrokuje ili utječe na rak. 1997. godine jedna studija je pokazala da RF polja potiču razvoj limfoma kod genetički promjenjenih miševa (Repacholi, 1998). U tijeku je nekoliko istraživanja koja trebaju potvrditi ova otkrića i odrediti važnost ovih rezultata za razvoj raka kod ljudi.

Izvešteno je i o drugim učincima uporabe pokretnih telefona kao što su promjene u krvnom tlaku, moždanoj aktivnosti (EEG), vremenu reakcije i strukturi sna. Ovi učinci su mali i čini se da nisu značajni za zdravlje. Istraživanja su jasno pokazala povećani rizik od prometnih nesreća kad se pokretni telefoni (ručni ili "hands-free") koriste tijekom

vožnje. Taj efekt može biti vezan uz ometanje vozača pri vožnji, a ne posljedica RF zračenja iz uređaja.

Pokretni telefoni, kao i mnogi drugi elektronički uređaji mogu prouzročiti elektromagnetsku interferenciju u električnoj opremi. Zbog toga treba biti pažljiv kod uporabe pokretnih telefona u blizini osjetljive elektromedicinske opreme kao npr. na odjelima intenzivne njege u bolnicama. Pokretni telefoni mogu izazvati interferenciju i u nekim drugim medicinskim uređajima kao što su električni stimulatori srca i slušni aparati. Osobe koje koriste ove uređaje trebaju se posavjetovati s liječnikom da bi odredili osjetljivost svojih uređaja na ove efekte. Moguća je interferencija i između pokretnih telefona i elektronike u zrakoplovima.

Istraživanje učinaka neionizirajućih elektromagnetskih polja

Ne treba zaboraviti ni na pozitivne učinke neionizirajućih elektromagnetskih polja. Ona se danas široko primjenjuju u stomatologiji, u liječenju raka, čira i probavnih smetnji, kardiovaskularnih bolesti, neuroloških poremećaja i dr. Elektromagnetska polja izazivaju sintezu proteina stresa što se može rabiti u terapijske svrhe (dodatak A). Zanimljiva je i primjena elektromagnetskih polja u elektrokemoterapiji i genskoj terapiji (dodatak B). U dodatku C opisana je uporaba elektromagnetskih polja kod liječenja rana i zarastanja kostiju. Poznato je da istosmjerne struje mogu izazvati smanjenje tumora (ICBEM, 2000). Predloženo je nekoliko mogućih mehanizama kao što su promjene u transmembranskom potencijalu, lokalne pH promjene, elektrokemijske reakcije i dr. Različita elektromagnetska polja mogu značajno ubrzati regeneraciju perifernih živaca (ICBEM, 2000).

Zadnjih nekoliko godina povećalo se zanimanje javnosti za utjecaj neionizirajućih elektromagnetskih polja na zdravlje čovjeka. Živimo u svijetu vrlo brzih tehnoloških promjena. Mnogi uređaji koji proizvode elektromagnetska polja dolaze na tržište bez dovoljne prethodne provjere njihovog djelovanja na zdravlje čovjeka. Razlog tome je težnja proizvođača da što prije puste proizvod u prodaju zbog utrke s konkurencijom i težnje za što većom dobiti. S druge strane, u principu je nemoguće znanstveno dokazati nepostojanje negativnih učinaka nekog proizvoda. Naime, neki učinci mogu biti kumulativni, tj. njihovo postojanje se može otkriti tek nakon dužeg vremena. Osim toga, mnoga istraživanja (npr. epidemiološka) daju statističke rezultate koji dobivaju na težini povećanjem uzorka i ponavljanjem.

Znanstvena zajednica bi trebala imati ključnu ulogu u informiranju javnosti i političara koji donose zakone o graničnim vrijednostima izlaganja elektromagnetskim poljima. Često dolazi do sukoba interesa jer istraživanja u ovom području dobrim dijelom financiraju velike tvrtke čiji proizvodi su izvor elektromagnetskih polja (npr. u području pokretne telefonije Motorola, Telecom, Nokia, Siemens, Ericsson). U cilju nepristrane procjene rezultata znanstvenih istraživanja formiraju se skupine nezavisnih stručnjaka i pokreću međunarodni projekti koje financiraju međunarodne organizacije. 1992. godine osnovana je Međunarodna komisija za zaštitu od neionizirajućeg zračenja (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection - ICNIRP) koja istražuje rizike koji su povezani s različitim oblicima elektromagnetskih zračenja i razvija međunarodne granične vrijednosti izlaganja (ICNIRP, 1998). Svjetska zdravstvena

organizacija (World Health Organization - WHO) utemeljila je 1996. godine Međunarodni EMF (Electromagnetic Fields) projekt (www.who.int/emf/).

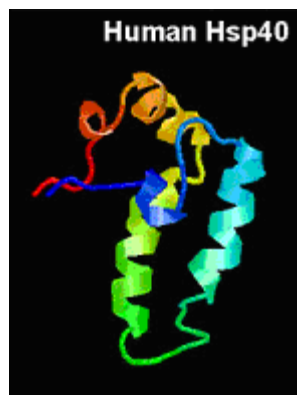
Dodatak A: Stanice odgovaraju na elektromagnetska polja ekstremno niskih frekvencija kao na stres

Istraživanja promjena u sintezi proteina izazvanih elektromagnetskim poljima pokazala su da stanica na elektromagnetsko polje od 60 Hz reagira kao na stres, tj. sintetizira proteine stresa (Blank i Goodman, 2000). Tablica pokazuje da su stanice puno osjetljivije na elektromagnetska polja nego na toplinski šok. Magnetski podražaj izaziva

Energija	Signal	Gustoća energije (J/m ³)
Magnetska	0.8 μT	2.6×10^{-7}
Termička	+5.5°C	$2.3 \times 10^{+7}$

odgovor kod gustoće energije 14 redova veličine niže nego toplinski šok. Budući da se

elektromagnetska i termička aktivacija značajno razlikuju u vrijednosti praga podražaja, važno je znati koji se mehanizam aktivira kod određivanja graničnih vrijednosti izlaganja. Sadašnji standardi se temelje na termičkom odgovoru, ali ako elektromagnetski stres može djelovati preko netermičkih mehanizama potrebni su niže granične vrijednosti izlaganja.



Stres se javlja kao osnovni biološki obrambeni mehanizam koji stanice rabe u reakciji na različite štetne podražaje iz okoliša. Proteini stresa pomažu drugim proteinima da se pravilno saviju i dođu na svoje odredište u stanici. Činjenica da elektromagnetska polja izazivaju sintezu proteina stresa, znak je da stanica na polja reagira kao da su potencijalno štetni. Ipak treba imati na umu da proteini stresa imaju zaštitnu ulogu u stanici i da magnetski izazvan odgovor na stres može imati terapijske primjene. Proteini stresa umanjuju oštećenja stanica i omogućuju bolje podnošenje drugog, još opasnijeg, stresa. Oni se vežu na denaturirane i uništene proteinske supstrate i omogućuju ponovno vezanje i obnavljanje funkcionalnih makromolekulskih kompleksa.

Proteini stresa također smanjuju jačinu odgovora na nove podražaje u stanici. Djelovanje magnetskog stresa je slično termičkoj toleranciji gdje toplinski šok na subletalnim temperaturama omogućuje organizmu da razvije toleranciju i preživi sljedeće toplinske šokove na letalnim temperaturama. Magnetska polja mogu služiti za namjerno izazivanje sinteze proteina stresa prije još opasnijeg stresa izazvanog operacijom. Prednost magnetskih polja je što su učinkoviti i na vrlo niskim energijama i mogu se primjeniti i na uvjetima koji su pogodni i za liječnika i pacijenta.

Dodatak B: Elektroporacija

U biofizičkoj kemiji vanjska električna polja se rabe za ispitivanje ionskih i dielektričnih svojstava molekula i membrana. U kliničkoj medicini posebno je značajna tehnika membranske elektroporacije. Ova metoda uključuje stvaranje lokalnih

elektropora što omogućuje direktan prijenos gena iz DNA (u genskoj terapiji) i DNA (u elektrokemoterapiji) kroz nepropusnu staničnu membranu.

Elektrokemoterapija rabi lijekove koji imaju intracelularne mete, ali ne mogu ući u stanicu jer je ona nepropusna za njih. Kratki (oko 100 μ s) i jaki (oko 1000 V/cm) električni pulsevi izazivaju elektropermeabilizaciju većine stanica u izloženom tkivu i omogućuju ulazak molekula lijeka u stanicu. Elektrokemoterapija se pokazala uspješnom za lijekove kao što su bleomicin i cisplatinum. Dovoljno je da uđe 500 molekula da uspiju ubiti stanicu. Istraživanja na štakorima (ICBEM, 2000) su pokazala uspješno kombiniranje zračenja i elektrokemoterapije.

Elektroprijenos DNA je metoda u genskoj terapiji koja pomoću električnih pulseva permeabilizira stanicu i preko međudjelovanja DNA sa staničnom membranom omogućuje ulazak DNA u stanicu. Ovdje su učinkovitiji duži (oko 20 ms) i nešto slabiji (200 - 250 V/cm) električni pulsevi nego kod elektrokemoterapije. Elektroprijenos DNA još uvijek nije ušao u kliničku praksu, ali to područje se brzo razvija jer bi elektroprijenos DNA mogao zamijeniti viruse koji se danas rabe kao nosioci DNA za ispravljanje genetskih bolesti, cijepljenje i liječenje raka.

Dodatak C: Primjena elektromagnetskih polja u liječenju rana i zarastanju kostiju

Elektromagnetska polja se već dulje vrijeme rabe u liječenju kroničnih rana. Time se ubrzava zarastanje rana i smanjuju troškovi liječenja. Primjenjuju se različita elektromagnetska polja: statička, sinusoidalna, pulsna. Pokazano je da oštećeno tkivo rane ima viši potencijal u odnosu na okolnu neoštećenu kožu. Pretpostavlja se da taj električni potencijal ima važnu ulogu u izliječenju rane (ICBEM, 2000). Provode se mnoga istraživanja utjecaja elektromagnetskih polja na zacjeljivanje rana radi poboljšanja terapije.

Uspješna je i klinička primjena elektromagnetskih polja kod zarastanja kostiju. Terapija elektromagnetskim poljima je posebno korisna kod slučajeva produženog i nepotpunog izliječenja nakon fraktura. Kost je živo tkivo na koje utječu mnogi čimbenici: lijekovi, hormoni, opskrbljenost krvlju, infekcije. Eksperimenti su pokazali utjecaj struje na proliferaciju koštanih stanica (ICBEM, 2000). Koštano tkivo proizvodi različite električne signale ako postoji koštana deformacija (npr. prijelom) i ako je nema. U slučaju frakture javlja se struja koja je proporcionalna oštećenju. Ona izaziva porast kontrolnog signala, stimulira se sinteza faktora rasta i započinje obnavljanje tkiva. Ovaj proces može se pojačati primjenom izmjeničnih struja koje induciraju elektromagnetska polja koja mogu biti pulsna, sinusoidalna ili njihova kombinacija.

Literatura

Andreis T., Plavčić M., Simić N. (2000) Fizika 4: udžbenik za 4. razred gimnazije, Profil, Zagreb

Blank M., Goodman R. (2000) Stimulation of the stress response by low-frequency electromagnetic fields: possibility of direct interaction with DNA, IEEE Transaction on plasma science, 28(1):168-172

Brković-Farago N. (1996) Fizika, Luk, Zagreb

COST (2001) Biomedical effects of e

ICBEM (2000) Proceedings of the 3rd International Conference on Bioelectromagnetism, October 8 -12, 2000, Bled, Slovenia

ICNIRP (1998) Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), Health Physics, 74(4):494-522

Krsnik R. (2000) Fizika 4: udžbenik za 4. razred gimnazije, Školska knjiga, Zagreb

Polk, C., Postow, E. (eds) (1986) CRC handbook of biological effects of electromagnetic fields, CRC Press, Florida

Paar V. (2000) Fizika 3: udžbenik za 3. razred gimnazije, 2. izdanje, Školska knjiga, Zagreb

Repacholi M.H. (1998) Low-level exposure to radiofrequency electromagnetic fields: health effects and research needs, Bioelectromagnetics, 19(1):1-19

Repacholi M.H., Greenebaum B. (1999) Interaction of static and extremely low frequency electric and magnetic fields with living systems: health effects and research needs, Bioelectromagnetics, 20(3):133-160

<http://www.fda.gov/>

<http://www.fgf.de/info/>

<http://www.mcw.edu/gcrc/cop/cell-phone-health-FAQ/toc.html>

<http://www.who.int/emf/>