

# Učinak neionizirajućeg zračenja na kognitivne sposobnosti

---

Nikolić, Kristina

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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:217:466700>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-20**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

# Učinak neionizirajućeg zračenja na kognitivne sposobnosti

## Effects of non-ionizing radiation on cognitive abilities

### Završni rad

Kristina Nikolić

Preddiplomski studij molekularne biologije

Undergraduate Study of Molecular Biology

Mentor: prof. dr. sc. Vesna Benković

Zavod za animalnu fiziologiju Prirodoslovno-matematičkog fakulteta

Zagreb, 2021.

# Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Kognitivne sposobnosti i zračenje.....	2
2.1 Elektromagnetski valovi i polja.....	3
2.2 Infracrveno i ultraljubičasto zračenje.....	4
2.3 Infrazvuk i ultrazvuk.....	6
3. Zaključak.....	7
4. Literatura.....	8
5. Sažetak.....	13
6. Summary.....	13
7. Životopis.....	15

## 1. Uvod

Čovječanstvo je postalo svjesno prisustva elektromagnetskog zračenja u svojoj okolini nakon Röntgenovog otkrića X zraka 1895. godine. Nedugo zatim zračenje se počelo koristiti u komercijalne i medicinske svrhe, međutim samo godinu dana nakon otkrića evidentiran je prvi slučaj ozljede nastale izlaganjem X zrakama u vidu opekline na koži. Mnogo ljudi je u međuvremenu zadobilo razne zdravstvene posljedice dok 1965. godine nije osnovana Međunarodna udruga za zaštitu od zračenja (IRPA) s ciljem zaštite ljudskog zdravlja od učinka zračenja. Iako je primarni fokus IRPA-e bila zaštita od ionizirajućeg zračenja, sumnje o negativnom utjecaju neionizirajućeg zračenja na zdravlje ljudi su bile prisutne već 50-ih godina proteklog stoljeća s učestalom uporabom radara za praćenje. U svrhu naglašavanja problematike zaštite od neionizirajućeg zračenja 1977. IRPA je prvi put sazvala Internacionalni odbor za zaštitu od neionizirajućeg zračenja te konačno 1992. godine je utemeljena Međunarodna komisija za zaštitu od neionizirajućeg zračenja (ICNIRP). Pritom je definirano neionizirajuće zračenje kao elektromagnetsko zračenje u koje se ubrajaju ultraljubičasto, infracrveno zračenje i vidljiva svjetlost, elektromagnetski valovi i polja, te infrazvuk i ultrazvuk.

Sa sve širom primjenom neionizirajućeg zračenja u svakodnevnom životu u društvu se stvara sumnja oko mogućih nuspojava prekomjernog izlaganja takvom zračenju, pogotovo po pitanju dugoročnih izlaganja. Većina dosadašnjih istraživanja je ispitivala primarno akutne učinke neionizirajućeg zračenja te fizičke i/ili mjerljive promjene kao rezultat djelovanja takvog zračenja, ali malobrojna istraživanja su se bavila kroničnim učinkom te rezultatom dugotrajnog izlaganja. Unatoč propisima i granicama izlaganja postavljenih od strane ICNIRP-a još uvijek su česte debate o mogućem kumulativnom učinku dugotrajnog izlaganja razini zračenja unutar sigurnosnih granica, pogotovo na čovjekov živčani sustav. Povećana stopa kognitivnih poremećaja u svijetu otvara pitanje njenog uzroka, a jedan od mogućih je i neionizirajuće zračenje. Ovaj rad se stoga bavi dosadašnjim otkrićima po pitanju učinka neionizirajućeg zračenja na kognitivne sposobnosti, ne samo ljudi, već i drugih bića iz carstva *Animalia* u svrhu usmjeravanja budućih istraživanja na potencijalno velika otkrića na području psihologije, medicine, fiziologije i mnogih drugih.

## 2. Kognitivne sposobnosti i zračenje

Kognitivne sposobnosti se definiraju kao mentalne mogućnosti promišljanja, planiranja, rješavanja problema, abstraktnog razmišljanja, razumijevanja kompleksnih ideja, brzog učenja i učenja iz iskustva (Gottfredson, 1997). Mogu se svrstati u nekoliko kategorija, a to su percepcija, pamćenje, učenje, pažnja, odlučivanje i jezične sposobnosti, pri čemu uporaba pojedine vještine potiče aktivaciju određenih skupina neuronskih područja u mozgu koje su neophodne za uporabu pojedine kognitivne vještine (Kiely, 2014; Posner i sur., 1997). Moguće ih je razvijati kroz život, ali one ujedno i slabe kod ljudi od srednje dobi zbog procesa starenja mozga.

Pad kognitivne sposobnosti može bit izazvan raznim faktorima, od kojih su najčešći hormonalna neuravnoteženost, genetska predispozicija i okolišni faktori. Iako na prva dva faktora nije moguće utjecati bez pomoći medicine i biologije, utjecaj okolišnih faktora je moguće umanjiti, na primjer pružanjem svih potrebnih nutrijenata dojenčadi jer je u tom stadiju života kognitivni razvoj osjetljiv na vanjske faktore. Neki od okolišnih faktora su također i toksikanti, pogotovo neurotoksikanti, pojedini lijekovi, tvari poput alkohola i droga, nekontrolirana bolest mozga ili drugih organa (neke od mnogobrojnih su dijabetes, hipertenzija, epilepsija, anksioznost) te fizička trauma. Poznato je da povećana stopa oksidativnog stresa može povećati rizik od pada kognitivnih sposobnosti, zbog nakupljanja reaktivnih kisikovih vrsta (ROS) koje oštećuju mnoge makromolekule u stanici i tkivima, poput DNA, i lipida kojima je središnji živčani sustav bogat (Berr i sur., 2000).

Iako su reaktivne kisikove vrste normalan produkt metabolizma živih bića, vanjski utjecaj poput zračenja može povećati njihov sadržaj u stanicama dovodeći time do neravnoteže u omjeru količine reaktivnih kisikovih vrsta i antioksidansa, odnosno antioksidativnih mehanizama, što posljedično dovodi do stanja oksidativnog stresa (Akbari i sur, 2019). Neionizirajuće zračenje, za razliku od ionizirajućeg, nema dostatnu energiju za kidanje kemijskih veza i izbacivanje elektrona iz atoma, ali može pridonijeti porastu količine reaktivnih kisikovih vrsta, odnosno oksidativnom stresu (Čelik i sur., 2016). Iako je oksidativni stres jedan od mogućih uzroka kognitivnih poremećaja, i općenito oštećenja neurološkog sustava, mnogi uzroci još nisu u potpunosti poznati. Nadalje u radu su opisani utjecaji pojedinih vrsta neionizirajućeg zračenja na kognitivne sposobnosti i centralni živčani sustav.

## 2.1 Elektromagnetski valovi i polja

Elektromagnetska polja podrazumijevaju statička i periodički promjenjiva električna i magnetska polja te elektromagnetske valove frekvencija do 300 GHz, u što spadaju radiovalovi i mikrovalovi. Iako se pod elektromagnetske valove ubrajaju zračenja od visokofrekventnih gama zraka pa sve do niskofrekventnih radiovalova, u ovom poglavlju fokus će biti na radiovalovima i mikrovalovima kao dijelovima neionizirajućeg zračenja. Radiovalovi podrazumijevaju elektromagnetske valove valnih duljina većih od 0,1 mm koje odašilju antene, a komercijalni uređaji u kojima se primjenjuju su mobilni telefoni, televizori, navigacijski uređaji, radari, odašiljači za internet te mnogi drugi. Mikrovalovi su elektromagnetski valovi valnih duljina od 1 mm do 30 cm te se koriste u svrhu tele- i radiokomunikacije, računalnih mreža i zagrijavanja. Elektromagnetski valovi frekvencija većih od 1 MHz, pod koje spadaju i mikrovalovi, mogu izazvati termalne efekte u biološkim tkivima zbog apsorpcije tkiva (Reilly, 2012).

Štakori izloženi pulsirajućem elektromagnetskom polju velikih snaga frekvencije 918 MHz nakon samo 1  $\mu$ s izloženosti su imali visoku temperaturu mozga, konvulzije te gubitak svijesti (Guy i Chou, 1982). No naravno, efekti ovise o mnogo faktora poput frekvencije zračenja, frekvencije pulsiranja, trajanja izloženosti, snazi zračenja, metaboličkoj aktivnosti izloženog tkiva te mnogim drugima, pa tako štakori izloženi sa 900 MHz GSM (globalni sistem za mobilnu komunikaciju), komercijalna mobilna mreža za uređaje poput mobilnih telefona i tableta, elektromagnetskog polja (pulsiranim sa 217 Hz) i 3,5 W/kg kroz 45 min nisu pokazivali zaostatke u kognitivnoj sposobnosti u odnosu na kontrolnu skupinu (Dubreuil i sur., 2002). Istraživanja u kojima su ispitivani deficiti pamćenja štakora pod utjecajem mikrovalnog zračenja su utvrdila donju granicu za efekte na pamćenje u iznosu SAR-a (specifična stopa apsorpcije) od 10 W/kg (Mickley i sur., 1994; Mickley i Cobb, 1998). SAR je standardizirana jedinica za ispitivanje bioloških utjecaja elektromagnetskih polja te se definira kao stopa kojom tkivo ili organizam apsorbira emitirano elektromagnetsko zračenje po jedinici mase. Iako je većina dosad spomenutih istraživanja ispitivala akutni učinak elektromagnetskih polja, studija Zhao i suradnika (2012) je ispitala dugotrajni učinak izloženosti štakora mikrovalnom zračenju. Pokazano je da unatoč niskom SAR-u od 2,5, 5 i 10 mW/kg štakori si pokazivali deficite u učenju i pamćenju, te poremećene koncentracije neurotransmitera glutamata, asparaginske kiseline, glicina i gama-aminomaslačne kiseline koji igraju ključnu ulogu u procesima učenja i pamćenja (Das, 2003; Myhrer 2003).

Studije na ljudskoj populaciji, iako su malobrojnije u odnosu na istraživanja na životinjama, također pokazuju neočekivane rezultate. Značajan broj istraživanja utjecaja zračenja bliskom ili istovjetnim zračenju mobilnih telefona frekvencije približno 900 MHz pokazuju napretke kognitivnih funkcija: Preece i suradnici (1999) su pri testiranju 32 ispitanika opazili smanjenje reakcijskog vremena u kognitivnim testovima ispitivanja brzine reakcije prilikom izbora kod ozračene skupine, a do istih rezultata su došli i Regel i suradnici (2007); Edelstyn i Oldershaw (2002) su primijetili napredak u neuropsihološkim testovima koji zahtijevaju visoku koncentraciju za izvršavanje zadatka nakon izloženosti zračenju u trajanju od 30 min. S druge strane u dugoročnoj studiji Buchnera i Egera (2011) su detektirani simptomi: glavobolje, vrtoglavice i problema s koncentracijom kod značajnog broja ispitanika nakon izloženosti zračenju bazne stanice frekvencije zračenja 900 MHz u stvarnim životnim uvjetima. Nasuprot svemu tome, studija Hladkya i suradnika (1999) je potvrdila da zračenje mobitela GSM mreže nije rezultiralo nikakvim akutnim efektima na pamćenje i središnji živčani sustav općenito. Međutim, elektromagnetska polja sve više dobivaju na značenju i u terapeutske svrhe. Potvrđeno je da transkranijalna magnetska stimulacija, pomoću magnetskih polja frekvencija većih od 1 Hz, modulira odgovor mozga na senzorne i kognitivne stimulacije te može poslužiti u otkrivanju uzroka poremećaja svijesti kod ljudi, a potencijalno i za liječenje istih (Lapitskaya i sur., 2009). Također je dokazano da elektroterapija može dati dobre rezultate u liječenju depresije, Parkinsonove bolesti i boli električnom stimulacijom živaca uz visoku stopu sigurnosti (Carrillo-Ruiz i sur., 2008; Mannu i sur., 2009; Shealy, 2003).

## **2.2 Infracrveno i ultraljubičasto zračenje**

Infracrveno zračenje je elektromagnetsko zračenje valnih duljina približno između 0,8  $\mu\text{m}$  i 1 mm. Iako nije u toliko komercijalnoj upotrebi poput radiovalova i mikrovalova, upotrebljava se u medicini, za zagrijavanje u grijalicama, u sustavima za daljinsko upravljanje, sigurnosnim i alarmnim sustavima i sl. Polovica emitiranog zračenja Sunca je upravo infracrveno zračenje, a također i značajan dio zračenja ljudskog tijela spada u infracrvenom području (infracrveno zračenje, 2020). U znanosti najznačajnija upotreba infracrvenog zračenja je u infracrvenoj spektroskopiji zbog svoje sigurnosti, pristupačnosti i neinvazivnosti kao sustava za monitoring. Konkretno, prikladno je za ispitivanje kortikalnih hemodinamskih promjena izazvanim kognitivnim funkcijama pri obavljanju određenog rada (Izzetoglu i sur., 2004). Infracrveno zračenje prolazi kroz lubanju te tako može direktno djelovati na živčano tkivo (Wan i sur., 1981). Dosada su opisana 2 načina na koje infracrveno zračenje može djelovati prilikom penetracije kroz lubanju: 1. povećava stvaranje ATP-a (adenozin trifosfat) u

mitohondrijima (Lane, 2006), i 2. povećava regionalnu cerebralnu opskrbu krvlju, odnosno potiče vazodilataciju u mozgu (Nawashiro i sur., 2012). Ti efekti bi mogli predstavljati fiziološki uzrok poboljšanja kognitivne sposobnosti pacijenata s kroničnom blagom ozljedom mozga nakon LED (svjetleća dioda) terapije infracrvenim zračenjem (Naeser i sur., 2014). Veliki je potencijal za širu primjenu terapije infracrvenim zračenjem čemu idu u prilog brojna istraživanja s pozitivnim ishodima. Nekoliko studija pokazuju napredak u oporavku motorne i kognitivne funkcije miševa s ozljedom mozga nakon transkranijalne terapije infracrvenim zračenjem (Khuman i sur., 2012; Wu i sur., 2012; Xuan i sur., 2013). Istraživanja na ljudskoj populaciji prate slične trendove pa su tako Barrett i Gonzales-Lima (2013) ustvrdili da transkranijalna terapija crvenim i infracrvenim zračenjem može pospješiti funkcije mozga poput kognitivnih i emocionalnih, te čak imati i neuroprotektivnu ulogu od neuroloških tegoba povezanih s nepravilnim radom metabolizma, dok Zomorrodi i suradnici (2019) naglašavaju kako bi aktivna stimulacija sa transkranijalnom fotobiomodulacijom (uporaba crvene ili infracrvene svjetlosti za stimulaciju živčanih tkiva) od 40 Hz potencijalno mogla pomoći u tretiranju kognitivnih poremećaja, te primjerice poboljšati kognitivne funkcije pacijenata s demencijom i Alzheimerovom bolešću. Uza sve dosadašnje pozitivne ishode utjecaja infracrvenog zračenja, potrebna su dalja istraživanja kako bi se terapija transkranijalnom infracrvenom svjetlošću implementirala u medicini kao jedan od terapijskih načina liječenja kognitivnih poremećaja.

Ultraljubičasto zračenje (UV) je elektromagnetsko zračenje valnih duljina od 10 do 400 nm, koje se ujedno emitira i sa Sunca. Poznato je da UV-B zračenje, valnih duljina od otprilike 280 do 315 nm, potiče proizvodnju vitamina D u epidermi i dermisu zbog apsorpcije fotona zračenja, zbog čega se ona koristi u liječenju nekih kožnih bolesti i sprječavanju rahitisa kod djece (Holick, 2008). Učestala izloženost Sunčevim ultraljubičastim zračenjem uzrokuje ubrzano starenje kože i tumor kože (Holick, 2008.), ali malobrojna istraživanja su opazila potencijalne benefite UV zračenja. U istraživanju na dvoje pacijenata sa sistematskim lupusom tretiranih sa UV-A zračenjem (valnih duljina otprilike od 315 do 400 nm) je opažen prekid pada kognitivnih funkcija, pa čak i poboljšanje kognitivne sposobnosti (McGrath Jr, 2005). S obzirom da su neuroni i glia stanice bogate receptorima za vitamin D (Eyles i sur., 2005) te da je deficit vitamina D povezan sa kognitivnim poremećajima, tretmani vitaminom D mogu poboljšati kognitivnu funkciju (Nerhus i sur., 2017; Annweiler i sur., 2016; Ahn i sur., 2015). Studija Xina i suradnika (2018) je ustvrdila da je veća stopa kumulativne UV ozračenosti povezana s boljom kognitivnom funkcijom kod ljudi starije životne dobi. Sami mehanizmi



kojima bi UV zračenje djelovalo na kognitivne funkcije nisu još poznati, ali mogući trag za njihovo otkrivanje bi potencijalno mogao biti u aktivaciji centralnog živčanog sustava preko neuralne transmisije i nekih kemijskih prenositelja u koži izazvano apsorpcijom UV zračenja povezano sa vitaminom D (Slominski i sur., 2018).

### **2.3 Infrazvuk i ultrazvuk**

Ultrazvuk predstavlja zvučne valove frekvencija većih od otprilike 20 000 Hz. Koristi se prilikom ultrazvučnog testiranja materijala, u medicini u dijagnostici (osobito opstetriciji) i kardiologiji, te pri čišćenju materijala. Vrlo mali broj studija se dosada bavio problematikom utjecaja ultrazvuka na kognitivne sposobnosti s obzirom da ultrazvuk nije u širokoj primjeni te stoga prosječna osoba mu je rijetko izložena. Iako je mogući zaostatak u razvoju mozga kod štakora prenatalno ozračenih ultrazvukom (Murai i sur., 1975 a), štakori ozračeni dijagnostičkim ultrazvukom u fetalnom stadiju nisu pokazivali zaostatke u kognitivnim funkcijama u odrasloj dobi (Murai i sur., 1975 b). Ultrazvukom je moguće vršiti neurostimulaciju, te je stoga u istraživanju Deffieuxa i suradnika (2013) izvršena modulacija viših kognitivnih sposobnosti kod majmuna ozračenih fokusiranim ultrazvukom niskog intenziteta.

Infrazvuk podrazumijeva zvučne valove frekvencija manjih od otprilike 20 Hz, odnosno donjeg ljudskog praga čujnosti. Njegovi prirodni izvori mogu biti potresi, grmljavine i vulkanske erupcije, a također nastaju i radom nekih strojeva te velikih vjetrenjača. U zadnje vrijeme se preispituje štetnost infrazvuka s obzirom da su mnogi ljudi koji žive u blizini vjetroelektrana prijavljivali simptome poput pada koncentracije i gubitka pamćenja, koji bi potencijalno mogli bit uzrokovani infrazvukom (Punch i James, 2014). Izloženost infrazvuk koji nastaje radom automobila uzrokuje povećanje reakcijskog vremena vozača za čak 30-40 % (Anastassiadis i sur., 1973). Kognitivne funkcije štakora su također bile pogođene nakon ozračenja frekvencijom od 16 Hz s obzirom da su štakori radili više grešaka u testovima (Wei i sur., 2004). U istraživanju Yuana i suradnika (2009) potvrđeno je da izloženost infrazvuku može uzrokovati poremećaje u pamćenju i učenju, te predložili mogući mehanizam kojim infrazvuk utječe na to. Hipokampus je jedna od važnih regija u mozgu koja ima veliki utjecaj na kognitivne procese poput pamćenja i učenja (Squire i sur., 2004). BDNF, član porodice neurotropina, i njegov receptor TrkB sudjeluju u formiranju i održavanju procesa pamćenja i učenja u hipokampusu, a njihov manjak uzrokuje značajno slabljenje kognitivnih funkcija (Yamada i Nabeshima, 2003). Nakon ozračenosti štakora sa frekvencijom 16 Hz kroz 14 dana zapažena je smanjena ekspresija mRNA i proteina BDNF i TrkB, što se smatra glavnim

uzrokom pada kognitivne sposobnosti nakon zračenja. Iako je mala studija na 13 ispitanika izloženih infrazvuku frekvencije 12 Hz nije uočila nikakve poremećaje u kognitivnim procesima, značajna količina već spomenutih radova idu u prilog negativnim efektima infrazvuka (Weichenberger i sur., 2015).

### **3. Zaključak**

Unatoč propisanim mjerama zaštite i granicama izloženost i intenziteta neionizirajućeg zračenja, prilikom njegove uporabe, od strane ICNIRP-e, u populaciji je i dalje postoji sumnja da se neionizirajuće zračenje može negativno odraziti na zdravlje ljudi i drugih organizama. S obzirom na veći broj studija koje nisu ustvrdile negativan utjecaj elektromagnetskih polja na ljudske kognitivne sposobnosti, štoviše čak i pozitivan utjecaj, ne može se dokazati da elektromagnetska polja predstavljaju opasnost za kognitivnije funkcije čovjeka. Međutim, značajan broj studija potvrđuje deficite u pamćenju i učenju kod štakora, što se odražava na njihovo normalno funkcioniranje. To bi moglo predstavljati potencijalni problem za preživljavanje te vrste u područjima gdje su elektromagnetska polja zastupljena s obzirom da su dobro razvijene kognitivne funkcije ujedno pomažu pri npr. bržem pronalasku hrane, bijegu od predatora, snalaženje u prostoru i sl., a slabija razvijenost takvih sposobnosti se može negativno odraziti na stopu preživljavanja jedinki vrste, a time i na ostale sudionike tog hranidbenog lanca. Stoga bi bilo potrebno ustvrditi granicu pri kojoj elektromagnetska polja više ne izazivaju slabljenje kognitivnih funkcija kod ostalih životinja kako bi očuvali ravnotežu ekosustava.

Infracrveno zračenje dokazano, a potencijalno i ultraljubičasto, može značajno pospješiti kognitivne funkcije kroničnih pacijenata te pacijenata s ozljedama, ali i kod osoba i štakora bez bolesti i tegoba. Stoga bi buduća istraživanja trebala bit usmjerena u detaljnije istraživanje uvjeta pri kojima ta zračenja daju najefikasnije rezultate u liječenju kognitivnih poremećaja s ciljem popularizacije ove terapijske tehnike. Infracrveno i ultraljubičasto zračenje nemaju negativan učinak na kognitivne sposobnosti, te bi trebalo poticati javnost da učestalije provode vrijeme na suncu, s obzirom da UV zračenje može pozitivno utjecati na kognitivne funkcije preko sinteze vitamina D, što može pridonijeti populaciji u vidu sveopćeg boljeg kognitivnog zdravlja zajednice, posljedično napretku na akademskom, a time i ekonomskom planu. Iz malog broja istraživanja utjecaja ultrazvuka na kognitivne sposobnosti nije utvrđen negativan utjecaj ultrazvuka kod životinja, te bi bilo potrebno isto ispitati i za ljude zbog nedostatka takvih istraživanja. Infrazvuk se dokazano može negativno odraziti na kognitivne

sposobnosti i ljudi i štakora, te je stoga potrebno posvetiti pažnju na razvijanju tehnologija koje bi smanjile njegovu emisiju iz strojeva, pogotovo motora auta čime bi se otklonilo povećanje u reakcijskom vremenu vozača i potencijalno smanjio broj prometnih nesreća, a i ozljeda na radu na radnim mjestima gdje su strojevi koji proizvode infrazvuk zastupljeni.

Uzimajući sve u obzir, neionizirajuće zračenje ne predstavlja opasnost po kognitivno zdravlje ljudi, iako su životinje osjetljivije na neke njegove segmente te je potrebno korigirati dozvoljene granice zračenja u skladu s tim. Od mnogih vrsta neionizirajućeg zračenja je moguće imati i koristi pri liječenju kognitivnih poremećaja, te je potrebno takva saznanja što bolje iskoristiti. Unatoč svemu, svejedno je potrebno bilokojem zračenju pristupiti uz malu dozu predostrožnosti, jer kao što i sam ICNIRP potvrđuje 2002. g., iako većina ljudi neće imati posljedice od neionizirajućeg zračenja, određene skupine poput kroničnih bolesnika i djece potencijalno mogu bit osjetljivije na zračenje.

#### **4. Literatura**

- Ahn, J. D. and Kang H. (2015) "Physical fitness and serum vitamin D and cognition in elderly Koreans." *Journal of sports science & medicine* 14, 740-746
- Akbari, A., Jelodar, G., Nazifi, S., Afsar, T. and Nasiri, K. (2019) "Oxidative Stress as the Underlying Biomechanism of Detrimental Outcomes of Ionizing and Non-Ionizing Radiation on Human Health." *Antioxidant Protective Strategies. Zahedan Journal of Research in Medical Sciences* 21
- Anastassiades, A. J., Panayotopoulos, C. J. and Thanassoulas C. P. (1973) "Infrasonic resonances observed in small passengercars travelling on motorways." *Journal of Sound and Vibration* 29, 257-259
- Annweiler, C., Milea, D., Whitson, H. E., Cheng, C. Y., Wong, T.Y., Ikram, M. K., Lamoureux, E. L. and Sabanayagam, C. (2016) "Vitamin D insufficiency and cognitive impairment in Asians: a multi-ethnic population-based study and meta-analysis." *Journal of internal medicine* 280, 300-311
- Barrett, D. W. and Gonzalez-Lima F. (2013) "Transcranial infrared laser stimulation produces beneficial cognitive and emotional effects in humans." *Neuroscience* 230, 13-23

- Berr, C., Balansard, B., Arnaud, J., Roussel, A.-M. and Alperovitch, A. (2000) "Cognitive Decline Is Associated with Systemic Oxidative Stress: The EVA Study." *Journal of the American Geriatrics Society* 48, 1285–1291
- Buchner, K. and Eger H. (2011) "Changes of clinically important neurotransmitters under the influence of modulated RF fields—a long-term study under real-life conditions." *Umwelt-Medizin-Gesellschaft* 24, 44-57
- Carrillo-Ruiz, J. D., Velasco, F., Jimenez, F., Castro, G., Velasco, A. L., Hernández, J. A., Ceballos, J. and Velasco, M. (2008) "Bilateral electrical stimulation of prelemniscal radiations in the treatment of advanced Parkinson's disease." *Neurosurgery* 62, 347-359
- Çelik, H., Koyuncu, I. and Karakılçık. A. Z. (2016) "Effects of ionizing and non-ionizing radiation on oxidative stress and the total antioxidant status in humans working in radiation environments." *Bezmialem Science* 3, 106-109
- Das, U. N. (2003) "Can memory be improved? A discussion on the role of ras, GABA, acetylcholine, NO, insulin, TNF- $\alpha$ , and long-chain polyunsaturated fatty acids in memory formation and consolidation." *Brain and Development* 25, 251-261
- Dubreuil, D., Jay, T. and Edeline, J. M. (2002) "Does head-only exposure to GSM-900 electromagnetic fields affect the performance of rats in spatial learning tasks?." *Behavioural Brain Research* 129, 203-210
- Edelstyn, N. and Oldershaw A. (2002) "The acute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention." *Neuroreport* 13, 119-121
- Gottfredson, L. S. (1997) "Mainstream science on intelligence: An editorial with 52 signatories, history, and bibliography." *Intelligence* 24, 13-23
- Guy, A. W. and Chou, C. K. (1982) "Effects of high-intensity microwave pulse exposure of rat brain." *Radio Science* 17, 169-178
- Hladky, A., Musil, J., Roth, Z., Urban, P. and Blazkova, V. (1999) "Acute effects of using a mobile phone on CNS functions." *Central European journal of public health* 7, 165-167
- Holick, M. F. (2008) "Sunlight, UV-radiation, vitamin D and skin cancer: how much sunlight do we need?." *Sunlight, vitamin D and skin cancer*. Springer, New York, NY 1-15

ICNIRP, (2002) ICNIRP Statement - General Approach to Protection Against Non-Ionizing Radiation  
Protection Health Physics, 84, 540-548

infracrveno zračenje. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža,  
2020. Pristupljeno 24. 8. 2020. <<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=27417>>.

Izzetoglu, K., Bunce, S., Onaral, B., Pourrezaei, K. and Chance, B. (2004) "Functional optical brain  
imaging using near-infrared during cognitive tasks." International Journal of human-computer  
interaction 17, 211-227

Khuman, J., Zhang, J., Park, J., Carroll, J. D., Donahue, C. and Whalen, M. J. (2012) "Low-level laser  
light therapy improves cognitive deficits and inhibits microglial activation after controlled  
cortical impact in mice." Journal of neurotrauma 29, 408-417

Kiely, K. M. (2014) "Cognitive Function." Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research  
974–978

Lane, N. (2006) "Cell biology: power games." Nature 443, 901–903

Lapitskaya, N., Coleman, M. R., Nielsen, J. F., Gosseries, O. and de Noordhout, A. M. (2009)  
"Disorders of consciousness: further pathophysiological insights using motor cortex  
transcranial magnetic stimulation." Progress in Brain Research 177, 191-200

Mannu, P., Rinaldi, S., Fontani, V., Castagna, A. and Margotti, M. L. (2009) "Radio electric treatment  
vs. Es-Citalopram in the treatment of panic disorders associated with major depression: an  
open-label, naturalistic study." Acupuncture & electro-therapeutics research 34, 135-149

McGrath Jr, H. (2005) "Elimination of anticardiolipin antibodies and cessation of cognitive decline in  
a UV-A1-irradiated systemic lupus erythematosus patient." Lupus 14, 859-861

Mickley, G. A. and Cobb, B. L. (1998) "Thermal tolerance reduces hyperthermia-induced disruption  
of working memory: A role for endogenous opiates?." Physiology & behavior 63, 855-865

Mickley, G. A., Cobb, B. L., Mason, P. A. and Farrell, S. (1994) "Disruption of a putative working  
memory task and selective expression of brain c-fos following microwave-induced  
hyperthermia." Physiology & behavior 55, 1029-1038

Murai, N., Hoshi, K. and Nakamura, T. (1975 a) "Effects of diagnostic ultrasound irradiated during  
fetal stage on development of orienting behavior and reflex ontogeny in rats." The Tohoku  
Journal of Experimental Medicine 116, 17-24

- Murai, N., Hoshi, K., Kang, C. H. and Suzuki, M. (1975 b) "Effects of diagnostic ultrasound irradiated during foetal stage on emotional and cognitive behaviour in rats." *The Tohoku journal of experimental medicine*, 117(3), 225-235
- Myhrer, T. (2003) "Neurotransmitter systems involved in learning and memory in the rat: a meta-analysis based on studies of four behavioral tasks." *Brain Research Reviews* 41, 268-287
- Naeser, M. A., Zafonte, R., Krengel, M. H., Martin, P. I., Frazier, J., Hamblin, M. R., Knight, J. A., MeehanIII, W. P. and Baker, E. H. (2014) "Significant improvements in cognitive performance post-transcranial, red/near-infrared light-emitting diode treatments in chronic, mild traumatic brain injury: open-protocol study." *Journal of neurotrauma* 31, 1008-1017
- Nawashiro, H., Wada, K., Nakai, K. and Sato, S. (2012) "Focal increase in cerebral blood flow after treatment with near-infrared light to the forehead in a patient in a persistent vegetative state." *Photomedicine and laser surgery* 30, 231-233.
- Nerhus, M., Berg, A. O., Simonsen, C., Haram, M., Haatveit, B., Dahl, S. R., Gurholt, T. P., Bjella, T. D., Ueland, T., Andreassen, O. A. and Melle, I. (2017) "Vitamin D Deficiency Associated With Cognitive Functioning in Psychotic Disorders." *The Journal of clinical psychiatry*, 78, 750-757
- Posner, M. I., DiGirolamo, G. J. and Fernandez-Duque D. (1997) "Brain mechanisms of cognitive skills." *Consciousness and cognition* 6, 267-290
- Preece, A. W. (1999) "Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man." *International journal of radiation biology* 75, 447-456
- Punch, J. and James, R. (2014) „Adverse health effects from industrial wind turbines.“ *Hearing Health & 545 Technology Matters*
- Regel, S. J., Gottselig, J. M., Schuderer, J., Tinguely, G., Rétey, J. V., Kuster, N., Landolt, H. P. and Achermann, P. (2007) "Pulsed radio frequency radiation affects cognitive performance and the waking electroencephalogram." *Neuroreport* 18, 803-807
- Reilly, J. P. (2012) "Applied bioelectricity: from electrical stimulation to electropathology." *Springer Science & Business Media*
- Shealy, C. N. (2003) "Transcutaneous electrical nerve stimulation: the treatment of choice for pain and depression." *The Journal of Alternative & Complementary Medicine* 9, 619-623

- Slominski, A. T., Zmijewski, M. A., Plonka, P. M., Szaflarski, J. P. and Paus, R. (2018) "How UV light touches the brain and endocrine system through skin, and why." *Endocrinology* 159, 1992-2007
- Squire, L. R., Stark, C. E. and Clark, R. E. (2004) "The medial temporal lobe." *Annual Review of Neuroscience* 27, 279-306
- Wan, S., Parrish, J. A., Anderson, R. R. and Madden, M. (1981) "Transmittance of nonionizing radiation in human tissues." *Photochemistry and Photobiology* 34, 679-681
- Wei, Z.J., Li, L., Chen, J.Z., Li, W., Yuan, H., Li, X.R. and Liu, J. (2004) Effects of long term exposure to infrasound on learning and memory function of rats. *Chinese Journal of Clinical Rehabilitation* 8, 1844
- Weichenberger, M., Kühler, R., Bauer, M., Hensel, J., Brühl, R., Ihlenfeld, A., Ittermann, B., Gallinat, J., Koch, C., Sander, T. and Kühn, S. (2015) "Brief bursts of infrasound may improve cognitive function—An fMRI study." *Hearing Research* 328, 87-93
- Wu, Q., Xuan, W., Ando, T., Xu, T., Huang, L., Huang, Y. Y., Dai, T., Dhital, S., Sharma, S. K., Whalen, M. J. and Hamblin, M. R. (2012) "Low-level laser therapy for closed-head traumatic brain injury in mice: effect of different wavelengths." *Lasers in surgery and medicine* 44, 218-226
- Xin, S., Luan, D., Wang, X., Wang, F., Liu, Y. and Gao, Q. (2018) "Relationship between cumulative ultraviolet exposure and cognitive function in a rural elderly Chinese population." *International Journal of Geriatric Psychiatry* 33, 1121-1126
- Xuan, W., Vatansever, F., Huang, L., Wu, Q., Xuan, Y., Dai, T., Ando, T., Xu, T., Huang, Y. Y. and Hamblin, M. R. (2013) "Transcranial low-level laser therapy improves neurological performance in traumatic brain injury in mice: effect of treatment repetition regimen." *PloS one* 8, e53454.
- Yamada, K. and Nabeshima T. (2003) "Brain-derived neurotrophic factor/TrkB signaling in memory processes." *Journal of pharmacological sciences* 91, 267-270
- Yuan, H., Long, H., Liu, J., Qu, L., Chen, J. and Mou, X. (2009) "Effects of infrasound on hippocampus-dependent learning and memory in rats and some underlying mechanisms." *Environmental Toxicology and Pharmacology* 28, 243-247

Zhao, L. , Peng, R. Y., Wang, S. M., Wang, L. F., Gao, Y. B., Dong, J., Li, X. and Su, Z. T. (2012) "Relationship between cognition function and hippocampus structure after long-term microwave exposure." *Biomedical and Environmental Sciences* 25, 182-188

Zomorrodi, R., Loheswaran, G., Pushparaj, A. and Lim, L. (2019) "Pulsed near infrared transcranial and intranasal photobiomodulation significantly modulates neural oscillations: a pilot exploratory study." *Scientific reports* 9, 1-11

## **5. Sažetak**

Porastom upotrebe visoke tehnologije koja se oslanja na radiovalove, mikrovalove i ostale segmente spektra neionizirajućeg zračenja u društvu raste skepsa oko sigurnosti takvog tipa zračenja za ljudsko zdravlje. Neionizirajuće zračenje možda nema tako devastirajuće posljedice koje se mogu ubrzo uočiti, kao što je slučaj sa ionizirajućim zračenjem, ali može izazvati efekte poput oksidativnog stresa koji uvelike utječe na mnoga tkiva i organe, uključujući i živčani sustav. S obzirom da je živčani sustav glavni predvodnik u koordiniranju rada svih ostalih sustava u organizmu te funkcioniranju organizma kao cjeline, nije začuđujuće što otkrića koja opisuju utjecaj neke tvari ili pojave pobuđuju veliku znatiželju u društvu. Kognitivne sposobnosti koje nam pomažu u obavljanju svakodnevnih zadataka, od onih jednostavnih poput čitanja i slušanja do kompleksnih poput rješavanja određenih problema i stvaranja novih izuma, su važan aspekt čovjekovog života, te je u interesu svake osobe, a i društva, da ih razvijamo zbog velikog benefita koje nam one mogu donijeti. Ovaj rad ističe neke od dosadašnjih saznanja o efektima neionizirajućeg zračenja na kognitivne sposobnosti.

## **6. Summary**

With the increasing use of modern technologies that rely on radio waves, microwaves and other segments of the spectrum of non-ionizing radiation in modern world, there is growing skepticism about the safety of this type of radiation for human health. Non-ionizing radiation may not have such severe consequences that can be noticed soon, as it is in the case of ionizing radiation, but it can cause effects such as oxidative stress that greatly affects many types of tissues and organs, including the nervous system. Given that the nervous system is responsible of coordinating the work of all other systems in the body and the functioning of the body as a whole, it is not surprising that discoveries describing the influence of a substance or phenomenon, arouse great curiosity and interest in public. Cognitive abilities that help us



perform everyday tasks, from simple ones like reading and listening to complex ones such as solving certain problems and creating new inventions, are an important aspect of human life, and it is in the interest of every person and society to develop them for great benefit, which they can bring us. This paper highlights some of the previous discoveries about the effects of non-ionizing radiation on cognitive abilities.

## 7. Životopis

### Osobni podaci

Ime i prezime	Kristina Nikolić
Datum i mjesto rođenja	30. srpanj 1998., Zagreb, Hrvatska
Spol	Žensko
Email	<a href="mailto:knikolic@stud.biol.pmf.hr">knikolic@stud.biol.pmf.hr</a>

### Obrazovanje

Listopad 2017. – trenutačno	<u>Preddiplomski studij molekularne biologije</u> Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu Horvatovac 102a, Zagreb, Hrvatska
Rujan 2013. – lipanj 2017.	<u>Gimnazija Lucijana Vranjanina</u> Trg hrvatskih pavlina 1, Zagreb, Hrvatska -prirodoslovno-matematički smjer s pojačanom matematikom
Rujan 2005. – lipanj 2013.	<u>Osnovna škola Brezovica</u>

### Jezične vještine

Hrvatski	materinski jezik
Engleski	B2 (samostalni korisnik)
Njemački	A1 (početnik)

### Računalne vještine

Programiranje	Python (osnove)
MS Office paket	Word, Excel, PowerPoint