

Článok v tlači

Limity expozície rádiovfrekvenčnému EMF nezohľadňujú riziko rakoviny ani reprodukčnú toxicitu hodnotenú na základe údajov u pokusných zvierat.

Prijaté: 30. októbra 2025

Prijaté: 6. marca 2026

Published online: 14 March 2026

Citovať tento článok ako: Melnick RL & Moskowitz JM Limity expozície rádiovfrekvenčnému EMF nezohľadňujú riziko rakoviny ani reprodukčnú toxicitu stanovenú na základe údajov u experimentálnych zvierat. *Environmentálne zdravie*(2026). <https://doi.org/10.1186/s12940-026-01288-6>

Ronald L. Melnick a Joel M. Moskowitz

Poskytujeme neupravenú verziu tohto rukopisu, aby sme vám umožnili skorý prístup k jeho zisteniam. Pred konečným vydaním bude rukopis ďalej upravovaný. Upozorňujeme, že môžu obsahovať chyby, ktoré ovplyvňujú obsah, a platia všetky právne upozornenia.

Ak je tento článok publikovaný v rámci modelu transparentného recenzného konania, potom budú správy z recenzného konania publikované spolu s finálnym článkom.

ČLÁNOK V TLAČI

Limity expozície rádiofrekvenčnému elektromagnetickému žiareniu nezohľadňujú rakovinu

Riziko alebo reprodukčná toxicita posúdená z údajov v experimentálnych

Zvieratá

Ronald L. Melnick^{1*}, Joel M. Moskowitz^{2a} v mene medzinárodného
Komisia pre biologické účinky elektromagnetických polí (ICBE-EMF)

¹ICBE-EMF; Národný toxikologický program, Národný inštitút environmentálnych
zdravotných vied (v dôchodku), West Haven, CT, USA

²ICBE-EMF; Fakulta verejného zdravia, Kalifornská univerzita, Berkeley, CA,
USA

ČLÁNOK V TLAČI

* Korešpondencia:

Ronald L. Melnick

ron.melnick@gmail.com

Kľúčové slová Referenčná dávka, Rádiofrekvenčné žiarenie, Dozimetria, Riziko rakoviny,
Reprodukčná toxicita, Špecifická miera absorpcie, Potkany

Skratky

BMD (hustota kostnej hmoty)	Referenčná dávka
BMDL	Dolná hranica referenčnej dávky
CDMA	Viacnásobný prístup s delením kódu
Rada európskych záležitostí	Istota dôkazov
Federálna komisia pre komunikáciu	Federálna komunikačná komisia
GSM	Globalný systém pre mobilnú komunikáciu
IARC	Medzinárodná agentúra pre výskum rakoviny
ICBE-EMF	Medzinárodná komisia pre biologické účinky elektromagnetických polí
ICH	Medzinárodná rada pre harmonizáciu
ICNIRP	Medzinárodná komisia pre ochranu pred neionizujúcim žiarením
LOAEL	Najnižšia pozorovateľná úroveň nežiaducich účinkov
Magisterský titul	Metaanalýza
NOAEL (bez prítomnosti pozitívnych účinkov)	Úroveň bez pozorovaných nežiaducich účinkov
NTP	Národný toxikologický program
OEHHA	Úrad pre posudzovanie rizík pre životné prostredie a zdravie
RF-EMF	Rádiofrekvenčné elektromagnetické polia
RFR	Rádiofrekvenčné žiarenie
RI	Ramazziniho inštitútu
SR	Systematické preskúmanie
SAR	Špecifická miera absorpcie
UF	Faktor neistoty
Agentúra na ochranu životného prostredia USA	Agentúra na ochranu životného prostredia USA
SZO	Svetová zdravotnícka organizácia

ČLÁNOK V TIJAČI

Abstrakt

Pozadie Nedávne systematické prehľady, ktoré si objednala WHO, s „vysokou istotou“ dospeli k záveru, že vystavenie rádiovfrekvenčnému žiareniu elektromagnetické polia (RF-EMF) zvyšujú riziko rakoviny a znižujú mužskú... plodnosť u pokusných zvierat.

Metódy Vykonali sme analýzy porovnávacej dávky (BMD) na experimentálnych údaje o rakovine na odhad úrovni expozície spojených s rizikom rakoviny 1×10^{-5} (1 zo 100 000). Vzhľadom na nedostatok zavedeného nelineárneho mechanizmu účinku Pre reakcie nádorov indukované RF-EMF sme použili lineárne nízke dávky extrapolácia z 1 % hodnôt BMD. Okrem toho sme použili tradičné faktory neistoty k uvádzanej hodnote lineárnej účinnosti 0,03 na W/kg pre reprodukčná toxicita u mužov s cieľom odvodiť limity expozície na ochranu zdravia.

Výsledky Odvodená dávka za hodinu (vyjadrená ako špecifická absorpcia rýchlosť, SAR) pri 1×10^{-5} riziku rakoviny sa pohybuje od približne 0,8 do 5 mW/kg. Malo by Treba poznamenať, že riziko rakoviny sa zvyšuje so zvyšujúcim sa časom vystavenia sa rádiovfrekvenčnému žiareniu.

Elektromagnetické pole. Na ochranu mužskej plodnosti v dôsledku vystavenia rádiovfrekvenčnému elektromagnetickému žiareniu sa

odhadovaný limit expozície SAR bol 3,3 až 10 mW/kg. Tieto ochranné opatrenia pre zdravie hodnoty expozície celého tela sú výrazne nižšie ako súčasné hodnoty expozície celého tela limitná hodnota vystavenia tela 0,08 W/kg (80 mW/kg) stanovená ICNIRP a FCC pre širokú verejnosť.

Záver Pre širokú verejnosť sú súčasné regulačné limity pre RF-EMF 15 až 900-krát vyššie ako naše odhady úrovni expozície spojených s

riziko rakoviny 1×10^{-5} (v závislosti od trvania dennej expozície) a 8 až 24-krát vyššie ako hladiny, ktoré chránia mužské reprodukčné zdravie.

Preto dôrazne odporúčame nezávislé prehodnotenie RF-EMF.

limity expozície, integrujúce vedecké údaje zhromaždené za posledných 30 rokov a uplatňovaním prísnych metód ochrany zdravia.

ČLÁNOK V TLAČI

Pozadie

Aktuálne limity vystavenia rádiových elektromagnetickým poliam (RF-EMF) v Spojených štátoch sú založené na usmerneniach federálneho Komunikačnej komisie (FCC) [1]. V mnohých iných krajinách je vystavenie limity sú založené na usmerneniach Medzinárodnej komisie pre nelegálne Ochrana pred ionizujúcim žiarením (ICNIRP) [2]. Tieto limity expozície však boli stanovené z nedostatočných údajov a metódami, ktoré sú nekonzistentné s postupmi používanými agentúrami verejného zdravotníctva na stanovenie limitov expozície toxické alebo karcinogénne environmentálne látky [3-6]. Každodenné zdroje RF-EMF patria mobilné telefóny, bezdrôtové telefóny, Wi-Fi routery a vysielacie mobilných signálov.

Limity vystavenia RF-EMF boli stanovené FCC a ICNIRP v roku koncom 90. rokov 20. storočia [7,8] na základe výsledkov behaviorálnych štúdií vykonaných v malé skupiny potkanov a opíc v 80. rokoch 20. storočia [9,10]. Tieto štúdie zahŕňalo vystavenie potkanov (N=3) alebo opíc (N=6) bez potravy na 40- alebo 60-minútové sedenia s rôznymi frekvenciami a hustotami výkonu RF-EMF a určenie úrovne výkonu, pri ktorej dochádza k stlačeniu páky miera odozvy na doručenie potravinových peliet sa výrazne znížila v porovnaní so simulovanými expozičnými sedeniami. Žiadny iný koncový bod ani expozícia bolo vyhodnotené trvanie. Na základe týchto štúdií bola stanovená špecifická miera absorpcie (SAR) 4 W/kg bola identifikovaná ako prahová hodnota pre nepriaznivé účinky na zdravie indukované RF-EMF. V samostatnej štúdii na opiciach sa zvýšila priemerná Telesná teplota 0,7 °C bola spojená s celotelovým SAR 4 W/kg (11). V dôsledku toho poruchy správania spojené so zvýšením

FCC predpokladala telesnú teplotu približne $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a

ICNIRP je najcitlivejším meradlom škodlivých účinkov rádiových elektromagnetických polí (RF-EMF).

expozičie [7,8]. Dozimetria RF-EMF je odhad rádiových elektromagnetická energia absorbovaná v biologických tkanivách z vyžarujúcich zdrojov.

Na základe predpokladanej prahovej dávky SAR pre celé telo 4 W/kg , FCC [1,7] aj ICNIRP [2,8] stanovili limity expozičie pre kontrolované expozičie na pracovisku $0,4\text{ W/kg}$ SAR spriemerované na celé telo podľa použitím ľubovoľného 10-násobného faktora neistoty. Pre širokú verejnosť, FCC a ICNIRP stanovili limit expozičie na $0,08\text{ W/kg}$ SAR spriemerované za celé telo použitím dodatočného 5-násobného faktora neistoty. Tieto Očakávalo sa, že limity expozičie ochránia ľudí pred tepelnými účinkami.

ktoré sa môžu vyskytnúť pri krátkodobom akútnom vystavení sa rádiovému žiareniu (RFR).

Hoci v 90. rokoch 20. storočia boli k dispozícii obmedzené údaje o účinkoch na zdravie, keď sa tieto limity expozičie boli prvýkrát stanovené FCC a ICNIRP, tí istí

hodnoty boli potvrdené o dve desaťročia neskôr [1,2] napriek stovkám štúdií

preukazujúce nepriaznivé účinky na zdravie pri expozičiách výrazne nižších ako je predpokladaná

prahová úroveň 4 W/kg a s pulznými moduláciami, čo svedčí o ne-

tepelné účinky. Medzinárodná komisia pre biologické účinky

Elektromagnetické polia (ICBE-EMF) opisujú, ako boli publikované vedecké štúdie

za posledných 25 rokov vyvrátili 14 zdravotných predpokladov, ktoré sú základom

Stanovenie limitov expozičie pre rádiové rádiové spektrum (RFR) podľa FCC a ICNIRP [12].

Štúdie z 80. rokov 20. storočia, ktoré slúžili ako základ pre tieto expozičie

Stanovenia limitov FCC a ICNIRP poskytli neúplný

charakterizácia zdravotných účinkov RF-EMF a chýbajúce informácie o účinky spôsobené chronickou expozíciou. V dôsledku toho sa uplatňovanie svojvoľného faktory neistoty/bezpečnosti k predpokladanej prahovej dávke neposkytujú žiadne zaistenie bezpečnosti.

Zistenia zvýšeného výskytu nádorov (srdcové schwannómy a mozgové gliómy) u potkanov vystavených RF-EMF v štúdiách vykonaných Národným Toxikologickým program (NTP) [13] a Ramazziniho inštitút (RI) [14] podporili zistenia o zvýšenom výskyte nádorov v prípadovo-kontrolných štúdiách používateľov mobilných telefónov [15-20]. Výsledky z dvoch veľkých prípadov a kontrol u ľudí štúdie slúžili ako hlavný dôvod pre klasifikáciu RFR ako „možno „karcinogénne pre ľudí“ od Medzinárodnej agentúry pre výskum rakoviny (IARC) [21]. Štúdie na ľuďoch preukázali zvýšené riziko gliómov a akustické neurómy (vestibulárne schwannómy), ktoré boli spojené s zvýšením času hovoru a latencie; zistilo sa ďalšie zvýšenie rizika keď sa analyzovalo aj používanie strany hlavy. Kohortové štúdie na ľuďoch dostupné na tento čas bol IARC [21] posúdený ako neinformatívny kvôli expozícii bol založený na predplatnom u poskytovateľov mobilných telefónov, čo malo za následok „niekoľko potenciálne zdroje nesprávnej klasifikácie expozície,“ Výsledky z NTP a štúdie karcinogenity RI neboli v čase IARC k dispozícii.

hodnotenie.

Hoci štúdie na ľuďoch ukazujú zvýšenie rizika rakoviny po 500 až 1000 hodín hovoru [22-24], údaje o expozícii chýbali informácie o intenzite alebo dávke RFR spojenej s rizikom rakoviny.

V dôsledku toho sa tu na odhad dávok RFR používajú údaje o rakovine zvierat spojené s 1×10^{-5} zvýšené riziko rakoviny (t. j. pravdepodobnosť ďalšieho rakovina na stotisíc ľudí vystavených konkrétnemu agensu v porovnaní s mierou v neexponovanej populácii), úroveň rizika často používané Agentúrou na ochranu životného prostredia USA (EPA) na stanovenie limitov expozície na environmentálne karcinogény podľa bezprahového modelu.

Autori systematického prehľadu (SR) zadaného WHO o účinky vystavenia RF-EMF na indukciu rakoviny u experimentálnych zvierat dospel k záveru, že existuje „vysoká istota dôkazov“ (CoE) o zvýšení výskyt schwannómov srdca u experimentálnych potkanov vystavených RF-EMF a „stredný až vysoký“ CoE pre nádory gliových buniek [25]. Vysoký CoE indikuje

Karcinogénny účinok je s vysokou pravdepodobnosťou spôsobený vystavením rádiofrekvenčným elektromagnetickým poliam.

Okrem toho autori uviedli 1 % referenčnú dávku (BMD01) hodnoty pre glióm a schwannóm srdca pre tie štúdie, v ktorých sa zistil významný bol identifikovaný pozitívny trend. BMD01 je dávka vyjadrená ako celková SAR tela na dolnej hranici experimentálneho rozsahu, ktorá sa odhaduje na mať za následok o 1 % vyššie riziko; slúži ako východiskový bod (t. j. východiskový bod) pre extrapoláciu rizika rakoviny na nižšie dávky [3]. Avšak kvôli

rozdiely v prežití medzi kontrolnou skupinou a skupinou vystavenou RF-EMF

V štúdií NTP sme zopakovali porovnávacie analýzy dávka-odozva s použitím

miera výskytu nádorov upravená podľa poly-3.

Na odhad limitov expozície pomocou *de minimis* ľudské riziko pre nerakovinové ochorenia účinky pri absencii dostatočných informácií o rozdelení pravdepodobnosti

charakteristík ľudskej variability, regulačné agentúry tradične aplikované faktory neistoty na hladiny bez pozorovaných nežiaducich účinkov (NOAEL) alebo na najnižšie pozorovateľné úrovne nežiaducich účinkov (LOAEL) hlásené v experimentálne štúdie na zvieratách [4-6] (<https://www.epa.gov/risk/conducting-posúdenie-rizika-pre-ľudské-zdravie>) a použitím prahového modelu. Neistota faktory zohľadňujú medzidruhové rozdiely (extrapolácia údajov o toxicite z zvieracích modelov voči ľuďom), vnútrodrohové rozdiely (v dôsledku interindividuálnych rozdiely v citlivosti) a úprava, ak je k dispozícii iba hodnota LOAEL. V systematický prehľad/metaanalýzy (SR/MA) zadané WHO experimentálne štúdie o účinkoch vystavenia RF-EMF na mužskú plodnosť, Cordelli a kol. [26,27] dospeli k záveru, že existuje „vysoká istota dôkazov, že Expozícia RF-EMF znižuje mieru tehotenstva“ a nepriaznivý vplyv na mužská plodnosť zodpovedá lineárnemu vzťahu dávka-odozva s účinnosťou 0,03 na W/kg, t. j. 3 % na W/kg. Tieto informácie sme použili na určenie limit expozície, ktorý by primerane chránil pred účinkami rádiových elektromagnetických polí na mužskú plodnosť.

Metódy

Kvantifikácia rizika rakoviny.

Mevisen a kol. [25] uviedli referenčné hodnoty dávok pre reakcie nádoru v štúdiách o RF-EMF od NTP [13] a RI [14], v ktorých bolo významný pozitívny trend. Zameriavame sa na srdcové schwannómy, pretože odpoveď bola najsilnejšia a autori ju ohodnotili ako vysoký CoE.

Systematický prehľad účinkov RF-EMF na rakovinu u laboratórnych zvierat.

Použili sme aj nástroje Benchmark Dose od EPA (<https://www.epa.gov/bmds>) na výpočet BMD₀₁ hodnoty pre incidenciu upravenú podľa dávky v závislosti od prežitia srdcových schwanómov a kombinácie srdcových schwanómov a mozgových schwanómov gliómy u samcov potkanov vystavených 900 MHz CDMA a GSM modulovanému RFR [13], ako aj pre údaje o schwannóme srdca v Ra nazziniho inštitúte štúdia [14]. V prípade dvojročných štúdií karcinogenity americká agentúra EPA a kalifornská agentúra EPA odporúčajú použitie BMD získaných z viacstupňovej liečby rakoviny s dávkovou odozvou modely uvedené v softvéri Benchmark Dose od EPA. Upravený poly-3 miera výskytu nádorov a výsledky našich analýz BMD sú uvedené v Doplnkové dátové súbory. Metóda prežitia poly-3 upravuje mieru výskytu nádorov o zohľadnenie rozdielov v úmrtnosti medzi kontrolnou a expozičnou skupinou počas štúdie karcinogenity.

V súčasných analýzach sme sa zamerali na BMDL₀₁ hodnoty od čias US EPA [3] zdôrazňuje odhad dolnej hranice, aby sa zohľadnila neistota v skutočnej hodnote hodnota BMD. Lineárna extrapolácia nízkych dávok z týchto hodnôt poskytuje odhady SAR pre celé telo spojené s dodatočným rizikom rakoviny 1×10^{-5} .

Stanovenie SAR pre celé telo, ktoré minimalizuje nepriaznivé účinky na mužov
plodnosť

Použili sme výsledky zo systematického prehľadu od Cordelliho a kol. [26] o účinky vystavenia RF-EMF na mužskú plodnosť s cieľom odhadnúť hodnotu SAR, ktorá by mohli minimalizovať tieto účinky. Títo autori uviedli, že vzťah medzi SAR a zníženou graviditou u laboratórnych zvierat bol lineárny s hodnotou účinnosti 3,0 % na W/kg. Pretože nie sú k dispozícii dostatočné informácie o rozdelenie pravdepodobnosti charakteristík ľudskej variability a medzidruhové rozdiely rozdiely v reprodukčnej náchylnosti na vystavenie rádiofrekvenčnému žiareniu, neistota Na hodnotu účinnosti, ktorú uviedli Cordelli a kol., boli aplikované faktory (Tabuľka 1). [26]. Ďalším odôvodnením použitia špecifikovaných faktorov neistoty je uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1.

**Faktory neistoty použité na mieru odozvy 0,03 na W/kg
pre zníženú mužskú plodnosť**

Neistota Faktor	Odôvodnenie
Medzidruhové: 10X (zvíra do človek)	Na základe správ o poklese počtu ľudských spermíí [28] a keďže produkcia spermíí na gram testikulárneho tkaniva je u ľudí oveľa nižšia v porovnaní s potkanmi [29], je potrebný faktor neistoty aspoň 10x.
Vnútrodruhové: 10-násobok	Okrem fyziologických a genetických rozdielov sa jednotlivci líšia aj v expozícii a reakcii na iné látky, ktoré môžu ovplyvniť mužskú plodnosť, ako sú napríklad chemikálie narúšajúce endokrinný systém [30].

Žiadna hodnota NOAEL: 3x

Miera odozvy 3 % nie je NOAEL, je ekvivalentom LOAEL [31].

ČLÁNOK V TLAČI

Výsledky

Riziko rakoviny z vystavenia sa rádiofrekvenčným elektromagnetickým poliam na základe údajov zo zvierat

údaje o karcinogenite

V tabuľke 2 sú uvedené hodnoty BMD₀₁ hodnoty z viacstupňového 1 dávkovo-odpovedového testu model a zodpovedajúce 95 % hodnoty dolnej hranice spoľahlivosti (BMDL₀₁) pre srdcové schwannómy zo štúdie NTP (CDMA- a GSM-modulovaná RFR), štúdia Ramazziniho inštitútu a kombinácia srdcových schwannómov a mozgové gliómy v štúdiu NTP u samcov potkanov. V prípade mutagénnych látok alebo tie, u ktorých nie je známy spôsob účinku na vznik rakoviny, BMDL hodnota je východiskovým bodom pre lineárnu extrapoláciu rizika rakoviny pri nízkych dávkach.

Tabuľka 2.

BMD (hustota kostnej hmoty)₀₁ pre srdcové schwannómy na základe výsledkov z NTP a štúdie rakoviny Ramazzini Institute u samcov potkanov a srdca schwannómy alebo mozog gliómy v štúdiách NTP

Nádor, štúdia	BMD (hustota kostnej hmoty)₀₁ (W/kg)	BMDL₀₁(W/kg)
Schwannóm srdca		
NTP, CDMA	0,667	0,422
NTP, GSM	1,0003	0,590
Ramazzini Inst	0,097	0,037
Schwannóm srdca alebo glióm mozgu		
NTP CDMA	0,538	0,344
NTP, GSM	0,494	0,336

Zníženie BMDL₀₁₀ poskytuje dávku RF-EMF súvisiacu s rizikom rakoviny 1×10^{-5} ; toto je ekvivalentné zmene jednotiek BMD z W/kg na mW/kg. Riziko rakoviny sa teda zníži na 1×10^{-5} odhaduje sa, že je spojený s dennou dávkou SAR 0,422 mW/kg na základe výsledkov z NTP CDMA štúdia, 0,59 mW/kg na základe výsledkov zo štúdie NTP GSM, 0,037 mW/kg na základe výsledkov štúdie RI, 0,344 mW/kg a 0,336 mW/kg na základe kombinovaná miera výskytu schwannómu srdca a gliómu mozgu v dôsledku vystavenia sa CDMA- a GSM-modulované RF-EMF v štúdii NTP.

Denná expozícia RF-EMF bola v štúdii NTP 9 hodín denne [13] a 19 hod/deň v štúdii RI [14]. Na základe BMDL₀₁ hodnoty vypočítané z viacstupňový model závislosti odpovede od dávky, SAR za hodinu pri 10^{-5} riziko je 3,8 mW/kg pre výsledky NTP CDMA, 5,31 mW/kg na základe výsledkov NTP GSM, 0,70 mW/kg pre výsledky RI a 3,1 mW/kg a 3,02 mW/kg pre kombinácia srdcových schwannómov a mozgových gliómov zo štúdií NTP pre CDMA a GSM modulované RF-EMF (Tabuľka 3).

Limit expozície pre širokú verejnosť stanovený ICNIRP [2] a FCC [1] vystavených RF-EMF je 0,08 W/kg = 80 mW/kg a 0,4 W/kg (400 mW/kg) pre pracovníci vystavení vysokofrekvenčným elektromagnetickým poliam v práci. Tabuľka 4 zobrazuje pomer Aktuálny limit expozície ICNIRP/FCC v porovnaní s odvodenými hodnotami SAR spojené so zvýšeným rizikom rakoviny 1×10^{-5} v zvähu k počtu hodín denne vystavenia RF-EMF. Na základe výsledkov z štúdie karcinogenity na pokusných zvieratách sú zrejmé, že ďalšie riziko rakoviny 1×10^{-5} širokej verejnosti sa zvyšuje 15- až 114-násobne

1 hodina/deň vystavenia RF-EMF na úrovni limitu celotelovej expozície ICNIRP/FCC, a 60- až 444-násobne pri 4 hodinách expozície denne. U pracovníkov je riziko rakoviny je 5-krát vyššie ako riziko pre širokú verejnosť.

Tabuľka 3.

SAR (mW/kg) priradený k 1×10^{-5} riziko srdcových schwanómov v štúdiách karcinogenity podľa NTP a RI a riziko srdcových schwanómov alebo mozgových gliómov v štúdiách NTP na základe počtu hodín expozície za deň

Expozícia <small>znovu</small> (hod./deň)	Schwannomy srdca			Schwannomy srdca alebo mozgové gliómy	
	NTP (CDMA)	NTP (GSM)	Ramazzini Inst.	NTP (CDMA)	NTP (GSM)
	<i>SAR (mW/kg) súvisiaci s 1×10^{-5} riziko</i>				
1	3,80	5,31	0,70	3,10	3,02
2	1,90	2,66	0,35	1,55	1,51
4	0,95	1,33	0,18	0,77	0,76
8	0,47	0,66	0,088	0,39	0,38

Tabuľka 4.

Pomer limitu celotelovej expozície pre RF-EMF podľa ICNIRP/FCC (80 mW/kg pre širokú verejnosť) v porovnaní s hodnotou expozície spojenou s 1×10^{-5} riziko srdcových schwanómov v štúdiách karcinogenity podľa NTP a RI a riziko srdcových schwanómov alebo mozgových gliómov v štúdiách NTP

Vystavenie (hod./deň)	Schwannomy srdca			Schwannomy srdca alebo mozgové gliómy	
	NTP (CDMA)	NTP (GSM)	Ramazzini Inšt.	NTP (CDMA)	NTP (GSM)
	<i>Pomer limitu expozície ICNIRP/FCC k SAR (mW/kg) priradenému k 1×10^{-4} riziko rakoviny</i>				
1	21	15	114	26	26
2	42	30	229	52	53
4	84	60	444	104	105
8	170	121	909	205	211

Zníženie limitov vystavenia RF-EMF s cieľom minimalizovať stratu mužskej plodnosti

Aby sa dosiahol vyšší ochranný limit expozície pre mužskú plodnosť,

Na hodnotu účinnosti 0,03 na

W/kg, ktorú uviedli Cordelli a kol. [26] vo svojom pracovnom dokumente o účinkoch RF-

Expozícia elektromagnetickým polím na plodnosť samcov u pokusných zvierat:

10-násobok pre extrapoláciu zo zvierat na ľudí 10-násobok pre rozdiely medzi jednotlivými ľuďmi

3x, ak nebola identifikovaná hodnota NOAEL

Na základe kumulatívneho faktora neistoty 300 (keď NOAEL má (ak nebola identifikovaná), dávka spojená s 3 % odpoveďou (t. j. 1 W/kg) je vydelené 300, čím sa získa limit expozície 3,3 mW/kg pre mužské reprodukčné orgány toxicita (Tabuľka 5). Ak je však 1 W/kg hodnota NOAEL, potom kumulatívna faktor neistoty je 100 a limit expozície pre nepriaznivý účinok na plodnosť mužov by bola 10 mW/kg. Cordelli a kol. [26] nikdy nešpecifikovali

NOAEL alebo prahová hodnota odozvy pre ktorýkoľvek z parametrov mužskej reprodukcie v ich SR.

Na dosiahnutie limitu expozície 3,3 mW/kg by sa mal dodržiavať limit ICNIRP/FCC je potrebné znížiť 24-násobne ($80/3,3 = 24$) pre širokú verejnosť a približne 120-násobok pre expozície v práci ($400/3,3 \sim 120$). Na dosiahnutie expozície limit 10 mW/kg, limit ICNIRP/FCC by bolo potrebné znížiť 8-násobne ($80/10 = 8$) pre širokú verejnosť a približne 40-násobok pre osoby v zamestnaní expozície ($400/10 = 40$).

Tabuľka 5

Pomer limitu SAR pre celé telo podľa ICNIRP/FCC pre RF-EMF (80 mW/kg pre širokú verejnosť alebo 400 mW/kg pre pracovníkov) v porovnaní s vypočítaným limitom expozície potrebným na minimalizáciu nepriaznivých účinkov RF-EMF na mužskú plodnosť.

Dávka, SAR	Kumulatívne Neistota Faktor	Vypočítané vystavenie limit, mW/kg	Pomer ICNIRP/FCC limit pre vypočítaný SAR, všeobecné verejnosť	Pomer ICNIRP/FCC limit pre vypočítaný SAR, Pracovníci
1 W/kg \neq <small>NOAEL (bez prítomnosti pozitívnych účinkov)</small>	300	3.3	24	120
1 W/kg = <small>NOAEL (bez prítomnosti pozitívnych účinkov)</small>	100	10	8	40

Diskusia

Hoci súčasné limity vystavenia sa rádiofrekvenčným elektromagnetickým poliam podľa ICNIRP a FCC sú na základe použitia svojvoľných „bezpečnostných faktorov“ na nedostatočné zdravie informácie o účinkoch, dvaja nedávni zamestnanci poverení WHO uviedli „vysoká istota dôkazov“, že vystavenie RFR je spojené so zvýšeným riziko rakoviny [25] a znížená mužská plodnosť [26,27]. V tejto práci sme použili nástroje EPA pre porovnávacie dávky na odhad rakovinových potenciálov pri zvýšených incidencie srdcových schwannómov v štúdiách NTP a Ramazzini Institute zameraných na RF-EMF a na výpočet celotelových SAR, ktoré by boli spojené s zvýšené riziko rakoviny 1×10^{-5} . Okrem toho sme použili faktory neistoty zvyčajne používané regulačnými agentúrami pre uvádzanú hodnotu potencie u mužov reprodukčnú toxicitu na odhad hodnôt SAR, ktoré by minimalizovali nežiaduce účinky účinky na mužskú plodnosť.

Riziko rakoviny bolo odhadnuté lineárnou extrapoláciou z BMDL₀₁ hodnoty pre zvýšený výskyt srdcových schwannómov a kombinované miery srdcových schwannómov a mozgových gliómov zo štúdií o RF-EMF vykonaných NTP [13] a pre zvýšený výskyt srdcových schwannómov v štúdiu Ramazziniho inštitútu [14]. Lineárna extrapolácia nízkych dávok sa používa, keď spôsob účinku indukcie nádoru nie je známy [3]. Hoci neexistujú žiadne štúdie ukazujúce, že mechanizmus účinku nádorovej odpovede u zvierat vystavenie RF-EMF by sa u ľudí nevyskytlo, početné štúdie preukázali

hlásené genotoxické účinky z vystavenia sa rádiofrekvenčným elektromagnetickým poliam [32-33].

Kvantifikovať riziko rakoviny u ľudí pri absencii dostatočného množstva ľudských údaje o závislosti od dávky sa zdravotnícke agentúry spoliehajú na údaje o rakovine u zvierat na stanovenie

limity expozície, ktoré minimalizujú riziko rakoviny u ľudí: 1 na stotisíc (1×10^{-5}) alebo 1 na milión (1×10^{-6}). Je to preto, lebo procesy ochorenia indukcia je u ľudí a potkanov podobná; každý známy ľudský karcinogén je karcinogénne u pokusných zvierat pri primeranom testovaní a kontrolované expozície v experimentálnych štúdiách eliminujú potenciálne účinky matúce faktory [34]. Okrem toho, dobre vykonané štúdie na zvieratách môžu vylúčiť potreba čakať na dostupnosť dostatočných údajov o rakovine u ľudí pred implementácia stratégií na ochranu verejného zdravia. Hoci prípadová kontrola štúdie zistili zvýšené riziko rakoviny u používateľov mobilných telefónov zvýšený čas hovoru, latencia a lateralita, chýbali údaje o expozícii dostatočné informácie o intenzite alebo dávke RFR spojenej s riziko rakoviny. Toto obmedzenie prekonávajú štúdie na laboratórnych zvieratách. Riziko rakoviny je funkciou intenzity RFR a počtu hodín denne že je jednotlivec vystavený RF-EMF. Na dosiahnutie limitu expozície spojené s rizikom rakoviny / 1×10^{-5} limity expozície FCC a ICNIRP pre RFR by sa muselo znížiť približne 15 až 114-násobne pre expozície iba 1 hodinu/deň a 121- až 909-násobne pri expozíciách 8 hodín/deň. V súčasnosti limity expozície, riziko rakoviny u širokej verejnosti je príliš vysoké aj pre expozície iba 1 hodina/deň.

Identifikácia environmentálneho činiteľa ako pravdepodobného alebo pravdepodobného regulačné orgány vyžadujú prítomnosť ľudského karcinogénu predtým, ako vykonajú analýza závislosti odpovede od dávky a kvantitatívne hodnotenie rizika rakoviny. V roku 2011 expertný panel IARC klasifikoval RF-EMF ako *potenciálne karcinogénne pre ľudí*

na základe *obmedzené dôkazy* ľudí a u experimentálnych zvierat [21].

Obmedzené dôkazy u ľudí, založené na zvýšenom riziku gliómov v oboch

Štúdiá INTERPHONE v 13 krajinách a švédske prípadovo-kontrolné štúdie znamenajú

že „bola pozorovaná pozitívna súvislosť medzi expozíciou

agens a rakovina, pri ktorých sa zvažuje kauzálna interpretácia

Pracovná skupina by mala byť dôveryhodná, ale náhoda, zaujatosť alebo mätúce faktory by neboli

vylúčené s primeranou istotou.“ Hodnotenie obmedzených dôkazov v

experimentálnych zvierat bola založená prevažne na pozitívnych výsledkoch u niektorých

iniciačné a propagačné štúdie a nedostatok dostatočných údajov z konvenčných

dlhodobé štúdie karcinogenity [21].

Od čias hodnotenia IARC bola vykonaná ďalšia rozsiahla štúdia (tá, ktorá Francúzska multicentrická prípadovo-kontrolná štúdia) zistila významný nárast rizika gliómov a výsledky štúdií karcinogenity RF-EMF vykonaných

Boli zverejnené NTP a Ramazziniho inštitút. Rozhodnutie, že tam

je teraz *dostatočné dôkazy* pre karcinogenitu RF-EMF u zvierat a navyše

hodnotenie *obmedzené dôkazy* ľudí je v súlade s IARC

klasifikácia *pravdepodobne karcinogénny pre ľudí* mohlo by to viesť k dohode o hospodárskom partnerstve

a/alebo FCC vykonáva kvantitatívne posúdenie rizika RF-EMF prostredníctvom

metodika podobná tej, ktorá je použitá v tomto článku.

Autori systematického prehľadu WHO o riziku rakoviny spôsobenom RF-EMF v...

široká verejnosť dospela k záveru: „Pre vystavenie hlavy blízku poľu vysokofrekvenčných elektromagnetických polí

z používania mobilného telefónu došlo dôkazy s miernou istotou že je pravdepodobné

nezvyšuje riziko gliómu“ [23]. Avšak, niekoľko kritických nedostatkov v

že preskúmanie bolo identifikované [35], vrátane: 1) silného spoliehania sa na Dánska kohortová štúdia, ktorú IARC vyhodnotila ako neinformatívnu z dôvodu expozície bol založený na predplatnom u poskytovateľov mobilných telefónov, čo malo za následok „niekoľko potenciálne zdroje nesprávnej klasifikácie expozície,“ 2) citované štúdie chýbal dostatočný čas sledovania na detekciu neskoršie sa rozvíjajúcich nádorov, 3) metriky expozície (vždy vs. nikdy a čas od začiatku užívania) pre kohortové štúdie, ktoré dominovali záverom tohto systematického prehľadu, chýbali informácie o skutočnom rozsahu používania alebo absorpcie rádiových frekvencií energie, a 4) väčšina metaanalýz kombinovala údaje zo štúdií, ktoré použili rôzne metodiky (napr. kohorta vs. prípadová kontrola), ktoré prispeli k vysokej heterogenite medzi štúdiami. Okrem toho ich analýza závislosti od dávky údajov z prípadovej kontroly gliómu vykazovali takmer lineárny, ale nevýznamný zvýšenie rizika s kumulatívnym časom hovoru nad približne 500 hodín. Na základe rovnakého primárneho štúdia, metaanalýza údajov prípadov a kontrol gliómu od Moon a kol. [24] zistili štatisticky významný nárast relatívneho rizika mozgového gliómu pri kumulatívnych časoch volania dlhších ako 896 hodín. Použitie Bradfordovho Hilloveho kritériá na hodnotenie vedeckých dôkazov o riziku gliómu z prípadov-kontrolného štúdia používateľov mobilných telefónov, Carlberg a Hardell [36] uviedli že bolo splnených deväť kritérií pre príčinnú súvislosť RF žiarením. Preto existuje dostatočný dôkaz pre regulačné opatrenie, ktoré by zahŕňalo vykonanie analýzy závislosti dávky od reakcie a kvantitatívne hodnotenie rizika rakoviny pri RF-EMF; toto opatrenie je obzvlášť potrebné, pretože súčasné limity expozície RF-EMF sú založené na nedostatočných a zastaraných informáciách o účinkoch na zdravie.

Aplikácia faktorov neistoty, ktoré sa zvyčajne používajú regulačné orgány pre toxické látky s hodnotou účinnosti 0,03 na W/kg hlásené Cordelli a kol. [26] pre zníženú plodnosť u laboratórnych zvierat vystavenie RF-EMF viedlo k limitnej hodnote expozície 3,3 alebo 10 mW/kg. Tieto hodnoty sú 8 až 24-krát nižšie ako hodnoty expozície stanovené ICNIRP a FCC. limity pre širokú verejnosť. Okrem účinkov RF-EMF na mužskú plodnosť, Cordelli [26] zaznamenal štatisticky významné nežiaduce účinky u väčšiny mužov hodnotené reprodukčné koncové body vrátane zníženia počtu spermíí, vitalita spermíí (nehybné alebo mŕtve spermie), hmotnosť semenníka alebo nadsemenníka, spermie produkcia a hladina testosterónu a zvýšenie DNA/chromatínu spermíí zmeny, histologické zmeny semenníkov a smrť buniek semenníkov. V SR/MA o účinkoch vystavenia RF-EMF na tehotenstvo a výsledky pôrodu u experimentálnych zvierat Cordelli a kol. [35] zaznamenali štatisticky významné nežiaduce účinky vrátane zvýšenia počtu resorbovaných a mŕtvych plodov a úmrtí plodu malformácie a zníženie hmotnosti a dĺžky plodu. Podobne ako pri účinky vystavenia RF-EMF na mužskú plodnosť, Cordelli a kol. [37] uviedli, že zvýšený výskyt resorbovaných a mŕtvych plodov zodpovedá lineárnej dávke-vzťah odozvy s hodnotou účinnosti 0,03 na W/kg. Existuje teda vážne obavy z potenciálnych nepriaznivých účinkov vystavenia RF-EMF na mužov plodnosť a výsledky pôrodu.

Uche a Naidenko [38] použili podobný prístup na odvodenie celku-limit vystavenia tela RF-EMF na základe hláseného zvýšeného výskytu kardiomyopatie v štúdiu NTP [13] o RFR u potkanov. Ich výpočet ukázal, že

Súčasný limit expozície ICNIRP a FCC 0,08 W/kg je 20 až 40-krát vyšší, aby bola dostatočne chránená pred indukovanou kardiomyopatiou. Preto teraz existujú najmenej tri nežiaduce účinky (rakovina, mužská neplodnosť a kardiomyopatia) expozície RF-EMF, pri ktorej sa vyskytujú významné riziká pri nižších SAR než limity expozície ICNIRP a FCC. Okrem toho tieto účinky preukazujú, že behaviorálne účinky RF-EMF hlásené v 80. rokoch 20. storočia De Lorge a Ezell [9] a De Lorge [10], a ktoré slúžia ako základ pre súčasné limity RFR určite nie sú najcitlivejšími zdravotnými účinkami

Expozícia rádiovými frekvenciami a elektromagnetickým poliám.

Väčšina predpokladov zahrnutých v našich analýzach je založená na usmerneniach vydané agentúrami verejného zdravotníctva na stanovenie ochranných podmienok pre zdravie pri expozícii limity pre nebezpečné environmentálne látky. Patria sem: 1) údaje o zvieratách sú spoľahlivé na stanovenie limitov expozície identifikovaným nebezpečným látkam, keď zo štúdií na ľuďoch nie sú k dispozícii dostatočné informácie; 2) expozícia limity založené na najsilnejšej reakcii v najcitlivejšom zvieracom modeli pravdepodobne majú ochranné účinky pre väčšinu ľudí; 3) lineárna extrapolácia nízkych dávok je vhodné, keď nie sú k dispozícii dostatočné informácie na stanovenie nelineárneho mechanizmu účinku pri nízkych dávkach; 4) odhady expozície pri úrovniach rizika rakoviny, ktoré sú prijateľné podľa politiky agentúry, možno ich získať lineárnym nízko-extrapolácia dávky z BMD získanej prispôbením empirickej závislosti dávky od odpovede modely k experimentálnym údajom o rakovine; 5) extrapolácia nízkych dávok z Hodnota BMDL zohľadňuje neistotu skutočnej hodnoty BMD; 6) pre nerakovinové účinky, príslušný limit expozície je založený na prahovej dávke-

model reakcie; 7) primerane zohľadnené faktory neistoty odporúčané agentúrou zohľadňujú medzidruhové a vnútrodruhové rozdiely v citlivosti, ako aj pre nedostatok identifikovanej hladiny bez pozorovaných nežiaducich účinkov; a 8) pre RF-Elektromagnetické polia, zdravotné riziká musia byť založené na hodnotách SAR, pretože súčasná expozícia limity sú založené na danej metrike dávky.

Okrem týchto predpokladov existujú aj obmedzenia v hodnotách uvedené v tomto dokumente, ktoré by mohli podceniť skutočné riziko, vrátane: 1) využitie SAR ako vhodnej metriky dávky v týchto analýzach riziko rakoviny nezohľadňuje interakcie elektromagnetických polí s biologickými tkanivami v molekulárnej úrovni v dôsledku emisií blízkeho poľa z bezdrôtových zariadení nachádzajúcich sa vedľa vlastného tela; 2) extrapolácia nízkych dávok na hodnotenie rizika rakoviny nezohľadňuje interindividuálne rozdiely v náchylnosti v dôsledku rozdielov v genetických faktoroch (napr. oprava DNA), zdravotnom stave, životnom štýle, expozíciách iné rakovinotvorné látky atď.

Záver

Na základe zistení dvoch špeciálnych referentov poverených WHO že existuje „vysoká istota dôkazov“, že vystavenie sa rádiový frekvenčnému rušeniu je spojené so zvýšeným rizikom rakoviny a zníženou mužskou plodnosťou, ako aj ako porovnávacie analýzy dávok sme zistili, že expozícia ICNIRP a FCC limity pre RF-EMF nie sú dostatočné na ochranu ľudského zdravia. Tieto limity je potrebné výrazne znížiť, aby boli v súlade s tým, ako verejné zdravie

agentúry stanovujú limity expozície na zníženie zdravotných rizík pre širokú verejnosť z vystavenia sa nebezpečným environmentálnym faktorom. Na zníženie dodatočného rizika rakoviny od vystavenia RF-EMF do 1×10^{-5} , limit expozície celého tela by je potrebné znížiť 15- až viac ako 900-násobne, s expozíciami, ktoré sa líšia od 1 do 8 hodín/deň. Na zníženie rizika zníženej mužskej plodnosti vo všeobecnosti verejnosti by bolo potrebné znížiť limit ICNIRP a FCC 8 až 24-násobne.

Nezávislé prehodnotenie limitov expozície RF-EMF na základe vedeckých poznatkov vedomosti získané za posledných 30 rokov a ich aplikácia v oblasti zdravia ochranné metódy sú už dávno potrebné.

Financovanie Náklady na publikovanie financovala nezisková skupina Electromagnetic Safety Alliance.

Číslo klinického skúšania: neuplatňuje sa

ČLÁNOK V TLAČI

Referencie

1. Federálna komunikačná komisia (FCC). Navrhované zmeny v pravidlách komisie týkajúcich sa vystavenia ľudí rádiofrekvenčným elektromagnetickým poliam; Prehodnotenie limitov a politík Federálnej komunikačnej komisie pre vystavenie rádiofrekvenčnému žiareniu, FCC19-126, 2019.

<https://www.federalregister.gov/documents/2020/04/06/202006966/human-exposure-to-radiofrequency-electromagnetic-fields>
2. Medzinárodná komisia pre ochranu pred neionizujúcim žiarením (ICNIRP). Usmernenia pre obmedzenie vystavenia elektromagnetickým poliam (100 kHz až 300 GHz). Health Phys. 2020;118:483-524. doi: 10.1097/HP.0000000000001210.
3. Agentúra na ochranu životného prostredia USA (US EPA). „Usmernenia pre hodnotenie rizika karcinogénov“, EPA/630/P-03/001F. Washington, DC; 2005. Dostupné na https://www3.epa.gov/airtoxics/cancer_guidelines_final_3-25-05.pdf
4. Úrad pre hodnotenie rizík pre životné prostredie (OEHHA). Technický podporný dokument pre odvedenie referenčných úrovní expozície, ktoré nespôsobujú rakovinu. Sacramento: Úrad pre hodnotenie rizík pre životné prostredie, Kalifornská agentúra pre ochranu životného prostredia; 2008. <https://oehha.ca.gov/air/crnrr/draft-technical-support-documentnoncancer-risk-assessment-jul-2008>
5. Národná rada pre výskum. Veda a rozhodnutia: pokrok v hodnotení rizík: National Academies Press; 2009. Dostupné na: <https://www.nap.edu/catalog/12209/science-and-decisions-advancing-risksassessment>
6. Medzinárodná rada pre harmonizáciu (ICH). 2021. Nečistoty: Pokyny pre zvyškové rozpúšťadlá Q3C(R8). Dostupné na:

https://database.ich.org/sites/default/files/ICH_Q3C-R8_Guideline_Step4_2021_0422_1.pdf

7. Federálna komunikačná komisia (FCC). Hodnotenie súladu s usmerneniami FCC pre vystavenie ľudí rádiovfrekvenčným elektromagnetickým poliam, 1997. Bulletin OET 65.
https://transition.fcc.gov/Bureaus/Engineering_Technology/Documents/bulletins/oet65/oet65.pdf
8. Medzinárodná komisia pre ochranu pred neionizujúcim žiarením (ICNIRP). Pokyny ICNIRP pre obmedzenie vystavenia časovo premenlivým elektrickým, magnetickým a elektromagnetickým poliam (do 300 GHz). Health Phys. 1998;74:494–522. Erratum v: Health Phys 1998 Oct;75(4):442.
9. De Lorge JO, Ezell CS. Pozorovanie reakcií potkanov vystavených mikrovlnám s frekvenciou 1,28 a 5,62 GHz. Bioelektromagnetics. 1980;1:183–98. doi: 10.1002/bem.2250010208.
10. De Lorge JO. Operatívne správanie a teplota hrubého čreva u Macaca mulatta vystavených rádiovfrekvenčným poliam na rezonančných frekvenciách a vyšších. Bioelektromagnetics. 1984;5:233–46. doi: 10.1002/bem.2250050211.
11. Lotz WG. Hypertermia u makakov rézus vystavených rádiovfrekvenčnému žiareniu: porovnanie účinkov frekvencie a orientácie. Radiat Res. 1985;102:59–70.
12. Medzinárodná komisia pre biologické účinky elektromagnetických polí (ICBE-EMF). Vedecké dôkazy vyvracajú zdravotné predpoklady, ktoré sú základom limitov expozície rádiovfrekvenčnému žiareniu FCC a ICNIRP: dôsledky pre 5G. Životné prostredie a zdravie. 2022;18;21(1):92. doi: 10.1186/s12940-022-00900-9.

13. Národný toxikologický program. 595: Technická správa NTP o toxikologických a karcinogénnych štúdiách u Hsd: Potkany Sprague Dawley SD vystavené celotelovému rádiovfrekvenčnému žiareniu s frekvenciou (900 MHz) a moduláciami (GSM a CDMA) používanými mobilnými telefónmi. Národný toxikologický program, Ministerstvo zdravotníctva a sociálnych služieb USA. 2018. Dostupné na:
https://ntp.niehs.nih.gov/sites/default/files/ntp/htdocs/lt_rpts/tr595_508.pdf .
14. Falcioni L, Bua L, Tibaldi E, Lauriola M, De Angelis L, Gnudi F a kol. Správa o konečných výsledkoch týkajúcich sa nádorov mozgu a srdca u potkanov kmeňa Sprague-Dawley vystavených od prenatálneho života až do prirodzenej smrti rádiovfrekvenčnému poľu mobilného telefónu, ktoré je reprezentatívne pre environmentálne vyžarovanie základňovej stanice GSM s frekvenciou 1,8 GHz. Environ Res. 2018;165:496–503. doi: 10.1016/j.envres.2018.01.037.
15. Študijná skupina Interphone. Riziko nádoru mozgu vo vzťahu k používaniu mobilného telefónu: výsledky medzinárodnej prípadovo-kontrolnej štúdie INTERPHONE. Int J Epidem ol. 2010;39:675–94. doi: 10.1093/ije/dyq079.
16. Študijná skupina Interphone. Riziko akustického neurómu vo vzťahu k používaniu mobilného telefónu: výsledky medzinárodnej prípadovo-kontrolnej štúdie INTERPHONE. Cancer Epidemiol. 2011;35:453–64. doi: 10.1016/j.canep.2011.05.012.
17. Hardell L, Carlberg M. Používanie mobilných a bezdrôtových telefónov a prežitie pacientov s gliómom. Neuroepidemiology. 2013;40:101–108. doi: 10.1159/000341905.
18. Hardell L, Carlberg M, Söderqvist F, Hansson Mild K. Súhrnná analýza prípadovo-kontrolných štúdií o akustickej neurome diagnostikovanej v rokoch 1997 – 2003 a 2007 – 2009 a používaní mobilných a bezdrôtových telefónov. Int J Oncol. 2013;43:1036 – 1044. doi: 10.3892/ijo.2013.2025.

19. Hardell L, Carlberg M. Používanie mobilných a bezdrôtových telefónov a riziko vzniku gliómu – analýza súhrnných prípadovo-kontrolných štúdií vo Švédsku, 1997 – 2003 a 2007 – 2009. *Pathophysiology*. 2015;22:1–13. doi: 10.1016/j.pathophys.2014.10.001.
20. Coureau G, Bouvier G, Lebailly P, Fabbro-Peray P, Gruber A, Leffondre K a kol. Používanie mobilných telefónov a mozgové nádory v prípadovo-kontrolnej štúdii CERENAT. *Occup Environ Med*. 2014;71:514–22. doi: 10.1136/oemed-2013-101754.
21. Medzinárodná agentúra pre výskum rakoviny (IARC). Monografia IARC o hodnotení karcinogénnych rizík pre ľudí: neionizujúce žiarenie, časť 2: rádiovfrekvenčné elektromagnetické polia. Lyon, Francúzsko, 102; 2013. s. 1–460. <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Non-ionizing-Radiation-Part-2-Radiofrequency-Electromagnetic-Fields-2013>
22. Choi YJ, Moskowitz JM, Myung SK, Lee YR, Hong YC. Používanie mobilných telefónov a riziko vzniku nádorov: Systematický prehľad a metaanalýza. *Int J Environ Výskum verejného zdravia*. 2020;17:8079. doi: 10.3390/ijerph17218079.
23. Karipidis K, Baaken D, Loney T, Blettner M, Brzozek C, Elwood M, Narh C, Orsini N, Rösli M, Paulo MS, Lagorio S. Vplyv vystavenia rádiovfrekvenčným poliam na riziko rakoviny u bežnej a pracujúcej populácie: Systematický prehľad observačných štúdií na ľuďoch - Časť I: Najskúmanejšie výsledky. *Environ Int*. 2024;191:108983. doi: 10.1016/j.envint.2024.108983.
24. Moon J, Kwon J, Mun Y. Vzťah medzi rádiovfrekvenčným elektromagnetickým žiarením z mobilných telefónov a nádorom na mozgu: metaanalýzy s použitím rôznych ukazovateľov pre výsledok vystavenia RF-EMR

- hodnotenie. *Environ Health*. 2024;23: 82.doi: [10.1186/s12940-024-01117-8](https://doi.org/10.1186/s12940-024-01117-8).
25. Mevissen M, Ducray A, Ward JM, Kopp-Schneider, McNamee JP, Wood WW, Rivero TM, Straif K. Účinky vystavenia rádiovfrekvenčnému elektromagnetickému poľu na rakovinu v štúdiách na laboratórnych zvieratách, systematický prehľad. *Environ Int*. 2025;199:109482. doi:[10.1016/j.envint.2025.109482](https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109482).
26. Cordelli E, Ardoino L, Benassi B, Consales C, Eleuteri P, Marino C, Sciortino M, Villani P, H, Brinkworth M, Chen G, P, McNamee J, Wood AW, Belackova L, Verbeek J, Pacchierotti F. Účinky vystavenia rádiovfrekvenčnému elektromagnetickému poľu (RF-EMF) na mužskú plodnosť: Systematický prehľad experimentálnych štúdií na cicavcoch okrem človeka a ľudských spermiiach in vitro. *Environ Int*. 2024;185:108509. doi: [10.1016/j.envint.2024.108509](https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108509).
27. Cordelli E, Ardoino L, Benassi B, Consales C, Eleuteri P, Marino C, Sciortino M, Villani P, H, Brinkworth M, Chen G, P, McNamee J, Wood AW, Belackova L, Verbeek J, Pacchierotti F. 2025. Oprava k článku „Účinky vystavenia rádiovfrekvenčnému elektromagnetickému poľu (RF-EMF) na mužskú plodnosť: Systematický prehľad experimentálnych štúdií na neľudských cicavcoch a ľudských spermiiach in vitro“ „*Environ Int*. 185 (2025) 108509]. *Environ Int*. 2025;199:109449.doi: [10.1016/j.envint.2025.109449](https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109449).
28. Levine H, Jørgensen N, Martino-Andrade A, Mendiola J, Weksler-Derri D a kol. Časové trendy v počte spermii: systematický prehľad a metaregresná analýza vzoriek zozbieraných na celom svete v 20. a 21. storočí. *Hum Reprod Update*. 2023;29:157-176.
29. Johnson L., Petty C.S., Neaves W.B.Porovnávacía štúdiá dennej produkcie spermii a zloženia semenníkov u ľudí a potkanov. *Biol Reprod*. 1980;22:1233-1243. doi: [10.1093/biolreprod/22.5.1233](https://doi.org/10.1093/biolreprod/22.5.1233).

30. Czarnywojtek A, Jaz K, Ochmańska A, Zgorzalewicz-Stachowiak M, Czarnocka B, et al. Vplyv endokrinných disruptorov na reprodukčný systém – súčasné poznatky. Eur Rev Med Pharmacol Sci. 2021;25:4930-4940. doi: 10.26355/eurev_202108_26450.
31. Alexeeff GV, Broadwin R, Liaw J, Dawson SV. Charakterizácia faktora neistoty LOAEL-NOAEL pre mierne nežiaduce účinky akútnej inhalačnej expozície. Regul Toxicol Pharmacol. 2002;36:96-105. doi: 10.1006/rtph.2002.1562.
32. Lai H. Genetické účinky neionizujúcich elektromagnetických polí. Electromagn Biol Med. 2021;40:264–73. doi: 10.1080/15368378.2021.1881866.
33. Weller SG, McCredden JE, Leach V, Chu C, Lam AK. Prehľad rozsahu a mapa dôkazov o expozícii rádiovfrekvencnému poľu a genotoxicite: hodnotenie *in vivo*, *in vitro* a epidemiologické údaje. 2025. Front Public Health 13:1613353. doi: 10.3389/fpubh.2025.1613353.
34. Medzinárodná agentúra pre výskum rakoviny (IARC). Monografia IARC o hodnotení karcinogénnych rizík pre ľudí: Preambula. Lyon, Francúzsko. 2019. <https://monographs.iarc.who.int/wpcontent/uploads/2019/07/Preamble-2019.pdf>.
35. Melnick RL, Moskowitz JM, Héroux P, Mallery-Blythe E, McCredden JE, Herbert M, Hardell L, Philips A, Belpoggi F, Frank JW, Scarato T, Kelley E; Medzinárodná komisia pre biologické účinky elektromagnetických polí (ICBE-EMF). Systematické prehľady o účinkoch rádiovfrekvencného žiarenia na zdravie, ktoré si objednala WHO, neposkytujú žiadnu záruku bezpečnosti. Environ Health. 2025;24:70. doi: 10.1186/s12940-025-01220-4.
36. Carlberg M., Hardell L. Hodnotenie používania mobilných a bezdrôtových telefónov a rizika gliómu z pohľadu Bradford Hill od roku 1965

asociácia alebo kauzalita Biomed Res Int. 2017;2017:9218486. doi:
10.1155/2017/9218486.

37. Cordelli E, Ardoino L, Benassi B, Consales C, Eleuteri P, Marino C, Sciortino M, Villani P, Brinkworth MH, Chen G, McNamee JP, Wood AW, Belackova L, Verbeek J, Pacchierotti F. Účinky vystavenia rádiovfrekvenčnému elektromagnetickému poľu (RF-EMF) na tehotenstvo a výsledky pôrodu: Systematický prehľad experimentálnych štúdií na cicavcoch okrem človeka. Environ Int. 2023;180:108178. doi:
10.1016/j.envint.2023.108178.
38. Uche UI, Naidenko OV. Vývoj limitov expozície rádiovfrekvenčnému žiareniu z bezdrôtových zariadení z hľadiska zdravia s použitím prístupu porovnávacej dávky. Environ Health. 2021;20:84. doi10.1186/s12940-021-00768-1.

ČLÁNOK V TLAČI