Utjecaj elektromagnetskog onečišćenja na zdravlje

Petroci, Tea

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, School of Medicine / Sveučilište u Zagrebu, Medicinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:105:150844

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Dr Med - University of Zagreb School of Medicine Digital Repository

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

MEDICINSKI FAKULTET

Tea Petroci

Utjecaj elektromagnetskog onečišćenja na zdravlje

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2016.

Ovaj diplomski rad izrađen je na Medicinskim fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, Škola narodnog zdravlja "Andrija Štampar", pri Katedri za zdravstvenu ekologiju i medicinu rada, pod vodstvom doc. dr. sc. Iskre Alexandre Nole i predan je na ocjenu u akademskoj godini 2015/2016.

Sadržaj

Sažetak

Summary

Popis kratica

1. Uvod 1
2. Elektromagnetsko onečišćenje 4
    2.1. Elektromagnetsko onečišćenje u općem okolišu 6
    2.2. Elektromagnetsko onečišćenje u radnom okolišu 8
3. Biološki učinci elektromagnetskog zračenja 11
    3.1. Oštećenja DNA 12
        3.1.1. Mehanizmi popravka DNK 13
    3.2. Biološki učinci neionizirajućeg zračenja 14
    3.3. Biološki učinci ionizirajućeg zračenja 15
4. Utjecaj elektromagnetskog zračenja na zdravlje 17
    4.1. Zdravstvene posljedice neionizirajućeg zračenja 17
    4.2. Zdravstvene posljedice ionizirajućeg zračenja 19
        4.2.1. Karcinogeno djelovanje 20
        4.2.2. Teratogeno djelovanje 20
5. Zaključak 22
6. Zahvale 23
7. Literatura 24
8. Životopis 29

Sažetak

Utjecaj elektromagnetskog onečišćenja na zdravlje

Tea Petroci

Elektromagnetsko onečišćenje je svaka količina zračenja veća od one prirodne te ga nalazimo svuda oko nas. Dijelom je posljedica zračenja Sunca i Zemlje, ali ipak veći dio zračenja dolazi od izvora koje je proizveo čovjek. Zadnjih dvadesetak godina, pojavom mobilnih telefona i stvaranjem ozonske rupe, došlo je do značajnijeg porasta elektromagnetskog onečišćenja okoliša. Elektromagnetsko zračenje u kontaktu s tkivom uzrokuje određene biološke učinke, koji mogu imati zdravstvene posljedice. Neionizirajuće zračenje kao što su radiovalovi, mikrovalovi i ultraljubičasto zračenje, prevladava u općem okolišu. Ionizirajućeg zračenja, koje uzrokuje ozbiljnije zdravstvene posljedice, u okolišu gotovo da nema. Ionizirajućem i neionizirajućem zračenju stoga su češće izloženije određene skupine radnika. U radnom okolišu zračenje se redovito mjeri te su maksimalne doze, kao i odgovarajuća zaštita propisane Zakonom. Biološke učinke zračenje uzrokuje djelujući na stanicu, molekule i DNK. Zdravstvene posljedice neionizirajućeg zračenja uglavnom se očituju kao zagrijavanje tkiva, oštećenje oka ili kože. Takva su oštećenja uglavnom prolazna i nastaju tek pri dugotrajnijoj izloženosti. Učinci ionizirajućeg zračenja zbog oštećenja DNK koje uzrokuje mogu biti mutageni, teratogeni i karcinogeni. Zdravstvene posljedice javljaju se kod ozračenog pojedinca, ali mogu biti prisutne i u njegovu potomstvu. Najteža posljedica izloženosti ionizirajućem zračenju je akutni radijacijski sindrom. Trenutna količina zračenja u okolišu je u dozvoljenim granicama i nema utjecaja na zdravlje stanovništva.

Ključne riječi: biološki učinci, ionizirajuće zračenje, neionizirajuće zračenje, zdravstvene posljedice

Summary

Health effects of electromagnetic pollution

Tea Petroci

Electromagnetic pollution is any amount of radiation higher than natural and it is all around us. Partially it is a result of radiation from the Sun and the Earth, but mostly it comes from manmade sources. In last twenty years, after appearance of mobile phones and ozone hole, there was a significant increase of electromagnetic pollution in the environment. Electromagnetic radiation in contact with tissue causes certain biological effects, which may cause health effects. Non-ionizing radiation such as radio waves, microwaves and ultraviolet radiation dominate in environment. The amount of ionizing radiation, which can cause serious health effects, in the general environment is very low. Thus, certain groups of workers could be more exposed to ionizing and non-ionizing radiation. In working environment radiation is measured on regular basis while maximal doses and proper protection are defined by law. Biological effects are caused by radiation affecting cells, molecules and DNA. Health effects of non-ionizing radiation are tissue heating, damage of the eye and the skin. Those damages only occur at excessive exposure and usually they are short-term. Effects of ionizing radiation, because it damages DNA, can be mutagenic, teratogenic and carcinogenic. Health effects occur in irradiated individuals but they can also occur in their progeny. Most dangerous side effect of ionizing radiation is acute radiation syndrome. Current amount of radiation in the environment is under the limit and it does not have effect on population health.

Keywords: biological effects, health effects, ionizing radiation, non-ionizing radiation

Popis kratica

AP – apurin place (apurinsko mjesto)

LET – linear energy trasmission (linearni prijenos energije)

RBE – relativna biološka efikasnost

1. Uvod

Elektromagnetsko zračenje je pojava širenja električnih i magnetskih valova, tj. čestica zvanih fotoni. Fotoni su čestice bez mase koje se gibaju brzinom svjetlosti i sadrže određenu energiju (1).

Elektromagnetske valove prikazujemo pomoću elektromagnetskog spektra (Slika 1). Elektromagnetski spektar dijeli se na dva dijela: ionizirajuće i neionizirajuće zračenje. Podjela se temelji na tome mogu li zrake određenog zračenja ionizirati atome i prekinuti kovalentne veze ili ne (2).

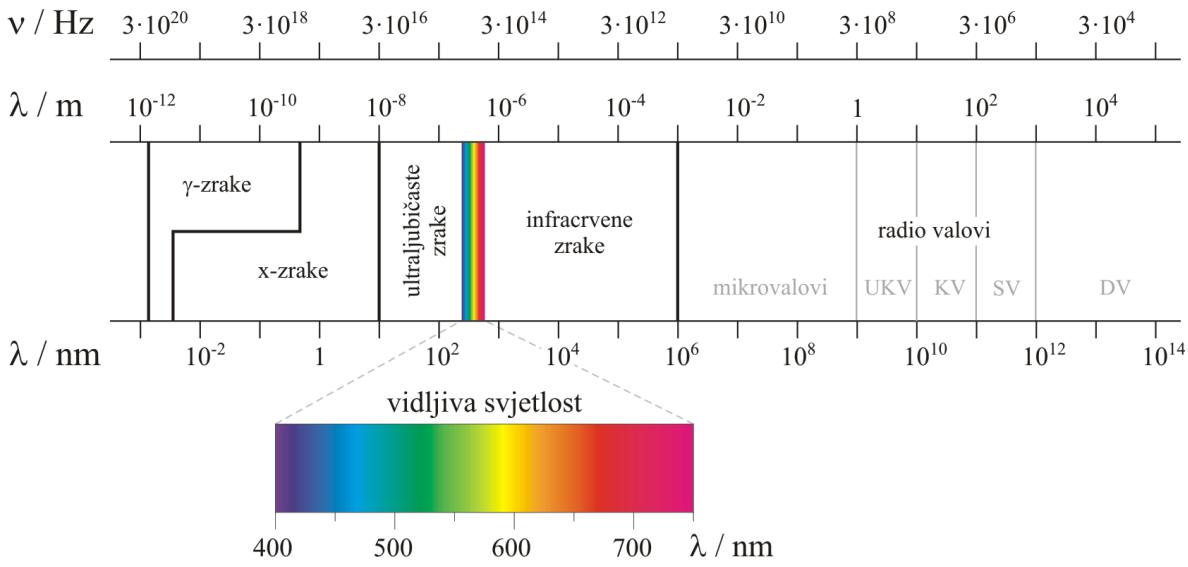
Zračenje visokih frekvencija, a niskih valnih duljina zovemo ionizirajuće zračenje. Ta visoka frekvencija ima dovoljno energije izbaciti elektrone iz vanjskog omotača nekih atoma i pretvoriti ih u ione. Taj proces zove se ionizacija (3). Ionizirajuće zrake mogu štetno djelovati na stanice a u njih ubrajamo rendgenske (X-zrake), gama zrake i kozmičke zrake (4).

Zračenje nižih frekvencija i većih valnih duljina, neionizirajuće zračenje, nema dovoljno energije da izazove ionizaciju, ali može uzrokovat mehaničke vibracije atoma što dovodi do stvaranja toplinske energije (3). Neionizirajuće zračenje čine radiovalovi, mikrovalovi, vidljiva svjetlost, infracrvene i ultraljubičaste zrake. Njihovo djelovanje na tkiva, zbog male energije, može biti štetno pri dugotrajnijem izlaganju, ali puno manje štetno od ionizirajućih zračenja (4).

Elektromagnetsko zračenje nalazimo u svemiru ali i na Zemlji. Sunce je najveći izvor vidljive svjetlosti, zvijezde su izvor x-zračenja i kozmičkog zračenja, planeti emitiraju radio valove. Zapravo, svako tijelo pri određenoj temperaturi emitira

elektromagnetsku energiju, uključujući i naša tijela (3). Osim navedenih prirodnih izvora elektromagnetskog zračenja postoje i umjetni izvori koje je uglavnom proizveo čovjek. Na primjer, x-zrake (X) i gama zrake (γ) koje koristimo u medicini, laseri, električni uređaji, električni vodovi i dr. (3).

Mikrovalno zračenje obuhvaća dio elektromagnetskog spektra (Slika 1) valne duljine 1mm do 1m te ima toplinske učinke na ljudsko tijelo. Infracrveno zračenje obuhvaća spektar valne duljine 750nm – 1m te osim toplinskih oštećenja dovodi i do oštećenja vida (katarakta). Vidljiva svjetlost proteže se valnom duljinom 380nm – 750nm te dovodi do umora i oštećenja vida. Male razlike frekvencija u području vidljive svjetlosti nazivamo boje. Ultraljubičaste zrake imaju valnu duljinu od 10nm – 380nm, osim oštećenja oka mogu uzrokovat i opekline kože te se smatraju rizičnim čimbenikom za razvoj raka kože. Rendgenske i gama zrake, valnih duljina manjih od 10nm odnosno manjih od 0,01nm, imaju sposobnost prodiranja u tkivo gdje izazivaju ionizaciju koja dovodi do somatskih i genetskih oštećenja, tj. mutacije gena koja je predispozicija za razvoj malignih bolesti (5).



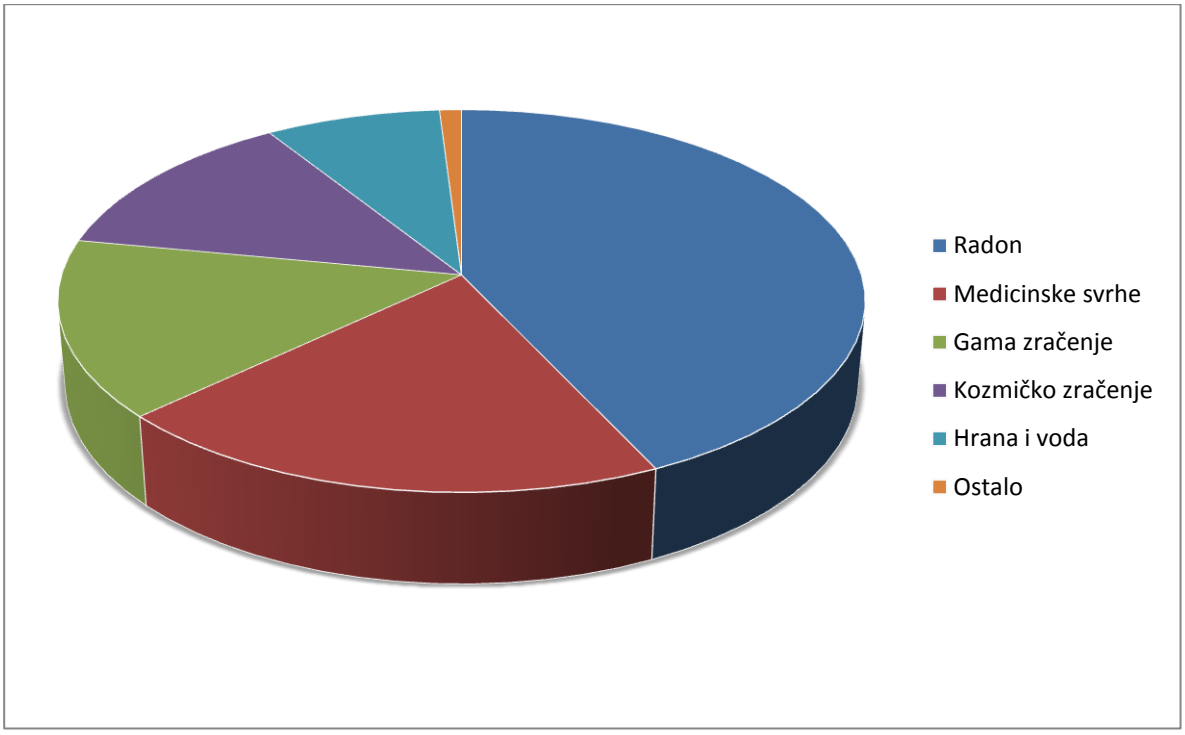
Slika 1. Elektromagnetski spektar (prema Generalić E, preuzeto s http://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=spektar+elektromagnetskog+zra%C4%8Denja).

2. Elektromagnetsko onečišćenje

Elektromagnetskim onečišćenjem smatra se svaka količina elektromagnetskog zračenja veća od one prirodne. Elektromagnetsko onečišćenje postoji svuda oko nas.

Elektromagnetsko onečišćenje je uglavnom uzrokovano frekvencijama manjim od frekvencije vidljive svjetlosti. Zračenje postoji u našoj neposrednoj okolini i posljedica je zračenja umjetnih izvora koje je stvorio čovjek kao što su: električni vodovi, električni uređaji – televizori, hladnjaci, bojleri, električne peći, glačala i dr. Isključivanjem uređaja nestaje samo magnetsko polje dok je električno polje uvijek prisutno. Kada je ljudsko tijelo izloženo samo magnetskom ili samo električnom polju tada ne postoji štetni utjecaj na tkivo. Međutim, istovremena izloženost i električnom i magnetskom polju dovodi do oštećenja tkiva, jer se tada tijelo nalazi u području elektromagnetskog zračenja (2).

Najveći prirodni izvori elektromagnetskog onečišćenja su radon, prirodni zemni plin, te Sunce čije je zračenje sve opasnije zbog stvaranja ozonskih rupa. Slika 2. prikazuje izvore zračenja koji svakodnevno djeluju na stanovništvo. Osim radona, velik utjecaj na ozračivanje imaju različiti medicinski dijagnostički postupci (rendgen, CT, radiofarmaci), zemljino prirodno gama zračenje, kozmičko zračenje iz svemira, tragovi zračenja u hrani i vodi te ostali izvori koji se nalaze u našoj svakodnevnici (u kućanstvu, na radnome mjestu i sl.) (7).



Slika 2. Udio različitih izvora zračenja u ozračivanju stanovništva Svijeta (preuzeto i prerađeno prema WHO (http://www.who.int/ionizing_radiation/env/en/))

Republika Hrvatska donijela je zakone za kontrolu zračenja u radnom i općem okolišu: Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja (8), Zakon o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i sigurnosti izvora ionizirajućeg zračenja (9), te Pravilnik o praćenju stanja radioaktivnosti u okolišu (10). Kontrolu provodi Državni zavod za zaštitu od zračenja i Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost. Kontrola se provodi kontinuirano u svim područjima okoliša (9): *"Sustavno ispitivanje i praćenje vrste i aktivnosti radioaktivnih tvari u zraku, tlu, moru, rijekama, jezerima, podzemnim vodama, krutim i tekućim oborinama, vodi za piće, hrani i predmetima opće uporabe te stambenim i radnim prostorijama, provodi se pod uvjetima, na način i mjestima te u rokovima propisanim pravilnikom koji donosi ministar nadležan za zdravstvo uz suglasnost ministra nadležnog za zaštitu okoliša."*Određene su i maksimalne doze

izloženosti stanovništva (9): *"Pojedini stanovnik ne smije u jednoj godini primiti efektivnu dozu višu od 1 mSv od izvora ionizirajućeg zračenja koji su uključeni u djelatnosti s izvorima ionizirajućih zračenja."*

2.1. Elektromagnetsko onečišćenje u općem okolišu

Elektromagnetsko zračenje u općem okolišu uzrokovano je izvorima niskih frekvencija kao što su trafostanice, dalekovodi, električne stanice, željeznička infrastruktura. Zračenje viših frekvencija iz radio aparata, televizora, mobitela, antena operatera je u stalnom porastu. Učinak ove vrste zračenja još nije dobro poznat prvenstveno zbog dosadašnjeg prekratkog vremena izlaganja pa se stoga i ne smatra opasnim (11).

Doza maksimalne ozračenosti stanovništva, definirana Zakonom (9) iznosi 1 mSv godišnje. Riječ je o efektivnoj (ekvivalentnoj) dozi kojom se izražava rizik izlaganja zračenju uzimajući u obzir vrstu zračenja i osjetljivost tkiva. Jednaka je umnošku apsorbirane doze i relativne biološke efikasnosti (RBE). Apsorbirana doza jest količina primljene energije na određenu masu tkiva. Biološki učinak pojedine vrste zračenja definiran je RBE mjerom (12).

Pokazalo se da neionizirajuće zračenje koje postoji u okolišu nema značajnog utjecaja na neuropsihološki razvoj i kognitivne funkcije djece i adolescenata (13). Fiziološke promjene (srčana i respiratorna frekvencija, te glavobolja) kao posljedica radiofrekventnog zračenja također nisu zabilježene (14).

U zadnjih nekoliko godina zabrinutost stanovništva usmjerena je na moguće postojanje štetnih posljedica na zdravlje izazvanih zračenjem mobilnih telefona i antena njihovih operatera. Mišljenje populacije je uglavnom pretjerano i bez dokaza. Internet portal *Index.hr* 2013.-te godine objavio je članak "Koliko nam zapravo štete antene mobilnih operatera" (15) u kojem iznosi reakcije građana na postavljene antene mobilnih operatera: *"Problem Rudešana je taj što je antena postavljena u gusto naseljeno područje. Kažu da zrači i do 1700 puta više od granice koju je postavila Europska unija... Tek je pušteno u funkciju, a već se dosta ljudi žali na nesanicu, glavobolju, nekakve alergije na koži."*

Međutim, povezanost zračenja mobilnih telefona i povećanog rizika za nastanak raka mozga još nije nađena. Istraživanja su pokazala kako osobe koje koriste mobilne telefone dulje od 10 godina nemaju veći rizik za razvoj meningeoma ili glioma u usporedbi s osobama koje ne koriste mobilne telefone (16). Australska studija (17) pokazala je da se incidencija raka mozga između 1989. i 2012.g. nije povećala niti u jednoj dobnoj skupini. Jedini dosad zabilježen učinak mobilnih telefona jest porast temperature na licu,na dijelu na kojem je telefon prislonjen, za otprilike 2ºC (18). Opisan je porast radijacije u automobilima prilikom korištenja bežičnog uređaja za telefoniranje tj. bluetooth-a. Zabilježen je porast specifične apsorpcije za 393% (19). Naime, najviše studija ukazuje na negativne zdravstvene učinke korištenja mobilnih uređaja koji su u stvari posljedica njihova korištenja u prometu pri čemu je otkrivena direktna povezanost s povećanim brojem prometnih incidenata (20).

Budući Zakon ne predviđapropisane vrste i načine zaštite stanovništava, a dosadašnja istraživanja ne ukazuju na moguće štetne zdravstvene posljedice elektromagnetskog zračenja, ostaje pojedincu da samostalno odluči o ponašanju

vezanom uz korištenje tehnologije. I na dalje veći dio javnosti smatra kako nije izvršeno dovoljno istraživanja kako bi se eventualne štetne posljedice mogle u cijelosti odbaciti, pa se stoga najviše govori o povećanom oprezu pri korištenju uređaja koji zrače, posebice u mlađim dobnim skupinama.

2.2. Elektromagnetsko onečišćenje u radnom okolišu

Prekomjerna količina zračenja na radnom mjestu zbog razvoja industrije sve je veća. Izloženijima se smatraju radnici u metalurgiji, zavarivači, medicinski djelatnici, električari, monteri antena i radara i druge srodne djelatnosti.

Zdravstvene posljedice dugotrajnog izlaganja neionizirajućem zračenju uključuju: zagrijavanje tijela (toplinski udar), opekline, kataraktu, konjunktivitis. Međutim, posljedice uzrokovane ionizirajućim zračenjem su opasnije jer osim trenutnih, lokaliziranih posljedica mogu imati i dugoročne. Kratkotrajne zdravstvene posljedice uključuju: eritem, opekline, te ulceracije. Dugoročne zdravstvene posljedice ionizirajućeg zračenjauključuju i karcinogeno, mutageno, te teratogeno djelovanje.

Zakon određuje godišnju i petogodišnju maksimalnu dozu izloženosti radnika (9): *"Efektivna doza izloženih radnika ne smije u normalnim uvjetima tijekom rada biti veća od 100 mSv u razdoblju od pet uzastopnih godina, uz uvjet da niti u jednoj godini petogodišnjeg razdoblja efektivna doza ne smije biti veća od 50 mSv."* Također, Zakon diktira provođenje mjerenja osobne ozračenosti izloženih radnika mjerenjem vanjske i/ili unutarnje ozračenosti (9).

Studija iz 2006. godine (21) pokazala je da je doza radiofrekventnog zračenja kojoj su izloženi radnici, a koja je mjerena na anteni mobilnog operatera, radio i televizijskoj anteni, ispod one propisane Zakonom. Također, nije nađena povezanost između profesionalne izloženosti radiofrekventnom i mikrovalnom zračenju s povećanim rizikom za razvoj raka mozga (gliom i meningeom) (22).

Izloženost neionizirajućem zračenju radnika na radnom mjestu kontrolirana je Zakonom (8) koji ujedno diktira i odgovarajuću zaštitu radnika i odgovarajući zdravstveni nadzor radnika:

1. propisivanje graničnih razina i kontrola izloženosti ljudi neionizirajućem zračenju
2. proračun i procjena razina zračenja u okolišu izvora neionizirajućeg zračenja
3. mjerenje razine zračenja u okolišu izvora neionizirajućeg zračenja
4. vremensko ograničavanje izloženosti ljudi neionizirajućem zračenju
5. označivanje izvora neionizirajućeg zračenja i prostora u kojima su smješteni
6. uporaba zaštitne opreme pri radu s izvorima neionizirajućeg zračenja ili radu u prostorima s neionizirajućimzračenjem
7. određivanje uvjeta za smještaj, nabavu i uporabu izvora neionizirajućeg zračenja
8. obrazovanje i stručno usavršavanje rukovatelja vezano uz zaštitu od neionizirajućeg zračenja
9. utvrđivanje i praćenje zdravlja osoba koje su na radnim mjestima izložene neionizirajućemzračenju
10. osobna i uzajamna zaštita ljudi od izlaganja neionizirajućem zračenju
11. osiguranje stručnih radnika, tehničkih, financijskih i drugih uvjeta za provedbu mjera zaštite od neionizirajućeg zračenja

12. vođenje evidencije o izvorima neionizirajućeg zračenja i o izloženosti rukovatelja izvorima neionizirajućeg zračenja
13. nadzor nad izvorima neionizirajućeg zračenja i nad primjenom mjera zaštite.

Postoje i mjere zaštite radnika (9) od ionizirajućeg zračenja, gdje je poseban naglasak na trudnice*: "Izloženoj radnici tijekom trudnoće nositelj odobrenja, odnosno korisnik mora osigurati radno mjesto na kojem efektivna doza ne smije prijeći 1 mSv. Na radnim mjestima na kojima postoji mogućnost radioaktivnog onečišćenja ne smiju raditi žene koje doje."*

Najučestaliji oblici zaštite na radnom mjestu danas su osobni dozimetar, zaštitne naočale, olovne zaštitne rukavice, pregače i ovratnici, zaštitne pregrade ili paravani (10). Također, uvijek treba organizirati proizvodni odnosno radni proces na način da se izloženost radnika smanjiti na najkraće moguće vrijeme – princip ALARA: *„as low as reasonableachieved“.* Obveza je poslodavca opremiti s odgovarajućom zaštitnom opremom radnika, međutim i radnik je u obvezi koristiti odgovarajuću zaštitnu opremu na ispravan način (23).

3. Biološki učinci elektromagnetskog zračenja

Razvojem industrije i tehnologije uvodi se sve veći broj izvora različitih zračenja. Posljedica toga je sve veće opterećenje organizma pojedinca dodatnim dozama zračenja koje kao najopasnije posljedice mogu imati upravo biološke učinke. Biološki učinci elektromagnetskog zračenja uključuju promjene na molekulama, stanicama, tkivu, organima ili cijelom organizmu koje nastaju kao posljedica djelovanja prevelikih doza zračenja. Ovi će učinci ovisiti o fizičkim osobinama zraka, njihovom apsorpcijom, tj. količinom predane energije pojedinim tkivima te duljini izloženosti (24).

Prolaskom kroz tijelo zračenje izaziva mehaničke vibracije molekula ili ionizira molekule. Ti procesi u tkivu mogu izazivat cijeli niz bioloških promjena. Dolazi do promjene funkcije stanice, poremećaja u diobi, promjene gena čak i smrti stance (25).

Biološki učinak može biti direktan ili indirektan, te somatski ili genetski. Direktan biološki učinak nastaje kada zračenje djeluje na dezoksiribonukleinsku (DNK) molekulu koja sadrži genetske upute za specifični biološki razvoj, ili na neku staničnu komponentu važnu za preživljenje same stanice. Indirektan biološki učinak nastaje djelovanjem zračenja na vodu unutar stanice (26). Somatski učinci javljaju se na ozračenom pojedincu dok se genetski učinci mogu pojaviti (prenijeti genskom uputom) i na njegovu potomstvu (27).

Stohastički su učinci oni koji nastaju pri ozračenosti bilo kojom dozom (28). Obično se ispoljavaju nekoliko godina nakon ozračivanja.

Nestohastički učinci nastaju kada je pređen prag doze ispod koje se biološki učinci ne javljaju (28). Učinak je proporcionalan dozi te se uglavnom očituje pri djelovanju velike doze u kratkom vremenskom razdoblju (29).

3.1. Oštećenja DNA

Ultraljubičasto, kozmičko i ionizirajuće zračenje ima mutageni učinak (27) što znači da dovodi do mutacija na genetičkom materijalu. Najčešće je riječ o točkastim mutacijama. Točkaste mutacije dovode do promjene u redoslijedu nukleotida u samo jednom ili nekoliko kodona. Mogu se očitovat zamjenom baze (jedna baza zamjeni se drugom), delecijom (gubitak jedne ili više baza), adicijom (umetanje jedne ili više baza) u jednom ili više kodona. Adicija i delecija uzrokuju mutaciju pomaka okvira čitanja (*frameshift* mutacija). Točkaste mutacije dovode do promjene kodona koji dovodi do ugradnje "krive" aminokiseline te se stoga takve mutacije nazivaju mutacijama krivog smisla ili *missense* mutacijama. Te mutacije mogu dovesti do sinteze defektnog proteina. Točkaste mutacije koje mijenjaju kodon za neku aminokiselinu u STOP kodon zovemo besmislenim ili *nonsense* mutacijama. Ta vrsta mutacija prijevremeno zaustavljaju sintezu proteina.

Načini oštećenja DNK zračenjem (27):

1. ***Hidrolitičko oštećenje*** koje uključuje reakciju s vodom - spontane točkaste mutacije dovode do gubitka baza, npr. depurinacija ili depirimidinacija.
2. ***Stvaranje adukata*** označava vezanje raznih kemijskih adukata na DNK što može dovesti do supstitucije, delecije ili adicije baza te krivog sparivanja baza u parove (*mismatch*).

3. ***Lom lanca DNK*** nastaje pucanjem kovalentnih veza između fosfata i šećera, pri čemu lomovi mogu biti u jednom ili oba lanca, jednostruki ili dvostruki.
4. ***Dimerizacija*** uzrokuje međusobno spajanje baza istog lanca što onemogućuje replikaciju DNK.

3.1.1. Mehanizmi popravka DNK

Oštećena stanica može popraviti oštećenje i tada se mutacija neće dogoditi. Međutim, ako oštećenje sprječava replikaciju (npr. dimerizacija) ili priječi sintezu proteina (STOP kodon) stanica umire i nema mogućnosti nastanka mutacije niti nasljeđivanja iste. Mehanizmi popravkau pravilu omogućuju stanici preživljavanje. Mehanizmi popravaka su: popravak bez unošenja grešaka, popravak izrezivanjem i popravak uz unošenje grešaka (27).

Najjednostavniji popravak DNK bez unošenja grešaka je fotoreaktivacija. Fotoreaktivacijski enzimi koje aktivira vidljivo svjetlo uzrokuju razvrgnuće timinskihdimera uzrokovanih zračenjem (ultraljubičasto zračenje). Drugi mehanizam popravka jest direktni popravak O6-metilgvanina uz pomoć enzima koji uklanja metilnu skupinu (metiltransferaza) (27).

Popravak izrezivanjem odvija se u nekoliko faza. Enzimi glikozilaze prepoznaju i izrezuju modificirane baze ostavljajući rupu – apurinsko mjesto (AP). Enzim AP endonukleaza prepoznaje mjesto rupe i na tom mjestu trga fosfodiestersku vezu. Enzim egzonukleaza uklanja nekoliko susjednih nukleotida. Na kraju slijedi ponovna sinteza DNK prema kalupu neoštećenog lanca (27).

Popravak uz unošenje grešaka omogućuje stanicama da prežive bez obzira na oštećenje. Upravo je taj mehanizam najopasniji jer ima visok rizik nastanka mutacije.

3.2. Biološki učinci neionizirajućeg zračenja

Ultraljubičasto zračenje, vidljivo svijetlo i infracrvene zrake ubrajamo u optička zračenja. Osim Sunca proizvode ih i žarulje, fluorescentne svjetiljke i laserski uređaji. Učinak na tkivo ostvaruju preko fotokemijskog, kao UV zrake, ili toplinskog učinka, kao infracrvene zrake, dok vidljiva svjetlost ima i fotokemijski i toplinski učinak na tkivo (24).

Ultraljubičasto zračenje s obzirom na valnu duljinu dijeli se u UVA (400–315nm), UVB (315–280nm) i UVC (280–200nm) zračenje. Prekomjerna izloženost ultraljubičastom zračenju dovodi do oštećenja bjelančevina i DNK, što aktivira procese popravka DNK (24). UVC zračenje uzrokuje povezivanje susjednih pirimidina u dimere koji sprječavaju replikaciju DNK (27).

Biološki učinci vidljivog svijetla očituju se kao fotosenzibilizacija. Fotosenzibilizacija nastaje kada fotosenzibilne tvari apsorbiraju fotone vidljivog zračenja i pređu u aktivno stanje. Takvo stanje pokreće kemijske reakcije (fotodinamički učinak) kojima nastaju različiti produkti (fotoprodukti) koji dovode do oštećenja tkiva. Fotosenzibilne tvari mogu biti egzogene, različite kemikalije, lijekovi, ili endogene kao što su porfirini (24).

Infracrvene zrake uzrokuju titranje iokretanje atoma i molekula u tijelu što dovodi do stvaranja jakog toplinskog efekta i zagrijavanje tkiva (24).

Izloženost mikrovalnom i radiofrekventnom zračenju dovodi do zagrijavanja tkiva što je posljedica apsorpcije energije koja izaziva rotaciju molekula u tkivu. Apsorpcija energije ovisi o udaljenost osobe od izvora, usmjerenosti u odnosu na izvor i visini osobe. Apsorpciju opisujemo i pomoću specifične apsorpcije i specifične brzine apsorpcije. Specifična apsorpcija je energija zračenja koju jedinična masa nekog tkiva apsorbira, a specifična brzina apsorpcije jest brzina kojom se ta apsorpcija u tkivu događa (28).

3.3. Biološki učinci ionizirajućeg zračenja

U ionizacijska zračenja ubrajamo gama, x – zrake i kozmičke zrake. U korpuskularna zračenja spadaju alfa zrake, beta zrake (elektroni), protoni i neutroni. Interakcijom tih zračenja s tkivom dolazi do stvaranja određenog broja ionskih parova, to je tzv. linearni prijenos energije i o njemu ovisi biološki učinak zračenja. Linearni prijenos energije (LET) označava količinu energije ionizacijskog zračenja koja se apsorbira po jedinici prijeđenog puta. X, beta i γ zrake spadaju u zračenje niskog LET - a, a α čestice, protoni i neutroni u zračenje visokog LET-a (24).

U ozračenom organizmu prve promjene su na razini atoma i molekula i jako su kratke (10^{-16}sek.). Nakon toga slijede promijene na molekulama – pucanje vodikovih veza, stvaranje slobodnih radikala i pojava produkata radiolize vode (u slučaju hipoksije nastat će manje radioaktivnih produkata negoli u prisutnosti kisika). Biokemijsko oštećenje i morfološke promjene stanica odvijaju se nekoliko sati do nekoliko dana nakon ozračivanja. Tada dolazi do djelovanja oštećenih molekula na metaboličke procese, nastanka toksičnih produkata, tj. metabolita, oštećenja stanične

membrane i promjena u citoplazmi, prestanka dijeljenja, te na kraju dolazi do smrti stanice koja obično nastupa više sati do više dana nakon ozračivanja. Smrt ili potpuni oporavak može uslijediti nakon nekoliko tjedana do nekoliko mjeseci, dok genetičke posljedice u potomstvu ostaju prisutne desetljećima (24).

U oštećenju tkiva glavni okidač je radioliza vode i stvaranje slobodnih radikala. Slobodni radikali uzrokuju daljnje oštećenja molekula i makromolekula. Oštećenje molekula nukleinskih kiselina i proteina može dovesti do inaktivacije stanice.

Visokoproliferativna tkiva, kao što su stanice koštane srži i krvotvorna tkiva, zametni epitel, bazalni slojevi kože, te crijevna sluznica, najosjetljivija su na ionizacijsko zračenje, što je posljedica visoke osjetljivosti same stanice u trećoj fazi interfaze (G2) i mitoznoj (M) fazi staničnog ciklusa. Spolne stanice ili gamete također pokazuju visoku osjetljivost već i pri malim dozama zračenja. Mogu biti zakočene u daljnjoj proliferaciji, a oštećenje njihova DNK može dovesti do mutacije gena (30).

4. Utjecaj elektromagnetskog zračenja na zdravlje

Mnogi uređaji koje danas koristimo zrače. Njihov utjecaj na zdravlje ljudi još nije u potpunosti razjašnjen. Ne postoji jasan dokaz da elektromagnetsko zračenje u okolišu dovodi do povećanog rizika za pojavu određenih bolesti. Međutim, dobro su poznatimutageni i karcinogeni učinci ionizirajućeg zračenja. Ionizirajuće zračenje u okolišu prelazi dopuštene koncentracije samo u izvanrednim uvjetima dok je profesionalna izloženost strogo kontrolirana. Ipak, dugotrajnije i češće izlaganje neionizirajućem zračenju dovodi do određenih posljedica na zdravlje.

4.1. Zdravstvene posljedice neionizirajućeg zračenja

Osim poticajnog djelovanja na imunosni sustav, neionizirajuće zračenje može izazvati i patološke promjene koje, osim zagrijavanja tkiva zabilježenog kao posljedica mikrovalnog i radiofrekventnog zračenja, se očituju samo kod intenzivnijeg izlaganja. Tada se javljaju poremećaji kardiovaskularnog sustava (bradikardija, hipotenzija, produljeno atrio – ventrikulsko provođenje podražaja), središnjeg živčanog sustava (promijene ponašanja, neurastenični sindrom), te hematološkog sustava (akutno - retikulocitoza, limfopenija, nestanak eozinofila, kronično - limfocitoza, eozinofilija) (5). Međutim, neionizirajuće zračenje će kao najčešće zdravstvene učinke izazvati štetne promjene na koži i očima.

Ultraljubičasto zračenje uzrokuje patološke promjene kože. Ovisno o trajanju izloženosti i količini pigmenta u koži javlja se crvenilo kože tj. eritem koje može progredirati sve do opekline. Kronična izloženost UV zrakama uzrokuje zadebljanje

kože, može nastati aktiničkakeratoza pa i karcinom, prvenstveno djelovanjem UVC zraka (neuspio popravak DNK molekula). Aktinička keratoza je rožnata izraslina na koži koja je izložena suncu te se smatra početnim oblikom planocelularnog karcinoma. Već nakon par sati izlaganja UV zrakama dolazi do oštećenja oka.Najčešće nastaje upala spojnice ili konjunktivitis, te, pri dugotrajnijoj izloženosti bez zaštite, fotokeratitis koji se očituje hiperemijom, fotofobijom, blefarospazmom. Osim patoloških učinaka na organizam, UV zračenje djeluje i blagotvorno na zdravlje. Dovodi do sinteze vitamina D i pojačanog stvaranja pigmenta u koži (28).

Vidljivo zračenje u standardnim dozama ne uzrokuje patološke promjene osim u ljudi koji imaju afakiju. Afakija je stanje oka kojem nedostaje leća, može biti urođeno ili stečeno. Oni su osjetljivi na plavo svjetlo (440 – 500nm) te kod njih nastaje tzv. solarni retinitis (upala mrežnice) što može dovesti do prerane degeneracije makule. Fotosenzibilizacija tj. njeni produkti uzrokuju oštećenje kože (24). U prevelikim dozama kao posljedica bliještanja može se pojavitiastenopija tj. umor oka i glavobolja. Pokazalo se da pretjerana izloženost svjetlost velikog intenziteta te stalnim promjenama intenziteta može dovesti do poremećaja cirkadijalnog ritma tj. psiholoških i fizioloških promjena koje su usklađene s izmjenom dana i noći. Također dolazi do makularne degeneracije kao posljedice odumiranja fotoreceptora (neuroni osjetljivi na svjetlost) ili epitelnih stanica pigmentnog sloja mrežnice (31).

Infracrvene zrake (IC) uzrokuju oštećenje oka i kože te mogu izazvat toplinski udar. Zbog jakog toplinskog efekta infracrvene zrake mogu pregrijati izložene dijelove tijela. Dolazi do upale spojnice, opeklina na rožnici i pregrijavanja šarenice. Dugotrajna profesionalna izloženost bez adekvatne zaštite uzrokuje kataraktu (zamućenje leće). Intenzivno infracrveno zračenje izaziva eritem, opekline i pojavu

mjehura na koži (epidermoliza s eksudacijom). U zadnje vrijeme sumnja se da dovodi do preranog starenja kože i prekanceroznih promjena, slično kao ultraljubičasto zračenje (32). Koža svjetloputih osoba jače upija infracrvene zrake pa su promijene kod njih izraženije. Dugotrajno izlaganje IC zrakama također može uzrokovat kronični rinitis i laringitis, upala sluznice nosa i grla, te smanjenje imunoreaktivnosti i sniženje broja spermija (oligospermija) (24).

4.2. Zdravstvene posljedice ionizirajućeg zračenja

Ionizirajuće zračenje može bit akutno ili kronično te lokalno ili opće. Lokalna oštećenja izazvana ionizacijskim zračenjem uglavnom pogađaju kožu. Nastaje eritem, opekline 2. i 3. stupnja, nekroza, ulceracije te rizik za razvoj ishemije, infekcije i sepse (33). Ozračenost cijelog tijela uzrokuje akutnu ili kroničnu radijacijsku bolest. Akutnaozračenost nastaje kada dođe do kratkotrajne ozračenosti velikom dozom. Posljedica je akutni radijacijski sindrom.

Akutni radijacijski sindrom dijeli se u četiri stadija. Prvi stadij (prodromalni) traje jedan do dva dana, te klinička slika uključuje umor, slabost, povraćanja, mučnine i limfopenije (28). Drugi stadij latencije traje jedan do dva tjedna, osoba se dobro osjeća, ali dolazi do limfopenije, granulocitopenije, monocitopenije, trombocitopenije te oligospermije i azoospermije (potpuni nedostatak spermija) u muškaraca (28). Treći stadij traje dva do tri tjedna, a očituje se jasnim znakovima bolesti zračenja. Dolazi do nestajanja krvnih stanica i posljedično tome razvoja infekcija, krvarenja, anemije (5). U četvrtom stadiju dolazi do oporavka ili smrti bolesnika, unutar dva mjeseca.

Kronična radijacijska bolest posljedica je trajnog ili višekratnog ozračivanja organizma. Očituje se povišenjemintrakranijskog tlaka, encefalomijelitisom (24), kroničnim aktiničkim dermatitisom, intestinalnom stenozom, fibrozom pluća, kataraktom. Kao posljedica mutacije gena veća je mogućnost razvoja malignih bolesti kostiju, štitnjače, mozga, krvotvornog sustava i dr.(5).

4.2.1. Karcinogeno djelovanje

Ionizirajuće zračenje ima karcinogeno djelovanje što znači da može prouzročiti karcinome različitih organa. Pojava karcinoma ovisiti će o vrsti izloženog tkiva, vremenu izloženosti i apsorbiranoj dozi. Pokazalo se da se većina karcinoma javlja nakon određenog razdoblja latencije, nekoliko godina do nekoliko desetljeća nakon izloženosti. Srednja latencija u čovjeka je 33 godine (34).

Najčešća zloćudna bolest uzrokovana ionizirajućim zračenjem jest leukemija. Učestalost leukemije linearno je ovisna o dozi što znači da može nastati već pri malim dozama. Srednja latencija leukemije iznosi od 7 do 12 godina (34).

4.2.2. Teratogeno djelovanje

Teratogeno djelovanje odnosi se na oštećenje ploda koje je tijekom intrauterinog razvoja bilo izloženo ionizirajućem zračenju. Budući ionizirajuće zračenje uzrokuje promijene molekule DNK, hidrolizu vode, stvaranje slobodnih radikala koji djeluju na plod u razvoju, tako je najopasnije ozračenost ploda koje se događa u prvom tromjesečju trudnoće kada se odvija organogeneza.

Anomalije mogu biti vidljive odmah pri rođenju djeteta ili nekoliko godina poslije. Uglavnom dolazi do oštećenja središnjeg živčanog sustava, oka, srca, udova, poremećaja metaboličkih i intelektualnih funkcija. Djeca koja su tijekom intrauterinog razvoja bila izložena radijaciji imaju već rizik za razvoj leukemije ili karcinoma u ranijim godinama života (34).

5. Zaključak

Elektromagnetsko onečišćenje i u općem i u radnom okolišu uzrokovano je izvorima zračenja niskih frekvencija, kao i onima visokih frekvencija. Dosadašnja istraživanja pokazuju kako je elektromagnetsko onečišćenje još uvijek unutar zakonom propisanih graničnih vrijednosti. Koliko je točan učinak elektromagnetskog onečišćenja na zdravlje još nije poznato, prvenstveno zbog prekratkog vremena izloženosti. U literaturi se navodi da doze zračenja koje nas trenutno okružuju nisu opasne za zdravlje. Zdravstvene posljedice su uglavnom bezopasne i prolazne. Međutim, već danas je poznato kako veće količine zračenja, koje postoje u radnom okolišu, mogu dovesti do težih oštećenja ako se ne kontroliraju.

Zbog daljnjeg napretka industrije i načina života koji zahtijeva veliku uporabu električnih uređaja za očekivati je i sve veći porast elektromagnetskog zračenja u okolišu. Vjerojatnost da će to rezultirati većom izloženosti pojedinaca prekomjernoj ozračenosti i time većim štetnim posljedicama za organizam je vrlo velika. Kako bi se sa sigurnošću moglo dokazati ili odbaciti postojanje štetnih zdravstvenih posljedica na ljude potrebno je provesti mnogo epidemioloških istraživanja koja će u vremenu dati konkretne pokazatelje. Budući problem elektromagnetskog zagađenja svakodnevno raste potrebno je konstantno praćenje kako bi se izbjegle eventualne neželjene posljedice. To naravno uključuje i zakonodavni okvir koji se mora poštivati, te stalno praćenje doza u okolišu kako bi se spriječilo pojavljivanje štetnih zdravstvenih posljedica koje bi mogle nastati uslijed kumulativnog učinka različitih vrsta zračenja.

6. Zahvale

Zahvaljujem doc. dr. sc. Iskri Alexandri Noli na mentorstvu, strpljenu i pruženoj pomoći tijekom pisanja ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem Marku Šoštariću, dipl. ing. fizike na pomoći pri pisanju ovoga rada.

I posebno se zahvaljujem obitelji na podršci tijekom cijeloga studija kao i pri pisanju ovoga rada.

7. Literatura

1. Brković N. Fizika 3: udžbenik za 3. razred gimnazija. Svjetlost. 2.izd. Zagreb: Luk d.o.o; 1998. Str. 99-106.
2. Mahajan A, Singh M. Human Health and Electromagnetic Radiations. IJEIT. 2012;1(6):95-7.
3. Sabbatini RME (ed.) Non Ionizing Electromagnetic Radiation in the Radiofrequency Spectrum and its Effects on Human Health. ScientificReview. Latin American Experts Committee on High Frequency Electromagnetic Fields and Human Health; 2010. [pristupljeno: 19.05.2016.]. Dostupno na: http://www.wireless-health.org.br/downloads/LatinAmericanScienceReviewReport.pdf
4. Brković N. Fizika 3: udžbenik za 3. razred gimnazija. Elektromagnetni valovi. 2.izd. Zagreb: Luk d.o.o.; 1998. Str. 83-98.
5. Beritić-Stahuljak D, Žuškin E, Valić F, Mustajbegović J. Fizikalni čimbenici radne okoline.U: Beritić-Stahuljak D, Žuškin E, Valić F, Mustajbegović J. ur. Medicina rada. 2. izd. Zagreb: Medicinska naklada; 1999. Str. 23-40.
6. Generalić E. Elektromagnetski spektar [slika s interneta] [pristupljeno: 25.05.2016.]. Dostupno na: http://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=spektar+elektromagnetskog+zra%C4%8Denja
7. World Health Organization (WHO). Environmental radiation [slika s interneta] [pristupljeno: 10.05.2016.]. Dostupno na: http://www.who.int/ionizing_radiation/env/en/

8. Narodne Novine (2010) Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja. Zagreb: Narodne novine d.d., 91.
9. Narodne novine (2006) Zakon o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i sigurnosti izvora ionizirajućeg zračenja. Zagreb: Narodne novine d.d., 64.
10. Narodne novine (2013) Pravilnik o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s električnim uređajima koji proizvode ionizirajuće zračenje. Zagreb: Narodne novine d.d., 783.
11. Kottou S, Nikolopoulos D, Vogiannis E, Koulougliotis D, Petraki E,Panayiotis H YannakopoulosPH. How Safe is the Environmental Electromagnetic Radiation? J Phys Chem Biophys. 2014;4:146.doi:10.4172/2161-0398.1000146
12. Hebrang A. Jedinice za mjerenje zračenja i doze u dijagnostičkoj i intervencijskoj radiologiji. U: Hebrang A et Klarić-Čustović R. ur. Radiologija. 3. izd. Zagreb: Medicinska naklada; 2007. Str. 23-6.
13. Gallastegi M, Guxens M, Jimenez-Zabala A, Calvente I, Fernandez M, Birks L et al. Characterisation of exposure to nonionising electromagnetic fields in the Spanish INMA birth cohort: study protocol. BMC Public Health. 2016;16:167.doi: 10.1186/s12889-016-2825-3
14. Kwon MK, Choi JY, Kim SK, Yoo TK, Kim DW. Effects of radiation emitted by WCDMA mobilephones on electromagnetic hypersensitive subjects. EH journal. 2012;11:69.
15. Media servis. Koliko nam zapravo štete antene mobilnih operatera. Index. 15.06.2013. [pristupljeno: 10.05.2016.]. Dostupno na: http://www.index.hr/vijesti/clanak/koliko-nam-zapravo-stete-antene-mobilnih-operatera/683525.aspx

16. Schüz J, Böhler E, Berg G, Schlehofer B, Hettinger I, Schlaefer J et al. Cellular Phones, Cordless Phones, and the Risks of Glioma and Meningioma (Interphone Study Group, Germany). Am J Epidemiol. 2006;163(6):512-20.doi: 10.1093/aje/kwj068
17. Chapman S, Azizi L, Luo Q, Sitas F. Has the incidence of brain cancer risen in Australia since the introduction of mobile phones 29 years ago? CancerEpidemiology. 2016.doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.canep.2016.04.010
18. Anderson V, Rowley J. Measurements of skin surface temperature during mobile phone use. BEMS. 2007;28(2):159-62.doi: 10.1002/bem.20282
19. Dhami AK. Studies on Cell-phone Radiation Exposure Inside a Car and Near a Bluetooth Device. International Jr of Environmental Research. 2015;9(3):977-80.
20. Zhaoa N, Reimera B, Mehlera B, D'Ambrosioa LA et Coughlina JF. Self-reported and observed risky driving behaviors among frequent and infrequent cell phone users. Accident Analysis & Prevention. 2013;61:71-7.
21. Alanko T, Hietanen M.Occupational exposure to radiofrequency fields in antenna towers. Radiat Prot Dosimetry. 2007;123(4):537-9.doi: 10.1093/rpd/ncl505
22. Berg G, Spallek J, Schüz J, Schlehofer B, Böhler E, Schlaefer K et al. Occupational Exposure to Radio Frequency/Microwave Radiation and the Risk of Brain Tumors: Interphone Study Group, Germany. Am J Epidemiol. 2006;164(6):538-548.doi: 10.1093/aje/kwj247
23. Narodne novine (2014) Zakon o zaštiti na radu. Zagreb: Narodne novine d.d., 1334.

24. Gamulin S, Marušić M, Kovač Z i sur. Fizički etiološki čimbenici. U: Gamulin S, Marušić M, Kovač Z i sur. (ur.). Patofiziologija. 7. izd. Zagreb: Medicinska naklada; 2011. Str. 734-45.
25. Tang FR et Loke WK. Molecular mechanisms of low dose ionizing radiation-induced hormesis, adaptive responses, radioresistance, bystander effects, and genomic instability. International Jr of Radiation Biology. 2015;91(1):13-27.doi:10.3109/09553002.2014.937510
26. Ravanat JC, Douki T, Cadet J. Direct and indirect effects of UV radiation on DNA and its components. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 2001;63(1-3):88-102.
27. Crnek-Kunstelj V. Temeljni genetički mehanizmi. U: Crnek-Kunstelj V., ur. Medicinska biologija. Zagreb: Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu; 2003. Str. 51-94.
28. Beritić-Stahuljak D, Brumen V. Zdravstveni učinci fizikalnih čimbenika okoliša. U: Valić F i sur., ur. Zdravstvena ekologija. Zagreb: Medicinska naklada; 2001. Str. 77-85.
29. Bolus N. Basic Review of Radiation Biology and Terminology. J Nucl Med Technol. 2001;29(2):267-73.
30. Anastasov N, Höfig I, Gonzalez Vasconcellos I, Rappl K, Braselmann H, Ludyga N et al. Radiation resistance due to high expression of miR-21 and G2/M checkpoint arrest in breast cancer cells. Radiation Oncology. 2012;7:206.doi: 10.1186/1748-717X-7-206
31. Contin MA, Benedetto MM,Quinteros-Quintana ML, Guido ME. Light pollution: the possible consequences of excessive illumination on retina. EYE. 2016;30:255-63. doi: 10.1038/eye.2015.221

32. Schieke SM, Schroeder P et Krutmann J. Cutaneous effects of infrared radiation: from clinical observations to molecular response mechanisms. Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine. 2003;19(5):228-34.doi: 10.1034/j.1600-0781.2003.00054.x
33. Ryan JL. Ionizing Radiation: The Good, the Bad, and the Ugly. JID. 2012;132(3):985-93.
34. Hebrang A. Ionizirajuće zračenje i biološki učinci. U: Hebrang A et Klarić-Čustović R. ur. Radiologija. 3. izd. Zagreb: Medicinska naklada; 2007. Str. 1-22.

8. Životopis

Rođena sam u Zagrebu 25.09.1990. godine. U Zagrebu sam 2005. godine završila osnovnu školu "August Šenoa" te sam upisala I. gimnaziju u Zagrebu. Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu upisala sam 2009. godine.