

## Vplivi elektromagnetnih sevanj na zdravje

Health Effects of Electromagnetic Fields

Peter Gajšek

Inštitut za neionizirna sevanja, Ljubljana

**Korespondenca/  
Correspondence:**  
peter.gajsek@inis.si

**Ključne besede:**  
elektromagnetna sevanja, biološki učinki, zdravstveno tveganje

**Key words:**  
electromagnetic fields, biological effects, health risk

**Citirajte kot/Cite as:**  
Zdrav Vestn 2011;  
80: 98–105

Prispelo: 1. mar. 2010,  
Sprejeto: 20. jul. 2010

### Izvleček

Naprave, ki so vir elektromagnetnih sevanj (EMS), so prodrle na vsa področja človekovega življenja in jih najdemo v telekomunikacijah, industriji, prometu, znanosti, medicini in v vsakem gospodinjstvu. Glede na množično izpostavljenost EMS bi lahko že majhni škodljivi učinki na zdravje povzročili velik javnozdravstveni problem. Številne raziskave kažejo, da lahko EMS nad določenim pragom jakosti negativno vplivajo na zdravje ljudi. Študije, ki bi lahko pojasnile vprašanje zdravstvenih tveganj zaradi kronične izpostavljenosti šibkim jakostim, pa so pogosto protislovne in pomanjkljive. V tem preglednem članku je predstavljeno trenutno stanje stroke na področju zdravstvenih tveganj v povezavi z izpostavljenostjo EMS doma in v okolju.

### Abstract

Devices that emit electromagnetic fields (EMF) have become a part of our daily life and can be found in telecommunications, industry, traffic, science, medicine and in every household. Due to the fact that general public is massively exposed to the EMF, even very small health effects could become a serious public health problem. Many studies show that the EMF above a certain threshold can have a negative health impact. The studies, which could explain the question of health risks as a result of chronic exposure to low intensities, are often contradictory and deficient. In this review the state of the art in the field of health risks associated with the EMF exposure in our environment is presented.

### 1 Uvod

Elektromagnetna sevanja pod določenimi pogoji predstavljajo tveganje za zdravje, vendar pa za razliko od ionizirnih sevanj vsi priznani znanstveni dokazi kažejo, da lahko negativno vplivajo na zdravje šele tedaj, ko je prekoračen prag izpostavljenosti. Ta prag je določen na podlagi obstoječih znanstvenih raziskav in predstavlja temelj mednarodnim smernicam Mednarodne komisije za varstvo pred neionizirnimi sevanji.<sup>1,2</sup> Mejne vrednosti so presežene na nekaterih delovnih mestih (telekomunikacije, industrija,

zdravstvo...), kjer sta potrebna posebna pozornost in takojšnje ukrepanje. Sevalne obremenitve v našem bivalnem in naravnem okolju pa so običajno daleč pod dovoljenimi mejnimi vrednostmi in dosegajo le nekaj odstotkov vrednosti, pri kateri so ugotovili in strokovno utemeljili vpliv na zdravje.

V svetu potekajo številne raziskave, ki želijo odgovoriti na vprašanje, ali lahko večletna izpostavljenost šibkim jakostim pod mejnimi vrednostmi (predvsem sevanje mobilnega telefona in daljnovodov) povzroča raka, Alzheimerjevo bolezen ali druge bolezni. Če predpostavimo obstoj zapozne-

lih učinkov, kot je na primer rak, bi morali predvideti, da tveganje narašča z odmerkom ali izpostavljenostjo. To pomeni, da ni tveganja le pri nični izpostavljenosti. Družba pa se je odločila, da bo njen razvoj temeljil na sprejemljivem tveganju, kar pomeni nenehno tehtanje med tveganjem in koristmi oz. primerjanje z drugimi tveganji. V tem primeru moramo kvantitativno oceniti tveganje, kar pa je za elektromagnetna sevanja nemogoče, saj postopki za oceno tveganja še potekajo.<sup>3</sup>

## 2 Viri elektromagnetnih sevanj

Na Zemlji so že od nekdaj prisotna elektromagnetna sevanja naravnih virov. Čedalje več pa je sevanj umetnih virov. Ta so navzoča povsod v okolju, kjer delamo in bivamo (bivalno okolje), njihova jakost pa s tehnološkim razvojem družbe narašča. Naravna EMS izvirajo iz zemlje (statično-magnetno polje Zemlje), zemeljske atmosfere (električno polje) in vesolja, kjer je Sonce njihov najpomembnejši vir. Najpogostejši izvori so električno omrežje (nizko-, srednje- in visokonapetostni vodi, povezani s transformatorji), električni motorji, gospodinjske naprave, naprave v industriji za obdelavo različnih materialov, računalniki, telekomunikacijske naprave, sistem mobilne telefonije, radijski in televizijski oddajniki, medicinske naprave in radarji. Ta sevanja, ki zavzemajo celotni frekvenčni spekter, dosegajo neprimerno večje jakosti kot sevanja naravnih virov.

K sevalnim obremenitvam v bivalnem okolju prispevajo številni dejavniki: število električnih naprav v stanovanju, jakost toka v ozemljitvenem vodu sistema, distribucija, poraba energije v celotni soseski, razdalja od sosedovega stanovanja in razdalja od tokovodnikov. V skoraj vsakem domu se jakost magnetnega polja spreminja glede na porabo električne energije v soseski. Magnetno polje je tako praviloma najvišje med 20. in 23. uro zvečer, ko doseže v povprečju do 0,5  $\mu\text{T}$  ter najnižje pa med 24. in 5. uro zjutraj, ko redko preseže 0,1  $\mu\text{T}$ .<sup>4</sup> Najmočnejša nizkofrekvenčna električna polja, ki jih navadno najdemo v okolju, so pod visokonapetostnimi daljnovodi in lahko dosegajo

vrednosti do 9 kV/m. Najmočnejša magnetna polja nizkih frekvenc običajno najdemo v neposredni bližini motorjev in nekaterih drugih električnih naprav bele tehnike. Najvišje vrednosti lahko najdemo v neposredni bližini sušilnika za lase ali brivnika (do 1,8 mT).

Izpostavljenost visokofrekvenčnim EMS v okolju je v glavnem posledica telekomunikacijskih naprav, radijskih in televizijskih oddajnikov ter radarjev, medtem ko sta v stanovanjih najpomembnejša vira mikrovalovna pečica in mobilni ter brezvrvični prenosni telefon. Meritve, ki so jih v okolici baznih postaj izvedle pooblaščené ustanove v Sloveniji, kažejo, da obremenitev naravnega in življenjskega okolja z visokofrekvenčnimi EMS nikjer ne presega mejnih vrednosti, ki jih določa Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju. Povprečna izpostavljenost ljudi sevanjem baznih postaj je več kot stokrat manjša od predpisanih mejnih vrednosti.<sup>4</sup> Sevalne obremenitve zaradi baznih postaj so v resnici zelo nizke, nižje od sevalnih obremenitev zaradi mobilnega telefona ali drugih radio-difuznih oddajnikov. Med bazno postajo in telefonom je bistvena razlika glede sevalnih obremenitev, saj bazna postaja predstavlja izpostavljenost celotnega telesa (SAR do 0,1 W/kg), pri telefonu pa gre le za izpostavljenost določenega dela telesa (glava, vrat, uho). Poljske jakosti in energijska absorpcija v posameznih organih, še posebno v glavi, so zaradi mobilnega telefona precej večje (SAR do 1,8 W/kg). To pomeni, da so vplivi na zdravje, ki pa doslej niso ugotovljeni, bolj verjetni zaradi sevanj mobilnih telefonov, kot pa zaradi baznih postaj.

## 3 Vplivi EMS na zdravje

Veliko vplivov EMS na biološke sisteme lahko pojasnimo z dokazanimi in s potrjenimi mehanizmi interakcij, ki so različni glede na frekvenčno območje.<sup>1</sup> Mehanizme interakcij zaradi izpostavljenosti EMS obravnavamo ločeno glede na frekvenco in jih navajamo v Tabeli 1. V obeh frekvenčnih območjih lahko opazimo tudi druge mehanizme interakcij, ki lahko nastopijo pri zelo nizkih jakostih in ne povzročajo draženja

**Tabela 1:** Pregled znanstveno ugotovljenih mehanizmov interakcij in bioloških učinkov zaradi izpostavljenosti EMS glede na frekvenco.

|                      | Frekvenca                                      | Mehanizmi interakcij  | Biološki učinek   |
|----------------------|--|---|---|
| Nizkofrekvenčna EMS  | do nekaj MHz                                   | nabiranje naboja na površini telesa<br>nastanek električnega polja in<br>električnega toka v telesu | stimulacija vzdražnih tkiv  |
| Visokofrekvenčna EMS | 10 GHz do 300 GHz<br>nekaj kHz do nekaj<br>GHz | nehomogena (lokalna) absorpcija<br>visokofrekvenčne energije  | segrevanje površine telesa – koža<br>segrevanje celega telesa – dvig<br>temperature v posameznih organih<br>in celem telesu |

ali segrevanja tkiva. To še posebej velja za nizkofrekvenčna magnetna polja omrežne frekvence 50 Hz in visokofrekvenčne signale, amplitudno modulirane z ekstremno nizkimi frekvencami (1–300 Hz).<sup>5</sup> Na voljo je sicer nekaj hipotez za identifikacijo in pojasnjevanje teh mehanizmov. Te hipoteze pa so večkrat pomanjkljive in nekatere celo v nasprotju z obstoječimi znanstvenimi izsledki.<sup>6,7</sup>

### 3.1 Nizkofrekvenčno EMS (do nekaj MHz)

#### 3.1.1 Akutni učinki

Znanstveno je potrjeno, da lahko nizkofrekvenčna električna in magnetna polja v človekovem telesu povzročajo nastanek polj ter tokov in imajo, če so dovolj močna, v odvisnosti od jakosti in frekvenčnega območja tudi vrsto učinkov, na primer stimulacijo vzdražnih tkiv. Električni tokovi se v človeškem telesu pojavljajo tudi brez zunanjih tokov. Živci na primer prenašajo svoje signale s pomočjo električnih impulzov. Povprečne vrednosti naravno prisotnih tokov v telesu zaradi aktivnosti posameznih organov (možgani, srce) znašajo od 1 do 10 mA/m<sup>2</sup>.<sup>5</sup> Mednarodno priporočena mejna vrednost za nizkofrekvenčna električna in magnetna polja upošteva naravne gostote tokov v telesu ter mejne vrednosti, pri katerih nastopijo dokazani vplivi na zdravje. Ta mejna vrednost za gostoto toka v telesu znaša 2 mA/m<sup>2</sup>.<sup>1</sup>

Akutni učinki nastanejo, ko so polja v okolici človeškega telesa zelo močna, tj. precej močnejša od tistih, ki so navadno prisotna v našem bivalnem okolju. Do sedaj ni na voljo raziskav, ki bi jasno pokazale, da lahko izpostavljenost EMS doma in v okolju ško-

dljivo vpliva na naše zdravje. Ostaja pa odprto vprašanje, ali magnetna polja omrežne frekvence 50 Hz pomenijo povečano tveganje za pojav zelo redke bolezni pri otrocih – otroške levkemije.<sup>8</sup>

#### 3.1.2 Zapozneli učinki

Medtem ko so navedeni akutni učinki EMS znanstveno dokazani, pa obstaja določena negotovost glede možnih zapoznelih učinkov in bioloških učinkov pri jakostih polja, ki ne presegajo mejnih vrednosti. Pravi učinki so že precej časa predmet znanstvenih raziskav. Znanstveniki tako na primer raziskujejo vpliv EMS na celično membrano, izločanje hormonov, aktivnost encimov, sintezo DNK, vključno z rakom.<sup>8</sup> Nekateri raziskovalci so pokazali na obstoj bioloških učinkov, vendar pa druge raziskovalne skupine v ponovljenih poskusih v številnih primerih tega niso mogle potrditi. Tudi prenos izsledkov o bioloških učinkih na ravni celičnih raziskav oz. poskusov na živalih na človeka je zelo zapleten in dodatno otežuje izdelavo ocene tveganja.

Več kot tri desetletja že potekajo epidemiološke raziskave o morebitni povezanosti med nizkofrekvenčnimi polji majhnih jakosti v bivalnem okolju in rakom. Odkrili niso nobene povezave med dolgotrajno izpostavljenostjo tem poljem in povečanim tveganjem za pojav raka pri odraslih. Drugače je pri otrocih in pojavu levkemije. Nekateri epidemiološke študije so pri otrocih, ki so bili dlje časa izpostavljeni magnetnim poljem povprečne vrednosti nad 0,4 μT, kar je sicer precej nižje od mejnih vrednosti, pokazale rahlo, toda opazno povečano tveganje (razmerje obojev 2,0, [interval zaupanja 1,27–3,13]) za pojav levkemije.<sup>9</sup> Na podlagi zbranih podatkov strokovniki ocenjujejo,

da je takim poljem izpostavljen manj kot 1 odstotek otrok v državah EU.<sup>10</sup> Schuz s sodelavci<sup>11</sup> je ugotovil, da ima pri levkemiji posebej pomembno vlogo nočna izpostavljenost EMS. Vendar pa lahko glede na študijo, tudi če vzročna povezava zares obstaja, s povečano izpostavljenostjo nizkofrekvenčnim magnetnim poljem razložimo največ 1 odstotek primerov levkemij.

Doslej še ni bilo mogoče potrditi biološkega mehanizma učinkovanja, ki bi razložil pojav levkemije ali spodbujanje rasti raka pri otrocih pod vplivom nizkofrekvenčnih magnetnih polj. Brez nedvoumnih dokazov kancerogenih vplivov pri odraslih ali verodostojnih razlag na podlagi eksperimentov na živalih ali osamljenih celicah sami epidemiološki dokazi niso dovolj trdni, da bi lahko opravičili sklep, da takšna polja povzročajo levkemijo pri otrocih. Poleg tega pa tudi ne poznamo povzročiteljev otroške levkemije, tako da pri vrednotenju morda nismo upoštevali vseh bistvenih dejavnikov tveganja.<sup>12</sup>

Mednarodna agencija za raziskovanje raka (IARC) iz Lyona je kot specializirana agencija za preučevanje tveganja za pojav raka v okviru Svetovne zdravstvene organizacije formalno obravnavala te podatke ter na podlagi epidemioloških študij na otrocih uvrstila nizkofrekvenčna magnetna polja med »mogoče kancerogene snovi za ljudi«.<sup>\*,13</sup>

Poudariti moramo, da povezanost med izpostavljenostjo magnetnim poljem in levkemijo zaradi nekonsistentnosti pri ugotavljanju izpostavljenosti in zaradi pomanjkanja podpore v drugih potrebnih raziskavah *in vivo* (predvsem verjetne razlage osnovnih mehanizmov) ne izpolnjuje meril za nedvoumno potrditev vzročne povezave. Zato ugotovljeno povezavo med magnetnimi polji in levkemijo obravnavamo kot šibko.

\* »Mogoče kancerogeno za ljudi« je klasifikacija skupine 2B, ki označuje snov, za katero velja, da obstajajo pomanjkljivi dokazi o kancerogenosti pri ljudeh in manj kot zadostni dokazi o kancerogenosti pri živalih. Ta klasifikacija je najšibkejša med tremi kategorijami (skupina 1: kancerogeno za ljudi, skupina 2A: verjetno kancerogeno za ljudi in skupina 2B: mogoče kancerogeno za ljudi), ki jih IARC uporablja za klasifikacijo potencialnih kancerogenih snovi na podlagi objavljenih znanstvenih dokazov.

Kljub temu moramo to tveganje jemati zelo resno, zato nekatere organizacije svetujejo uvajanje načela previdnosti.<sup>8,10,14</sup>

Avtorji nekaterih najnovejših epidemioloških raziskav so preučevali možne vplive nizkofrekvenčnih magnetnih polj nižjih jakosti na možnost povečanega tveganja za pojav Alzheimerjeve bolezni.<sup>15,16,17</sup>

V splošnem je razmerje obolevnosti za pojav Alzheimerjeve bolezni pri osebah, ki so živele v oddaljenosti do 50 m od 220–380 kV daljnovoda, znašalo 1,24 [interval zaupanja 0,80–1,92] v primerjavi z osebami, ki so živele v oddaljenosti 600 m ali več. Omenjene raziskave kažejo, da se tveganje povečuje z obdobjem izpostavljenosti EMS daljnovidov. Osebe, ki so najmanj 5 let živele v oddaljenosti do 5 m, so imele razmerje obolevnosti 1,51 [interval zaupanja 0,91–2,51]. Ta je pri tistih, ki so v takšni oddaljenosti od daljnovoda živele vsaj 10 let, narastel do 1,78, pri tistih, ki so vsaj 15 let bivali v bližini daljnovoda, pa na 2,00 [interval zaupanja 1,21–3,33]. Za izdelavo ocene tveganj so potrebne nadaljnje epidemiološke in laboratorijske raziskave teh opažanj.

Študije *in vivo* ter *in vitro* kažejo na določene škodljive vplive na živčni sistem pri magnetnih poljih nad 100  $\mu$ T, ki so precej višja od jakosti, pri katerih je bila v epidemioloških študijah ugotovljena zveza med izpostavljenostjo in boleznimi, kot sta na primer otroška levkemija in Alzheimerjeva bolezen. Vendar pa so podatki nedosledni, zato ni mogoče izoblikovati dokončnih sklepov glede vplivov na človekovo zdravje. Kljub temu, da noben od novejših pregledov znanstvene literature ni potrdil, da bi lahko izpostavljenost magnetnim poljem v okolju imela še druge škodljive posledice za zdravje, mednarodne organizacije priporočajo izvedbo dodatnih ciljanih raziskav.<sup>3</sup>

## 3.2 Visokofrekvenčno EMS

### 3.2.1 Akutni učinki

Ko visokofrekvenčna (VF) EMS pri širjenju skozi prostor naleti na živo snov, se del energije odbije, del pa prodre v globino in se absorbira v tkivu, kar se pri dovolj veliki absorbirani energiji kaže v povišanju temperature v izpostavljenem delu tkiva. Znano

je, da se VF EMS zelo dobro absorbirajo v snovi, ki vsebuje veliko vode, in se pri dovolj visokih jakostih v celoti spremenijo v toploto. Merilo za oceno bioloških učinkov visokofrekvenčnih EMS je prav količina moči, absorbirane v biološkem tkivu, ki jo opišemo s stopnjo specifične absorpcije (SAR). Na podlagi eksperimentalnih raziskav so ugotovili, da še sprejemljivi dvig telesne temperature za 1 °C ustreza SAR 4 W/kg za celo telo. Pri tej vrednosti se pojavijo komaj opazne spremembe v vedenjskih vzorcih pri primatih.<sup>18</sup>

Visokofrekvenčna EMS se v telesu absorbirajo in telo pri dovolj visokih jakostih tudi opazno segrejejo (termični učinki). Globina, do katere lahko VF EMS pri frekvencah približno 1 GHz (mobilna telefonija) prodrejo v izpostavljena tkiva, znaša nekaj centimetrov in je odvisna od frekvence. Raziskave, ki so jih opravile različne znanstvene skupine, so pokazale, da izpostavljenost sevanjem mobilnega telefona povzroči blago segrevanje telesa (dvig temperature v glavi ne preseže 0,2 °C), za njegovo izravnavo pa poskrbijo naravni mehanizmi v telesu (termoregulacija). Le v redkih primerih, ko je človek izpostavljen zelo visokim jakostim VF EMS (npr. na nekaterih delovnih mestih), lahko pride do močnega segrevanja telesa, ki telo lahko preobremeni in s tem negativno vpliva na zdravje. Sevalne obremenitve, ki smo jim navadno izpostavljeni doma in v okolju, so precej nižje od tistih, ki bi bile potrebne za doseglo zaznavnega dviga temperature.

### 3.2.2 Zaposneli učinki

Mednarodna študija *Interphone*, ki združuje serijo multinacionalnih študij primerov s kontrolami iz trinajstih držav, je v sklepnih fazi. Njen namen je ugotoviti, ali kronična izpostavljenost sevanjem mobilnih telefonov predstavlja tveganje za pojav raka (akustični nevrom, gliom, meningiom in tumor obušesne žleze) v vratu in glavi. Študijo koordinira Mednarodna agencija za raziskave raka (IARC).<sup>19</sup> V globalno epidemiološko raziskavo je vključenih 2765 primerov glioma, 2425 primerov meningeoma, 1121 primerov akustičnega nevroma, 109 primerov malignega tumorja na obušesni žlezi ter 7658 kontrolnih primerov. To je do sedaj

daleč najboljše študija epidemiološka študija omenjenih tumorjev doslej. Nekateri udeleženi države so že objavile izsledke nacionalnih analiz glede povezanosti med uporabo mobilnih telefonov in tveganjem za pojav specifičnih oblik tumorja. Pri večini študij je razmerje obetov, povezano s tem, ali je bil posameznik kdaj redno uporabnik mobilnega telefona, nižje od 1. Ta rezultat pričakovano kaže na metodološke omejitve raziskav.

Pri gliomih se izsledki sicer razlikujejo glede na čas od začetka uporabe telefona in trajanje vsakodnevne uporabe telefona, vendar pa je število uporabnikov v posameznih državah majhno in so izsledki zato primerljivi. Lahkole s sodelavci<sup>20</sup> je pokazal na bistveno povečano tveganje za gliom pri osebah, ki so mobilni telefon uporabljale 10 let in več, in sicer na tisti strani glave, na kateri so držale telefon. Ta ugotovitev je lahko bodisi vzročna ali posledica eksperimentalnih napak. Vpliv dolgotrajnejše uporabe je težko oceniti, saj je v raziskavi sodelovalo le malo ljudi, ki so mobilni telefon uporabljali več kot deset let.

Raziskave, izvedene v okviru mednarodne študije *Interphone*, so prinesle le malo pozitivnih rezultatov o povečanem tveganju meningioma in akustičnega nevroma. Število dolgoletnih uporabnikov ter tistih, ki zelo pogosto uporabljajo mobilni telefon, je bilo v tem primeru celo manjše kot pri gliomu. Zato je težko podati dokončni sklep o morebitni povezanosti med uporabo mobilnih telefonov in tveganjem za pojav teh tumorjev. Pregled podatkov iz nordijskih držav ni pokazal povečanega tveganja za meningiom kot posledice dolgoletne ali pogoste uporabe telefona,<sup>21</sup> pokazal pa je pomembno povečano tveganje akustičnega nevroma po deset in več letih uporabe telefona na strani tumorja (razmerje obetov 3,9 [interval zaupanja 0,9–6,5]).<sup>22,23</sup> Tudi tu avtorji zaključujejo, da je ta ugotovitev lahko posledica eksperimentalnih napak in majhnega števila primerov.<sup>24</sup>

Porasta tveganja tumorjev v predelu obušesne žleze ni bilo opaziti pri nobeni od opazovanih izpostavljenosti. V kombinirani analizi podatkov je Lönn s sodelavci opazil<sup>25</sup> neznačilno povečano tveganje za benigne tumorje pri ipsilateralni uporabi več kot de-

set let, medtem ko pa je bilo manjše tveganje ugotovljeno pri kontralateralni uporabi, kar pa je lahko posledica različnih odzivov posameznikov v kontrolni in izpostavljeni skupini.

Sadetski s sodelavci<sup>26</sup> je v študiji, v katero so bile vključene osebe, ki so poročale o bistveno pogostejši uporabi mobilnega telefona, pokazala na možnost povezave med pogosto uporabo mobilnega telefona in tveganjem za pojav tumorjev v predelu obušesne žleze. Za oceno tveganja so potrebne dodatne raziskave glede tovrstne povezave z daljšimi latentnimi obdobji in velikim številom oseb, ki zelo pogosto uporabljajo mobilni telefon.

Poleg objavljenih raziskav, ki so bile izvedene v okviru mednarodne študije »Interphone«, so o vplivu mobilnih telefonov na zdravje precej drugih študij objavili raziskovalci iz Skandinavije.

Niz raziskav o vplivu uporabe mobilnega telefona na nastanek možganskega raka je izvedel Hardell s sodelavci<sup>27,28,29</sup> in ugotovil, da uporaba mobilnega telefona na eni strani glave predstavlja 2,5-krat (interval zaupanja [0,9–4,5]) večje tveganje za nastanek možganskega tumorja v tistem delu možganov, kjer se energija sevanja najbolj absorbira. Avtorji so ocenili, da je uporaba analognih mobilnih telefonov povezana z večjim tveganjem za nastanek malignih možganskih tumorjev na tisti strani, na kateri je bil uporabljen telefon.<sup>30</sup> Kasneje je Hardell s sodelavci<sup>31</sup> ugotovil 3-krat večje tveganje (razmerje obetov 3,6 [1,7–7,5]) za razvoj glioma pri uporabnikih, ki so prvič začeli uporabljati mobilni telefon pred več kot 10. leti.

Vendar druge študije<sup>32,33,34,35</sup> niso ugotovile povezanosti med gliomom in trajanjem uporabe ali kumulativno izpostavljenostjo.

Han s sodelavci<sup>36</sup> je v primerjalni analizi 11 študij ugotovil, da večina študij ni ugotovila povezanosti med razvojem akustičnega nevroma in uporabo telefona. V primerjalni analizi 3 pozitivnih študij so avtorji ugotovili 2,4-krat večje tveganje za pojav ipsilateralnega akustičnega nevroma pri več kot 10-letni uporabi telefona. Nedvomno je ugotavljanje dejavnikov tveganja za pojav akustičnega nevroma velik izziv zaradi dolge latentne dobe. Avtorji zaključujejo, da je glavna sla-

bost retrospektivnih študij pomanjkanje natančnih podatkov o sevalnih obremenitvah posameznikov zaradi uporabe mobilnih telefonov in drugih verodostojnih podatkov, ki se nanašajo na čas pogovorov, način uporabe telefona in ugotavljanje drugih ključnih dejavnikov tveganja, ki lahko vplivajo na pojav raka.

### 3.2.3 Druge raziskave

Na podlagi *obstojećih* raziskav *in vitro* ne moremo sklepati, da visokofrekvenčna sevanja lahko poškodujejo celice pri jakostih, ki ne povzročajo zaznavnega dviga temperature (t. i. netermični učinki). Poleg tega študije genotoksičnosti *in vitro* niso ugotovile, da bi izpostavljenost visokofrekvenčnim sevanjem lahko poškodovala DNK.<sup>37</sup>

Na drugi strani pa obstaja tudi nekaj podatkov o netermičnih učinkih *in vitro* kot posledici absorpcije visokofrekvenčnih EMS pri jakostih, pri katerih ne opazimo povišanja telesne temperature. Ti učinki vključujejo spremembe v električni aktivnosti možganov, spremembe v aktivnostih encimov ter spremembe v prenosu kalcijevih ionov prek celične membrane. Vendar noben rezultat teh študij ni bil ponovljen neodvisno, zato za nobenega ne moremo trditi, da je povezan s tveganjem za človekovo zdravje.

Tudi izvedene študije *in vivo* ne nudijo podlage za sklep, da bi visokofrekvenčna EMS lahko povzročala raka, stopnjevala učinke znanih kancerogenov ali pospeševala razvoj tumorjev. V nekaterih študijah so uporabili tudi višje poljske jakosti izpostavljenosti, vendar učinkov na razvoj tumorjev vseeno niso opazili (ICNIRP 2009).

## 4 Zaključek

Na podlagi treh neodvisnih ravni dokazov (epidemioloških ter študij *in vivo* ter *in vitro*) lahko zaključimo, da ni verjetno, da bi izpostavljenost EMS pri jakostih, ki so nižje od mednarodno veljavnih mejnih vrednosti, povečevala tveganje za pojav raka pri ljudeh. Obstaja seveda nekaj rezultatov raziskav, ki kažejo, da EMS lahko povzročajo biološke učinke pri dolgotrajni izpostavljenosti tudi pod temi mejnimi vrednostmi. To pa še ne

pomeni, da ti zapoznili učinki lahko vodijo do bolezni ali poškodb.

Posebno mesto zavzema otroška levkemija, saj je v tej povezavi magnetno polje klasificirano kot možen kancerogeni dejavnik. Vendar brez nedvoumnih dokazov o kancerogenih vplivih pri odraslih oz. verodostojnih razlag na podlagi poskusov na živalih ali osamljenih celicah epidemiološki dokazi niso dovolj trdni za sklep, da takšna polja povzročajo levkemijo pri otrocih.

Najnovejše epidemiološke študije ne kažejo, da uporaba mobilnih telefonov povečuje tveganje za nastanek raka, vendar je opazovalno obdobje za zanesljive zaključke še prekratko. Zato ne gre zanemariti trajanja latentne dobe, to je časa od prve izpostavljenosti do nastanka bolezni, kar pomeni, da tveganje takoj po izpostavljenosti in nekaj let po njej ni povečano, da pa se lahko poveča po dovolj dolgi latentni dobi, ki je za različne tumorje in ob različnem trajanju izpostavljenosti različno dolga.<sup>38</sup>

Številne študije na živalih, ki so jih izpostavljali VF EMS in so podobni sevanjem, ki nastajajo pri uporabi mobilnega telefona, tudi niso potrdile teze, da bi lahko VF EMS povzročala raka na možganih ali pospeševala njegov razvoj. Ob tem se zastavlja tudi vprašanje, ali lahko uporaba brezžičnih tehnologij predstavlja povečano tveganje za zdravje pri otrocih in mladostnikih v fazi njihovega hitrega psihofizičnega razvoja. Jasnega odgovora ni, saj ključne raziskave še potekajo.

Konsenz stroke je strnjen v sklepu Znanstvenega odbora za identifikacijo zdravstvenih tveganj v okviru Evropske komisije (SCENIHR), ki pravi, da pregled najpomembnejših razpoložljivih znanstvenih raziskav ne daje prepričljive podlage za sklep, da bi lahko EMS negativno vplivala na zdravje ljudi ali povzročala oz. pospeševala razvoj raka.<sup>39</sup>

## Literatura

1. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP 1998) Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physic.* 1998; 74: 494–522. Dosegljivo na: <http://www.ICNIRP.org/>

2. EC (1999) Council of the European Union. Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz). *Official Journal of the European Communities* L19. 1999; 59–70.
3. Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz–300 GHz)–Review of the Scientific Evidence and Health Consequences. Munich: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection; 2009.
4. Gajšek P, Šimunič D. Occupational exposure to base stations–compliance with EU directive 2004/40/EC. *Int J Occup Saf Ergon.* 2006; 12: 187–94.
5. Miklavčič D, Gajšek P. Vpliv neionizirnih elektromagnetnih sevanj na biološke sisteme. 1. izd. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko; 1999.
6. Litvak E, Foster KR, Repacholi MH. Health and safety implications of exposure to electromagnetic fields in the frequency range 300 Hz to 10 MHz. *Bioelectromagnetics* 2002; 23: 68–82.
7. Juutilainen J. Do electromagnetic fields enhance the effects of environmental carcinogens? *Radiat Prot Dosimetry* 2008; 132: 228 – 231.
8. WHO. Extremely Low Frequency (ELF) Fields. Geneva: WHO; 2007. (Environmental Health Criteria 238).
9. Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J, et al. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *Br J Cancer* 2000; 83: 692–698.
10. AGNIR–Advisory Group on Non-Ionising Radiation. Power Frequency Electromagnetic Fields and the Risk of Cancer. Dosegljivo na: <http://www.nprb.org.uk/>.
11. Schüz J, Svendsen AL, Linet MS, McBride ML, Roman E, Feychting M, et al. Nighttime exposure to electromagnetic fields and childhood leukemia: an extended pooled analysis. *Am J Epidemiol* 2007; 166: 263 –269.
12. Kheifets L, Repacholi M, Saunders R, van Deventer E. The sensitivity of children to electromagnetic fields. *Pediatrics* 2005; 116: 303 – 313.
13. IARC–International Agency for Research on Cancer. Non-ionizing radiation. Part 1, Static and extremely low frequency electric and magnetic fields. Lyon: IARC Press; 2002. (vol. 80). p. 429.
14. IEGMP (2000) Independent Expert Group on Mobile Phones. Mobile Phones and Health. Dosegljivo na: <http://www.iegmp.org.uk/IEGMPtxt.htm>.
15. Huss A, Spoerri A, Egger M, Rössli M. Residence near power lines and mortality from neurodegenerative diseases: longitudinal study of the Swiss population. *Am J Epidemiol* 2009; 169: 167–175
16. Davanipour Z, Sobel E. Long-term exposure to magnetic fields and the risks of Alzheimer's disease and breast cancer: Further biological research. Review. *Pathophysiology* 2009; 16: 149 – 156.
17. Rössli M. Epidemiological research on extremely low frequency magnetic fields and Alzheimer's disease—biased or informative? Commentary. *Int J Epidemiol* 2008; 37: 341 – 343.
18. Durney CH, Johnson CC, Barber PW, Massoudi H, Iskander MF, Lords JL. Radiofrequency radi-

- ation dosimetry handbook. SAM-TR-78-22. San Antonio: Brooks Air Force Base; 1986.
19. Cardis E, Richardson L, Deltour I, Armstrong B, Feychting M, Johansen C, et al. The INTERPHONE study: design, epidemiological methods, and description of the study population. *Eur J Epidemiol.* 2007; 22: 647–64
  20. Lahkola A, Auvinen A, Raitanen J, Schoemaker MJ, Christensen HC, Feychting M. Mobile phone use and risk of glioma in 5 North European countries. *Int J Cancer.* 2007; 120: 1769–75.
  21. Lahkola A, Salminen T, Auvinen A. Selection bias due to differential participation in a case-control study of mobile phone use and brain tumors. *Ann Epidemiol.* 2005; 15: 321–5.
  22. Lönn S, Ahlbom A, Hall P, Feychting M. Long-term mobile phone use and brain tumor risk. *Am J Epidemiol* 2005; 161: 526–35.
  23. Schoemaker MJ, Swerdlow AJ, Ahlbom A, Auvinen A, Blaasaas KG, Cardis E. Mobile phone use and risk of acoustic neuroma: results of the Interphone case-control study in five North European countries. *Br J Cancer* 2005; 93: 842–8.
  24. Schoemaker MJ, Swerdlow AJ, Hepworth SJ, McKinney PA, van Tongeren M, Muir KR. History of allergies and risk of glioma in adults. *Int J Cancer* 2006; 119: 2165–72.
  25. Lönn S, Ahlbom A, Christensen H, Johansen C, Schuz J, Edstrom S, et al. Mobile phone use and risk of parotid gland tumor. *Am J Epidemiol* 2006; 164: 637–43.
  26. Sadetzki S, Chetrit A, Jarus-Hakak A, Cardis E, Deutch Y, Duvdevani S. Cellphone use and risk of benign and malignant parotid gland tumors – a nationwide case-control study. *Am J Epidemiol* 2007; 166: 842–8.
  27. Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. Case-control study on cellular and cordless telephones and the risk for acoustic neuroma or meningioma in patients diagnosed 2000–2003. *Neuroepidemiology.* 2005; 25: 120–8.
  28. Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. Pooled analysis of two case-control studies on the use of cellular and cordless telephones and the risk of benign brain tumours diagnosed during 1997–2003. *Int J Oncol* 2006; 28: 509–18.
  29. Hardell L, Carlberg M, Mild KH. Case-control study of the association between the use of cellular and cordless telephones and malignant brain tumors diagnosed during 2000–2003. *Environ Res* 2006; 100: 232–41.
  30. Hardell L, Hallquist A, Mild KH, Carlberg M, Pahlson A, Lilja A. Cellular and cordless telephones and the risk for brain tumours. *Eur J Cancer Prev* 2002; 11: 377–86.
  31. Hardell L, Mild KH, Carlberg M. Case-control study on the use of cellular and cordless phones and the risk for malignant brain tumours. *Int J Radiat Biol* 2002; 78: 931–6.
  32. Hardell L, Mild KH, Pahlson A, Hallquist A. Ionizing radiation, cellular telephones and the risk for brain tumours. *Eur J Cancer Prev* 2001; 10: 523–9.
  33. Inskip PD, Tarone RE, Hatch EE, Wilcosky TC, Shapiro WR, Selker RG. Cellular-telephone use and brain tumors. *N Engl J Med* 2001; 344: 79–86.
  34. Muscat JE, Malkin MG, Shore RE, Thompson S, Neugut AI, Stellman SD, et al. Handheld cellular telephone and risk of acoustic neuroma. *Neurology* 2002; 58: 1304–6.
  35. Hepworth SJ, Schoemaker MJ, Muir KR, Swerdlow AJ, van Tongeren MJ, McKinney PA. Mobile phone use and risk of glioma in adults: case-control study. *BMJ* 2006; 332: 883–7.
  36. Christensen HC, Schuz J, Kosteljanetz M, Poulsen HS, Boice JD Jr, McLaughlin JK, et al. Cellular telephones and risk for brain tumors: a population-based, incident case-control study. *Neurology* 2005; 64: 1189–95.
  37. Han YY, Kano H, Davis DL, Niranjana A, Lunsford LD. Cell phone use and acoustic neuroma: the need for standardized questionnaires and access to industry data. *Surg Neurol* 2009; 72: 216–22.
  38. Vijayalaxmi, Prihoda TJ. Genetic damage in mammalian somatic cells exposed to radiofrequency radiation: a meta-analysis of data from 63 publications (1990–2005). *Radiation Res* 2008; 169: 561–574.
  39. Fikfak MD. Vpliv elektromagnetnih sevanj na zdravje In: Gajšek P, ur. *Elektromagnetna sevanja-okolje in zdravje.* Forum EMS 2005. p. 68–76.
  40. SCENIHR-Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. Health Effects of Exposure to EMF, European Commission Health & Consumer Protection DG, 2009, Report. Dosegljivo na: [http://ec.europa.eu/health/ph\\_determinants/environment/EMF/emf\\_en.htm](http://ec.europa.eu/health/ph_determinants/environment/EMF/emf_en.htm)