

# Utjecaj zračenja mobitela na razvoj tumora

---

Žunić, Lucija

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:586265>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-18**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
ODSJEK ZA MOLEKULARNU BIOLOGIJU**

**UTJECAJ ZRAČENJA MOBITELA NA RAZVOJ TUMORA  
THE IMPACT OF CELL PHONE RADIATION ON THE TUMOR  
DEVELOPMENT  
SEMINARSKI RAD**

Lucija Žunić  
Preddiplomski studij biologije  
(Undergraduate Study of Biology)  
Mentor: doc. dr. sc. Inga Marijanović

Zagreb, 2016.

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	2
2. ELEKTROMAGNETSKO ZRAČENJE.....	4
3. MOBILNI UREĐAJI.....	6
3.1. Utjecaj mobilnih uređaja na biološki organizam.....	6
4. TUMORI.....	8
4.1. Nastanak tumora.....	8
4.2. Tumor kao posljedica ionizirajućeg zračenja.....	9
4.3. Utjecaj mobilnog zračenja na ekspresiju gena.....	9
4.4. Utjecaj mobilnog zračenja na deoksiribonukleinsku kiselinu (DNA).....	10
4.5. Utjecaj mobilnog zračenja na tumor mozga.....	11
4.6. Utjecaj mobilnog zračenja na razvoj tumora.....	12
5. SAŽETAK.....	14
6. SUMMARY.....	15
7. LITERATURA.....	16
7.1. Internetski izvori.....	17

## 1. UVOD

U današnje vrijeme sve se više koriste mobilni uređaji i njima slični aparati koji emitiraju radiofrekvencijsko zračenje. Mobilni telefoni su postali sveprisutni i dio su svakodnevice većine stanovništva. Prema dosadašnjim istraživanjima (1), uporaba mobitela na svjetskoj razini se značajno povećala u odnosu na prije 10 godina, za čak 3 puta. U razvijenim zemljama poput Velike Britanije, Njemačke, Švicarske prosječan čovjek ima ili će uskoro imati 2 mobitela što zbog privatnih, poslovnih i drugih obaveza. Osim toga, skoro svako dijete starije od 10 godina ima svoj vlastiti mobitel. Povećanje broja mobitela po čovjeku dovodi do „sekundarne uporabe mobitela“ te baš kao i kod pušenja, ljudi su izloženi utjecaju od nekoliko stotina mobitela odjednom. Time se povećala i količina zračenja te se nameće pitanje učinka tih aparata na zdravlje i dobrobit ljudskog organizma.

Već je dobro poznat mehanizam djelovanja mobilnih aparata i utjecaj zračenja na različita tkiva i promjene unutar njih. No kako ti procesi utječu na čovjekovo zdravlje i biološki organizam nepoznanica je za kojom znanstvenici tragaju već dugo vremena. Zadnjih godina su mobilni uređaji na meti mnogih članaka i spekulacija o uzroku raka te su postali predmetom intenzivne rasprave. Provedeno je mnogo istraživanja čiji su rezultati ponekad različiti i kontradiktorni te se i dalje ne zna točan utjecaj mobilnih telefona. Unatoč tome, svi smo svjesni činjenice da mobilno zračenje nije dobro te šteti svakom biološkom organizmu. Jedino pitanje ostaje u kolikoj je mjeri zapravo štetno. Međunarodna agencija za istraživanje raka je 2013. godine klasificirala radiofrekvencijsko zračenje u skupinu potencijalnih karcinogena za ljude (2). S obzirom da je još uvijek nepoznat utjecaj zračenja na biološki organizam, sumnja u propisane sigurnosne standarde nije opravdana te je naša zajednica dodatno motivirana preporukom WHO-a koja potiče potrebu za daljnjim provođenjem istraživanja kako bi ta nepoznanica postala donekle razumljiva svakoj osobi (3).

Neke od zabilježenih nuspojava inducirane elektromagnetskim zračenjem su tumori mozga, neplodnost u muškaraca te imuno disfunkcija s povećanom osjetljivošću na infekcije. S obzirom na to da radiovalovi, niskofrekventni elektromagnetski valovi imaju relativno malu prodornost, njihov utjecaj na tumorske stanice je još uvijek nepoznanica. Iako su brojne studije istraživale povezanost izloženosti radiofrekvencijskom (RF) zračenju i moždane električne aktivnosti, kognitivnih funkcija, otkucaja srca i krvnog tlaka, nije bilo konzistentne povezanosti (4). Izlaganje RF zračenju ispod ograničenja (tablica 1) ne uzrokuje posljedice na

zdravlje opće populacije. Postoje znanstveni dokazi koji upućuju na neke biološke promjene koje se događaju pri izlaganju unutar ograničenja, no biološke promjene ne utječu uvijek loše na zdravlje (5).

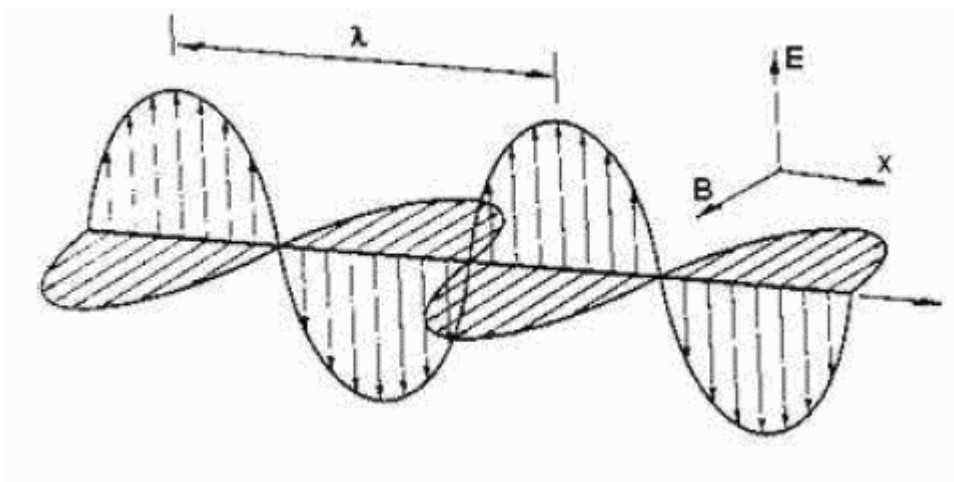
Cilj ovog rada je analizirati već poznate rezultate provedenih istraživanja kako bi se utvrdila povezanost zračenja mobilnih uređaja i razvoja tumora.

**Tablica 1.** Ograničenja izlaganja RF zračenju preporučena od strane NRPB-a i ICNIRP-a za radnike te za opću populaciju (6, 7)

	SAR* (W/kg)		
	Radnik NRPB/ICNIRP	Opća populacija NRPB	Opća populacija ICNIRP
<b>Cijelo tijelo</b>	0.4	0.4	0.08
<b>Glava i trup</b>	10	10	2.0
<b>Udovi</b>	20	20	4.0

## 2. ELEKTROMAGNETSKO ZRAČENJE

Elektromagnetsko (EM) zračenje je svuda oko nas, od Sunčevog zračenja pa sve do kućanskih aparata, antena, dalekovoda i radiokomunikacijskih sustava. To je fizikalna pojava širenja energije u okolni prostor, odnosno širenje električnih i magnetskih valova (fotona), koji se gibaju brzinom svjetlosti i sadrže određenu količinu energije. EM zračenjem energija se prenosi putem oscilirajućeg električnog i magnetskog polja koji se u prostoru šire okomito jedno na drugo te su u odnosu sa smjerom širenja energije. Jakost električnog polja ( $E$ ) proporcionalna je naponu, dok je jakost magnetskog polja ( $B$ ) proporcionalna jakosti struje. Dakle, svugdje gdje postoji struja i napon postoje električna, magnetska i EM polja (Slika 1).

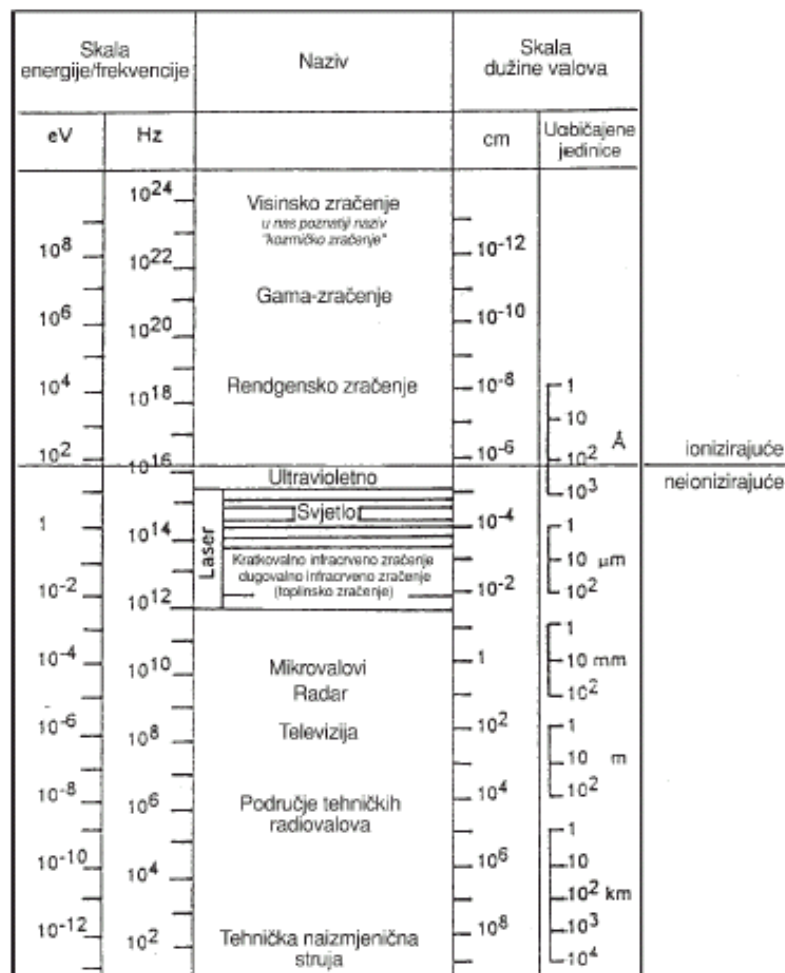


**Slika 1.** Transverzalni elektromagnetski val i elektromagnetsko polje  
(Preuzeto sa [www.maturski.org](http://www.maturski.org))

Svrstani su u elektromagnetski spektar (Slika 2) koji se proteže od valova najmanje frekvencije i najveće valne dužine do valova najveće frekvencije i najmanje valne dužine. Energija valova veća je što je veća frekvencija i što je kraća valna dužina. Spektar elektromagnetskog zračenja dijeli se na dva dijela: neionizirajuće i ionizirajuće zračenje. Valovi, zrake velike energije, mogu iz ljuske atoma izbaciti elektrone i time ionizirati atom, pa se zovu ionizirajuće zrake. Te ionizirajuće zrake, kao što su krajnji dio UV zračenja, X-

zrake (rendgenske), gama zrake ili kozmičke zrake, mogu štetno djelovati na ljudske stanice, npr. uzrokujući tumore. Zrake manje energije, primjerice radiovalovi, mikrovalovi, vidljiva svjetlost, infracrvene i ultraljubičaste zrake nemaju tu jačinu koja dovodi do ionizacije i zato se zovu neionizirajuće zrake. Njihovo djelovanje na organska tkiva zbog slabe energije teoretski može biti štetno pri dugom izlaganju, ali mnogo manje štetno od ionizirajućeg zračenja. One ne mogu lomiti kemijske veze između molekula niti ionizirati tkiva i na taj način oštetiti stanice biološkog organizma poput ionizirajućeg zračenja. Međutim, ovisno o frekvenciji i intenzitetu mogu djelovati na spinska stanja atomskih jezgara i elektrona, rotacijska ili vibracijska stanja molekula te translacijska gibanja malih molekula (8, 9).

### ELEKTROMAGNETSKI VALOVI



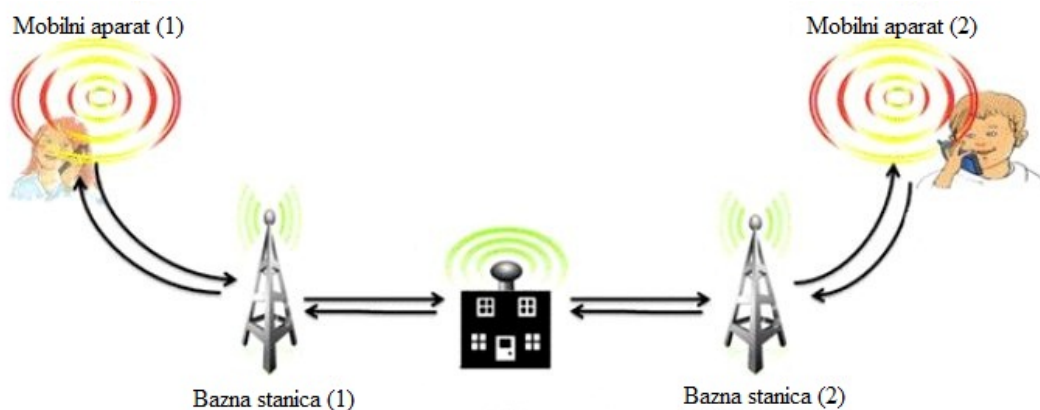
**Slika 2.** Spektar elektromagnetskih valova

(Preuzeto sa [www.zpr.fer.hr](http://www.zpr.fer.hr))

### 3. MOBILNI UREĐAJI

Mobiteli su uređaji koji emitiraju niskofrekventne elektromagnetske valove, odnosno radio valove i to samo onda kada su uključeni. Zapravo su mobiteli, mogli bismo reći, visokosofisticirani radio aparati.

Mobilni telefoni komuniciraju odašiljući radio valove preko mreže antena koje zovemo bazne stanice. Bazne stanice mogu biti male i velike, a uglavnom se grade na razdaljinama od 200 do 500 metara u gradovima te na 2 do 5 kilometra u ruralnim područjima. Odašiljači koji se postavljaju na bazne stanice proizvode radiofrekvencijska polja. Kod uspostave poziva (Slika 3), radiosignali se u obliku radiovalova šalju do najbliže bazne stanice koja ih prenosi do drugog mobilnog aparata ili u fiksnu mrežu.



**Slika 3.** Veza bazne stanice i mobilnog aparata prilikom uspostave poziva  
(Preuzeto sa [www.racunalo.com](http://www.racunalo.com))

#### 3.1. Utjecaj mobilnih uređaja na biološki organizam

Pri dodiru ili prolasku vala neionizirajućeg zračenja kroz biološki sustav može doći do refleksije, transmisije, refrakcije, disperzije ili apsorpcije vala. Znači da ovisno o valnoj duljini zračenja, biološki organizam može biti transmitivan ili apsorbiran te se energija zračenja u njemu može prenositi ili pohraniti. Apsorbirana energija se može pretvarati u druge oblike molekularne energije kao što su npr. termalna, vibracijska, rotacijska ili elektronska



energija. Apsorbirana energija ovisi o frekvenciji, jakosti i polarizaciji vala, o veličini zone polja te o obliku, električnoj permitivnosti i vodljivosti same jedinice koja je izložena zračenju (2). Mjera apsorbirane energije u tkivu se izražava kao specifična brzina apsorpcije energije po određenoj masi tkiva (eng. Specific Absorption Rate, SAR) te se mjeri jedinicom W/kg. Apsorbirana energija se uglavnom rasprši u toplinskom obliku, pa se SAR-om određuje količina raspršene toplinske energije. Prema jednadžbi 1 se vrijednost SAR-a definira kao promjena energije (W) koja se apsorbira u promjenjivoj masi tkiva (m) sadržanoj u volumenu (V) određene gustoće ( $\rho$ ) tijekom vremena (t) (10).

$$\text{SAR} = \frac{d}{dt} \left( \frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left( \frac{dW}{\rho dV} \right) \quad (1)$$

Osnovni mehanizam interakcije radiovalova i ljudskog tijela je zagrijavanje. Većinu energije apsorbiraju koža i površna tkiva kao što su oči, mišići, jetra i bubreg zbog velikog udjela vode u tkivu. Porast temperature u mozgu, masnom tkivu i drugim dublje smještenim tkivima te organima poput kosti je mnogo manji (11).

Zabilježeno je da EM valovi iz mobilnih telefona mogu ometati djelatnost obrade signala mozga zbog njihove oscilatorne sličnosti svojstvene ujednačenom moždanom ritmu poput elektromagnetskih smetnji koje nastaju tijekom korištenja mobilnih aparata u zrakoplovu. Na visokim razinama gustoće u organizmu dolazi do termalnih učinaka i javljaju se toplinom inducirani mehanizmi stresa. Manje razumljivi netermalni učinci se javljaju na niskim radiofrekvencijskim razinama gustoće u organizmu i nisu popraćeni porastom tjelesne temperature. Međutim, jedan od uvjerljivih podataka kojim bi se objasnilo djelovanje netermalne razine RF zračenja uključuje stvaranje reaktivnih kisikovih spojeva, učinak na ravnotežu oksidacijsko-redukcijskih procesa te samim time i nastajanje oksidacijskog stresa. Sigurnosni standardi uspostavljeni od strane međunarodnih agencija temelje se na termalnim učincima, pritom zanemarujući rezultate znanstvenih istraživanja u kojima su značajni učinci zračenja pronađeni i na netermalnim izvorima.

## 4. TUMORI

Tumor je masa izmijenjenog tkiva, odnosno izmijenjenih stanica koje pokazuju progresivan i nepravilan rast. Mogu biti maligni, takozvani zloćudni, svima poznati pod nazivom „rak“ te benigni, odnosno dobroćudni. Razlikuju se u tome što zloćudni tumori metastaziraju te se, razarajući ga šire na okolno tkivo, a benigni se ne šire u okolno zdravo tkivo nego ga samo potiskuju te oko njega stvaraju masu.

Tumori ne nastaju u jednom točno određenom trenutku ili pak u kratkom vremenskom razdoblju. To je složen proces koji se sastoji od niza promjena prvenstveno na genotipskoj, a samim time i na fenotipskoj razini. Taj niz promjena koji vodi od zdravog stanja stanice do pojave tumora najčešće traje mjesecima i godinama.

### 4.1. Nastanak tumora

Za razliku od normalne stanice, tumorska stanica je nediferencirana, ima nekontrolirani rast u više slojeva, abnormalne jezgre i skraćeni stanični ciklus te nema kontaktne inhibicije. Klonalnim bujanjem jedne jedine stanice koja je pretrpjela genetsko oštećenje i izgubila normalnu regulaciju kontrolnih mehanizama rasta i diobe stanice nastaje tumorska masa. Dakle, ona potječe od jedne stanice u kojoj su se određeno duže vremensko razdoblje nagomilavale razne mutacije gena odgovornih za reprodukciju i regulaciju rasta same stanice. Za te mutacije odgovorni su karcinogeni, tvari koje izazivaju genetska oštećenja u stanici koja će dovesti do nekontroliranog dijeljenja i rasta stanice. Te tvari mogu biti razni kemijski agensi, fizičke prirode poput ionizacijskog zračenja i ultravioletnih zraka ili virusni agensi. Osim toga, uzrok mogu biti i spontane reakcije koje se dešavaju u organizmu te dovode do gubitka normalne fiziološke regulacije kontrolnih mehanizama rasta stanice.

Kemijska karcinogeneza se odvija kroz nekoliko faza. Prva od njih je inicijacija prilikom koje dolazi do ireverzibilne promjene genetskog materijala u stanici uslijed interakcije s nekom karcinogenom tvari. Slijedi faza promocije u kojoj promotor ne uzrokuje mutacije, nego stimulira proliferaciju već mutiranih stanica i na taj način pridonosi nastanku tumora. Posljednju fazu progresije karakterizira autonomni i ubrzan rast uslijed akumulacije genskih mutacija, invazivnost te nastanak metastaza, a djelovanje inicijatora i promotora više nije potrebno.

Ukoliko se dio stanica primarnog tumora otkine i prodre u krv ili putem limfe u okolno tkivo te nastavi rasti u drugom tkivu, nastaju metastaze koje su ovisne o procesu angiogeneze. Stvaraju se nove krvne žile iz već postojećih kapilara koje tumorskim stanicama osiguravaju dotok kisika i hranjivih tvari.

#### 4.2. Tumor kao posljedica ionizirajućeg zračenja

Od zračenja se nikamo ne možemo sakriti, s obzirom da je ono svuda oko nas. Svaki čovjek godišnje primi ekvivalentnu dozu zračenja preko udisanja radona, drugih radionuklida unesenih u tijelo putem hrane, lijekova i slično te putem Zemljinog i Kozmičkog zračenja. No to su male doze iz prirodnih izvora i ne predstavljaju opasnost za čovjekovo zdravlje. Kada se govori o opasnostima od zračenja, misli se na ionizirajuće zračenje koje ima dovoljnu energiju da u međudjelovanju s nekom tvari ionizira tu tvar. Dolazi do izmjene energije i izmjene strukture ozračene tvari, odnosno promjene u sastavu atoma ili atomske jezgre. Tako nastali ioni najčešće narušavaju biokemijske procese u stanicama što uzrokuje poremećaje u funkciji i dijeljenju stanica, a također može usporiti i inhibirati diobu. Ako se stanice u diobi ozrače, ovisno o dozi zračenja, tipu stanica i stadiju ciklusa, može doći do trenutne smrti, interfazne smrti (smrti stanice nakon nekog vremena nakon ozračivanja) ili do preživljavanja stanice s mutacijom. U posljednjem slučaju može izazvati čitav spektar nasljednih promjena koje mogu biti male poput promjene u pojedinom genu, veće poput onih koje nastaju lomovima kromosoma i spajanjem preostalih dijelova, do veoma opsežnih kada se mijenja i kompletni broj kromosoma.

Tumori su vidljivi tek nakon određenog vremena latencije, a može ih izazvati i veoma mala doza zračenja koja je dovoljna da inicira genetičku promjenu u stanici i započne proces karcinogeneze.

#### 4.3. Utjecaj mobilnog zračenja na ekspresiju gena

Reetta Nylund i Dariusz Leszczynski finski su znanstvenici koji su ispitali učinak mobilnog zračenja na gene i ekspresiju proteina u ljudi (12). Koristeći 2 varijeteta ljudske endotelne stanične linije (EA.hy926 i EA.hy926v1) ispitali su odgovor stanice na mobilno zračenje (900

MHz GSM signal) u *in vitro* uvjetima. Nakon jednosatnog izlaganja mobilnom zračenju srednjeg SAR-a od 2,8 W/kg, ekspresije gena i proteina su bile promijenjene u obje stanične linije. Pokazali su da mobilno zračenje aktivira stresni odgovor stanice povećanjem ekspresije i fosforilacije malog stresnog proteina Hsp27 čija aktivnost ima fiziološki učinak na stanicu. Također su pokazali da mobilno zračenje uzrokuje ekspresiju citoskeletnog proteina vimentina. U stanicama jedne stanične linije je ekspresija gena bila pojačana dok je u stanicama druge linije učinak bio suprotan. Veliki je broj gena i proteina koji su pogođeni izlaganjem zračenju u svakoj od linija, ali je odgovor na zračenje drugačiji. Iz toga se može zaključiti da bi stanični odgovor na zračenje mobilnog telefona mogao biti ovisan o genomu, odnosno o proteomu same stanice (12).

#### 4.4. Utjecaj mobilnog zračenja na deoksiribonukleinsku kiselinu (DNA)

Utjecaj zračenja iz mobilnih telefona na deoksiribonukleinsku kiselinu može se pratiti koristeći tehnike fluorescencije. Glavna posljedica je uništavanje DNA. S obzirom da je DNA građena od para komplementarnih lanaca, može doći do pucanja samo jednog od njih ili oba. Kako se fluorescencija emitira iz boje kojom je obojan medij s DNA, a boja je vrlo sjeljiva na strukturne varijacije DNA zavojnice, za proučavanje se koristi obojana vodena otopina DNA (1).

U jednom eksperimentu, znanstvenici su koristili mobilne telefone kao izvor zračenja da bi analizirali posljedice u *in vivo* uvjetima (1). Eksperiment se proveo koristeći GSM signal. Dva mobitela različitih SAR vrijednosti su postavili sa svake strane kivete u kojoj se nalazila obojana vodena otopina DNA. Pozivi su obavljani s jednog mobitela na drugi u trajanju od sat vremena, a apsorpcija i fluorescencija su mjerene koristeći UV/VIS/NIR spektrofotometar i fluorimetar. Isti postupak su ponovili s drugim SAR vrijednostima mobitela. Zatim su, da potvrde rezultate, ponovili postupak s različitom jačinom i frekvencijom mikrovalnog zračenja. SAR vrijednost mobilnog telefona je varirala od 0,9 do 1,4 W/kg. Cijeli uzorak je pokazivao apsorpcijski maksimum na 260 nm što je i karakteristika DNA apsorpcije te je u skladu s prikazanim rezultatima. Ozračeni uzorak je pokazao značajan porast apsorpcijskog maksimuma. Obje DNA, i nativna i denaturirana apsorbiraju UV svjetlost na valnoj duljini od 260 nm zbog aromatičnosti njihovih dušičnih baza. Međutim, slaganje dušičnih baza u nativnoj DNA ometa UV apsorpciju rezultirajući nižom apsorpcijom. Denaturacija narušava takvo slaganje dušičnih baza što omogućava više apsorpcije po bazama.

Povećanje apsorpcije ukazuje na degradaciju, odnosno odmotavanje DNA molekule iz dvolančane strukture. Odmotavanje DNA je jako osjetljivo na jakost mikrovalnog zračenja. Da bi u potpunosti razumjeli odmotavanje iz DNA strukture, proučavali su emisiju fluorescencije iz pripremljene otopine nakon izlaganja zračenju od jednog sata. Intenzitet fluorescencije ozračenih uzoraka je smanjen u svim slučajevima što ukazuje na to da se apsorbirana energija koristi za otpuštanje dvostruke zavojnice DNA nakon izlaganja mikrovalnom zračenju. Zbog umetanja i vezanja boje na DNA, molekule postaju izolirane jedna od druge i time se smanjuje suzbijanje fluorescencije uzrokovano agregacijom. Prema apsorpcijskom spektru jasno se vidi da je DNA odmotana zbog mobilnog zračenja. To odmotavanje će otpustiti boju između baza što će voditi agregaciji boje u mediju i posljedično smanjenju intenziteta fluorescencije.

#### 4.5. Utjecaj mobilnog zračenja na tumor mozga

Iako se znanstvenici slažu s tvrdnjom da je tumorogeneza povezana s fizičkim stresom i utjecajima okoliša, priroda i postojanje karcergenih učinaka povezanih s elektromagnetskim poljem su ostale nejasne (13).

Tumori imaju višu permitivnost i vodljivost u odnosu na okolno zdravo tkivo zbog velikog sadržaja vode tumorskih stanica. Ta svojstva mogu voditi višoj apsorpciji unutar tumora što zauzvrat može uzrokovati različitu raspodjelu temperature unutar tumora i okolnog zdravog tkiva.

U jednom od eksperimenata, udaljenost mobilnog aparata od glave je jednaka 2 mm, a snaga zračenja je održavana na 250 mW. SAR vrijednosti su više u tumoru nego u istom području glave bez tumora. To povećanje se kreće između 12% i 22% ovisno o izlaganju. Pokazalo se da to povećanje odgovara povećanju dielektričnih svojstava tumora u odnosu na svojstva sive tvari. Termalna svojstva tumora su ista kao i ona kod zdravog tkiva, ali protok krvi u tumoru je upola smanjen (14).

Prilikom promatranja utjecaja radiofrekvencijskog zračenja direktno na tumor, dobiveni su nešto drugačiji rezultati. U drugom eksperimentu (13), ljudske stanične linije glioblastoma su izložene zračenju 1950 MHz pri određenoj brzini apsorpcije (maksimalna vrijednost SAR = 5.0W/kg) tijekom 12, 24 i 48 sati. Staničnu građu i ultrastrukturu su promatrali mikroskopom, a stope apoptoze i napredovanje staničnog ciklusa su pratili metodom protočne citometrije. Razine ekspresije tumora i apoptoze vezanih gena te protein-vezanih gena su analizirane

metodama PCR i Western blotting. Za sve promatrane stanične linije glioblastoma nije bilo značajnih promjena u ranoj i kasnoj fazi apoptoze između kontrolnih i izloženih skupina te je životnost ljudskih stanica glioblastoma ostala nepromijenjena nakon izlaganja do 48h. Morfologija stanica je također ostala ista, a životni ciklus stanica se odvijao u svima jednako. Pokazalo se da radiofrekvencijsko zračenje nema očitih utjecaja na stvaranje, razvoj i napredovanje glijalnih tumora (13).

#### 4.6. Utjecaj mobilnog zračenja na razvoj tumora

Peter Kan i suradnici su 2007. napravili istraživanje u kojem su udružili sve raspoložive studije u razdoblju od 2000. do 2006. godine. Koristeći se meta-analizom, napravili su skupnu procjenu upotrebe mobilnih telefona i rizika od razvoja tumora mozga. Nadali su se da će istražiti kako potencijalno važne kliničke varijable (npr. trajanje uporabe i vrsta telefona) mogu utjecati na rizik od razvoja tumora kod korisnika mobitela. Uzeli su podatke iz 9 studija i izračunali omjere (OR) za skupni učinak, za određene tumore te za vrstu izlaganja zračenju i prikazali ih u Tablici 2.

**Tablica 2.** Izgledi za razvoj tumora prema vrsti tumora i načinu izlaganja zračenju (15)

<b>OUTCOME</b>	<b>POOLED OR</b>
<b>Svi tumori mozga (izlaganje uz redovitu uporabu)</b>	0.90
<b>Gliomi niskog stupnja (izlaganje uz redovitu uporabu)</b>	1.14
<b>Gliomi visokog stupnja (izlaganje uz redovitu uporabu)</b>	0.86
<b>Meningiomi (izlaganje uz redovitu uporabu)</b>	0.64
<b>Akustični neuromi (izlaganje uz redovitu uporabu)</b>	0.96
<b>Svi tumori mozga (više od 10 godina izloženosti)</b>	1.25
<b>Svi tumori mozga (izloženost s digitalnom uporabom)</b>	0.86
<b>Svi tumori mozga (izloženost s analognom uporabom)</b>	1.13
<b>Svi tumori mozga (usporedno analogna i digitalna izloženost)</b>	1.22

Ustanovili su da nema povećanja rizika od tumora mozga uporabom mobilnih telefona niti bržeg razvoja tumora. Kod ispitanika s 10 i više godina izlaganja mobilnom zračenju, blago je povišen rizik od razvoja tumora (1.25 OR), no to se još uvijek ne može pripisati mobilnom zračenju (15) pa su potrebna daljnja istraživanja kako bi se u potpunosti razriješio taj problem.

## 5. SAŽETAK

Radiofrekvencijsko elektromagnetsko polje u ljudskom okolišu je uglavnom uzrokovano sistemom mobilne komunikacije. Mobilni uređaji su najnaprednija i brzorastuća tehnologija širom svijeta što pokazuje činjenica da se u posljednjih 10 godina njihova uporaba povećala čak 3 puta. Stvorila se opravdana zabrinutost zbog mogućih štetnih učinaka koja je posebno orijentirana na razvoj tumora mozga. Poznato je da tumori mogu nastati prilikom izlaganja ionizirajućem zračenju jer se mijenja struktura ozračene tvari. No neionizirajuće zračenje koje nema tako veliku energiju da može iz ljuske atoma izbaciti elektron i na taj način ionizirati tvar, ne može izravno oštetiti stanicu biološkog organizma na kemijskom nivou. Iako je provedeno mnogo istraživanja utjecaja mobilnog zračenja na ljudski organizam, tumorske stanice i na sam razvoj tumora, ono još uvijek nije u potpunosti razjašnjeno. Mnogo dobivenih rezultata je različito te se i dalje ne zna točan utjecaj mobilnih telefona. Međunarodna agencija za istraživanje raka je 2011. godine klasificirala radiofrekvencijsko zračenje u skupinu potencijalnih karcinogena za ljude. Sve do danas, većina objavljenih studija provedenih na korištenju mobilnih telefona i tumora mozga nisu pokazale povećani rizik što se tiče cjelokupnog korištenja. Ipak, dobiveni su i pozitivni rezultati u nekoliko manjih analiziranih podskupina, kao što je slučaj s dugoročnim korisnicima i analognim telefonima gdje je u oba slučaja blago povišen rizik od razvoja tumora. Osim toga, zračenje posljedično djeluje na ljudsko zdravlje uništavajući DNA molekulu i mijenjajući ekspresije gena i proteina u organizmu. Da bi se potvrdile dosadašnje teze i pobliže razjasnio utjecaj mobilnog zračenja na biološki organizam potrebno ih je potkrijepiti dodatnim podacima iz budućih istraživanja.



## 6. SUMMARY

Radiofrequency electromagnetic field in the human environment is mainly caused by mobile communication systems. Mobile phones are the most rapidly growing telecommunication technology worldwide which is shown by the fact that in the last ten years their use has increased three times. It created justified concerns about potential adverse effects which are focused on development of brain tumors. It is known that tumors can occur when exposed to ionizing radiation because it changes the structure of the irradiated substance. But non-ionizing radiation which has not such a large energy to eject the electron out of atoms shells and thus ionize the substance, can't directly damage the cells of a biological organism in a chemical level. Although there were a lot of research about influence of the radiation on the human body, tumor cells and tumor development itself, it is still not fully understood. Many of the results is different and it is still not known the exact impact of mobile phones. The International Agency for Research on Cancer in 2011 classified the radiofrequency radiation to a group of potential carcinogenic to humans. Until now, the majority of published studies conducted on the use of mobile phones and brain tumors have not shown an increased risk as regards the overall use. Nevertheless, the obtained results were positive in several subgroups, as is the case with the long-term users and analog phones where in both cases the risk of developing tumors is slightly elevated. In addition, radiation consequently effect on human health by destroying the DNA molecule and altering the expression of genes and proteins in the body. In order to confirm previous theses and closely clarify the impact of mobile radiation on biological organisms, they need to be supported by additional data from future studies.

## 7. LITERATURA

1. Vishnu K, Nithyaja B, Pradeep C, Sujith R, Mohanan P i Nampoori VPN (2011.) Studies on the Effect of Mobile Phone Radiation on DNA Using Laser Induced Fluorescence Technique. ISSN 1054-660X, Laser Physics, Vol. 21, No. 11, pp. 1945–1949.
2. IARC, International Agency for Research on Cancer (2013.) Non-ionizing radiation, Part 2: radiofrequency electromagnetic fields. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Volume 102, 419
3. Marjanović Ana Marija (2015.) Djelovanje moduliranog radiofrekvencijskog zračenja na oksidacijsko-redukcijsku ravnotežu animalnih stanica. Doktorski rad, Zagreb, 2015.
4. ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (2009) Statement on the "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", Health Physics 74 (4):494-522;1998
5. Stewart W, Independent Expert Group on Mobile Phones (2000.) Mobile Phones and Health (The Stewart Report), IEGMP 2000;: 1-167
6. NRPB, National Radiological Protection Board (1993) Restrictions on human exposure to static and time varying electromagnetic fields and radiation: scientific basis and recommendations for the implementation of the Board's statement. Doc NRPB, 4(5), 7-63.
7. ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (1998) Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys, 74(4), 494.
8. WHO, World Health Organization (1993.) Environmental Health Criteria 137: Electromagnetic Fields (300 Hz to 300 GHz). WHO Press, Geneva, ISBN 92-4-157137-3
9. HaSPA, Health and Safety Professionals Alliance (2012.) Physical Hazards: Non-Ionising Radiation–Electromagnetic. Tullamarine, VIC. Safety Institute of Australia. ISBN 978-0-9808743-1-0
10. Vecchia P, Matthes R, Ziegelberger G, Lin JC, Saunders RD, Swerdlow A (2009.) Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz): Review of the Scientific Evidence and Health Consequences, ICNIRP

11. Chou CK, Bassen H, Osepchuk J, Balzano Q, Petersen R, Meltz M i suradnici (1996.) Radio frequency electromagnetic exposure: tutorial review on experimental dosimetry. *Bioelectromagnetics* 17: 195-208
12. Nylund R i Leszczynski D (2006.) Mobile phone radiation causes changes in gene and protein expression in human endothelial cell lines and the response seems to be genome- and proteome- dependent. Research article, *Proteomics* 2006, 6, 4769-4780.
13. Yu-xiao Liu, Guo-qing Li, Xiang-ping Fu, Jing-hui Xue, Shou-ping Ji, Zhi-wen Zhang, Yi Zhang i An-ming Li (2015.) Exposure to 3G mobile phone signals does not affect the biological features of brain tumor cells. *BMC Public Health*, 15:764
14. Cavagnaro M, Bernardi P, Pisa S i Piuze E (2010.) Effect of the presence of a brain tumor on electromagnetic power absorption in the head of a cellular phone user. *Microwave and optical technology letters*, Vol. 52, No. 6, June 2010
15. Kan P, Simonsen SE, Lyon JL i Kestle JRW (2008.) Cellular phone use and brain tumor: a meta-analysis. *Clinical study – patient studies, J Neurooncol*, 86:71–78

### 7.1. Internetski izvori

[http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest\\_classif.php](http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest_classif.php) (pristup 30. kolovoza 2016.)

<http://www.maturski.org/FIZIKA/Interferencija-svjetlosti-novo.html> (pristup 22. lipnja 2016.)

[http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/uvod\\_em.htm](http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/uvod_em.htm) (pristup 22. lipnja 2016.)

<http://www.racunalo.com/bazne-stanice-i-mobilni-uredaji-je-li-strah-od-zracenja-opravan>  
(pristup 22. lipnja 2016.)

[http://www.arpana.gov.au/radiationprotection/basics/ion\\_nonion.cfm](http://www.arpana.gov.au/radiationprotection/basics/ion_nonion.cfm) (pristup 22. lipnja 2016.)