Translated from English to Slovak - www.onlinedoctranslator.com

Bundesamt
für Strahlenschutz

Zameranie na výskum EMF

V centre pozornosti „Medzinárodná kolaboratívna štúdia karcinogenity a genotoxicity rádiofrekvenčného žiarenia mobilných telefónov na zvieratách“ od Imaidu a kol. (japonská štúdia) a Kima a kol. (kórejská štúdia) v Toxicological Sciences (2026)

Kategória [rádiofrekvencia, štúdia na zvieratách]

V centre pozornosti - jún/2026 č. 1 (angl.)

Kompetenčné centrum pre elektromagnetické polia (KEMF)

1 Kontext

Dlho sa predpokladalo, že rádiofrekvenčné elektromagnetické polia (RF-EMF) sú karcinogénne, t. j. majú potenciál vyvolať rakovinu. Po tom, čo Medzinárodná agentúra pre výskum rakoviny (IARC) v roku 2011 klasifikovala RF-EMF ako potenciálne karcinogénne pre ľudí, nové štúdie skúmali ich karcinogénny potenciál u ľudí a zvierat. V roku 2018 Národný toxikologický program (NTP) USA dospel k záveru, že existujú jasné dôkazy o karcinogénnej aktivite vystavenia RF-EMF, najmä na srdcové schwannómy srdca u samcov potkanov vystavených vysokým hladinám [3]. Tieto výsledky podnietili ďalšie skúmanie. Na vyhodnotenie reprodukovateľnosti zistení NTP sa začala medzinárodná spolupráca dvoch miest, ktorej výsledkom boli japonská [1] a kórejská [2] štúdia.

2 Výsledky a závery z pohľadu Imaidu a kol. a Kima a kol.

Medzinárodný kolaboratívny projekt bol navrhnutý ako chronický biologický test, ktorý sa začal v roku 2019 a prebiehal paralelne v Kórei a Japonsku. Protokoly štúdie boli harmonizované, aby sa zabezpečila konzistentnosť a porovnateľnosť výsledkov. Keďže štúdia NTP zistila zvýšený výskyt nádorov predovšetkým u samcov potkanov v srdci, mozgu a nadobličkách, v týchto dvoch štúdiách sa použili iba samce potkanov rovnakého kmeňa a od rovnakého dodávateľa ako v štúdii NTP.

Expozičný režim pre predbežné, dvojročné a genotoxicitu štúdie bol identický. Podrobne, zvieratá boli vystavené alebo simulovane vystavené 900 MHz CDMA modulovanému RF-EMF s priemernou špecifickou absorpciou (wbSAR) pre celé telo 4 W/kg. Zahrnutá bola aj skupina 70 kontrolných zvierat v klietke, ktoré nedostali žiadnu liečbu. Expozícia RF-EMF sa vykonávala 18 hodín a 20 minút denne, štruktúrovaná ako dve obdobia s 10-minútovými cyklami zapnutia/vypnutia. Expozícia začala in utero od 5. dňa gravidity a pokračovala po odstavení mláďat 28 dní, 104 týždňov (2-ročná štúdia) alebo 14 týždňov (štúdia genotoxicity). Do štúdií boli zahrnutí a po narodení vyšetrení iba samčie potomstvo.

V 28-dňových predbežných štúdiách sa potvrdila uskutočniteľnosť a bezpečnosť expozície wbSAR v dávke 4 W/kg. Neboli zistené žiadne nežiaduce účinky súvisiace s RF-EMP na reprodukčný výkon samíc. Pozorovali sa malé štatisticky významné zmeny v niektorých hematologických/klinicko-chemických parametroch a hmotnosti orgánov, ale chýbali patologické koreláty a neboli posúdené ako toxikologicky významné. V porovnaní s potkanmi vystavenými simulovanej expozícii vykazovali samice a mláďatá vystavené RF-EMP zníženú telesnú hmotnosť a spotrebu potravy v rôznych časových bodoch pred a po odstavení. Mláďatá tiež vykazovali rozdiely v telesnej teplote.

V dvojročných japonských a kórejských štúdiách karcinogenity bolo z každej skupiny vybraných 70 samčích potomkov na štúdiu a buď boli vystavení účinkom, alebo boli vystavení účinkom simulovane počas 2 rokov. Boli hlásené nasledujúce výsledky:

- Reprodukčná výkonnosť: Neboli zistené žiadne nežiaduce účinky súvisiace s RF-EMF na reprodukčnú výkonnosť samíc. Počas laktácie bola telesná hmotnosť samíc a mláďat nižšia v skupine vystavenej RF-EMF v porovnaní so skupinou s placebom. Počas gravidity a laktácie bola spotreba potravy samíc u potkanov vystavených RF-EMF nižšia ako u potkanov s placebom. U potomstva potkany vystavené RF-EMF konzistentne konzumovali menej potravy počas väčšiny 2-ročného obdobia expozície. V závislosti od časového bodu sa to pohybovalo od približne 8 % do viac ako 30 % nižšej spotreby potravy. Okrem toho mali potkany vystavené RF-EMF od prvých niekoľkých týždňov 2-ročného obdobia expozície nižšiu telesnú hmotnosť v porovnaní s potkanmi vystavenými placebom. Telesná hmotnosť však bola na konci štúdie porovnateľná.
- Miera prežitia: V japonskej štúdii vykazovali samčie potomstvo vystavené RF-EMF štatisticky významne vyššie prežitie v 105. týždni (64,7 %) ako potkany vystavené simulovanej expozícii (42,9 %). V kórejskej štúdii sa nezistili žiadne štatisticky významné rozdiely v prežití (104. týždeň: vystavení RF-EMF 58,6 %, simulovaná expozícia 54,3 %), hoci po 60. týždni prežitie v skupine vystavenej simulovanej expozícii klesalo rýchlejšie.
- Neoplastické lézie: Pokiaľ ide o neoplastické lézie (benígne, malígne alebo celkové nádory), žiadna zo štúdií nezistila štatisticky významné, s expozíciou súvisiace zvýšenie výskytu hlavných orgánov, vrátane mozgu,

srdce a nadobličky (pozri tabuľku 1), ktoré boli v štúdii NTP [3] považované za ciele karcinogénnych účinkov vystavenia sa rádiofrekvenčným elektromagnetickým poliam.

- Neoplastické lézie: V kórejskej štúdii sa zistilo niekoľko štatisticky významných znížení neoplastických lézií v nadobličkách potkanov vystavených RF-EMF. Podľa autorov tieto zistenia naznačujú, že vystavenie RF-EMF môže byť spojené so znížením určitých hyperplastických a vakuolatívnych zmien v nadobličkách, hoci biologický význam zostáva nejasný. V japonskej štúdii vykazovalo niekoľko neoplastických lézií štatisticky významné rozdiely (zvýšenia a zníženia) medzi skupinami, ale väčšina z nich bola posúdená ako náhodná, pretože sa vyskytovali prevažne u dlho prežívajúcich zvierat a chýbal im konzistentný vzorec súvisiaci s expozíciou.
- Chronická progresívna nefropatia: V oboch štúdiách sa pozorovalo štatisticky významné zníženie výskytu chronickej progresívnej nefropatie u potkanov vystavených RF-EMF v porovnaní s potkanmi vystavenými simulovanej skupine (pozri tabuľku 1). Ako diskutovali autorské tímy, toto zistenie môže súvisieť s nižším príjmom potravy a telesnou hmotnosťou a s dlhším prežitím v japonskej štúdii. Výskyt progresívnej kardiomyopatie sa medzi skupinami v žiadnej zo štúdií nelíšil.

		Kórejské štúdium		Japonská štúdia	
		Počet zvierat s léziou (incidencia)			
Organ	**Lézia**	**RF-EMF vystavený**	**Predstierané odhalenie**	**RF-EMF vystavený**	**Predstierané odhalenie**
Srdce	Endokardiálny schwannóm	2/70 (2,9 %)	0/70 (0 %)	1/68 (1 %)	1/70 (1 %)
Mozog	Glióm (NOS)	1/70 (1,4 %)	1/70 (1,4 %)	1/68 (1 %)	0/70 (0 %)
	Malígny meningióm	0/70 (0 %)	1/70 (1,4 %)	**Nenahlásené**	**Nenahlásené**
	Benígny nádor z granulárnych buniek	**Nenahlásené**	**Nenahlásené**	0/68 (0 %)	3/70 (4 %)
	Malígny granulárny bunkový nádor	2/70 (2,9 %)	1/70 (1,4 %)	**Nenahlásené**	**Nenahlásené**
Nadobličky	Karcinóm kôry nadobličiek (karcinóm, kôra)	0/70 (0 %)	1/70 (1,4 %)	1/68 (1 %)	0/70 (0 %)
	Benígny feochromocytóm	14/70 (20 %)	15/70 (21,4 %)	9/68 (13 %)	7/70 (10 %)
	Komplexný benígny feochromocytóm	0/70 (0 %)	1/70 (1,4 %)	**Nenahlásené**	**Nenahlásené**
	Malígny feochromocytóm	3/70 (4,3 %)	1/70 (1,4 %)	0/68 (0 %)	1/70 (1 %)
	Komplexný malígny feochromocytóm	**Nenahlásené**	**Nenahlásené**	1/68 (1 %)	0/70 (0 %)
	Adenóm (kôra)	**Nenahlásené**	**Nenahlásené**	1/68 (1 %)	3/70 (4 %)
Obličky	Chronická progresívna nefropatia	49/70 (70 %)	65/70 (93 %)	54/68 (79 %)	67/70 (96 %)

Tabuľka 1: Prehľad hlavných neoplastických lézií a chronickej progresívnej nefropatie u exponovaných a simulovane exponovaných potkanov v kórejských a japonských 2-ročných štúdiách karcinogenity.

Japonské a kórejské štúdie genotoxicity sa uskutočnili súbežne s dvojročnými štúdiami karcinogenity. Po ukončení expozície sa vykonal alkalický kometový test a mikronukleový test na posúdenie poškodenia DNA a chromozómov v rôznych tkanivách potkanov. V kórejskej štúdii sa vykonal aj test mutácie génu pig-a. V testoch genotoxicity sa nepozorovali žiadne štatisticky významné rozdiely medzi skupinou vystavenou RF-EMP a skupinou vystavenou simulovanej expozícii.

Autorské tímy oboch štúdií dospeli k záveru, že výsledky ich biologických testov chronickej rakoviny neposkytujú dôkazy o karcinogénnych alebo genotoxických účinkoch dlhodobej expozície CDMA-modulovaným 900 MHz RF-EMF pri 4 W/kg wbSAR u samcov potkanov. Nálezy malígneho schwannómu v srdci neboli štatisticky významné, a preto sa považovali za najpravdepodobnejšie náhodné a nepodporujúce kauzálny vzťah s expozíciou RF-EMF.

3 komentáre od BfS

Na overenie zistení štúdie NTP a na určenie, či vystavenie RF-EMF môže zvýšiť riziko rakoviny, sú nevyhnutné robustne navrhnuté rozsiahle štúdie. V tejto súvislosti japonsko-kórejská spoločná štúdia ponúkla cenný a sľubný prístup.

Autorské tímy oboch štúdií uvádzajú, že japonsko-kórejská kolaboratívna štúdia nie je presnou replikáciou štúdie NTP, pokiaľ ide o významné zistenia u samcov potkanov po expozícii RF-EMF, pretože niekoľko kľúčových aspektov nie je identických. Napríklad existovala iba jedna úroveň expozície 4 W/kg v porovnaní s tromi úrovňami expozície v štúdii NTP (1,5, 3 a 6 W/kg). Niekoľko postupov vrátane predbežnej 28-dňovej štúdie, protokolu prerušovanej expozície a trvania expozície bolo rovnakých ako v štúdii NTP.

Ani japonská, ani kórejská štúdia nepreukázali štatisticky významný nárast výskytu novotvarov v srdci, mozgu alebo nadobličkách. Podľa autorských tímov sú tieto výsledky v rozpore so zisteniami NTP a naznačujú, že niekoľko jednotlivých prípadov srdcových schwannómov a mozgových nádorov v ich štúdiách je náhodných a nesúvisí s vystavením RF-EMF.

Z pohľadu BfS to nemožno jednoznačne vyvodiť a pretrvávajú neistoty. Hoci sa nepreukázal žiadny štatisticky významný účinok, v skupine vystavenej RF-EMF boli pozorované jednotlivé prípady nádorov vrátane troch schwannómov v srdci a dvoch gliómov v mozgu, na rozdiel od jedného prípadu v skupine s placebom, keď sa obe štúdie spojili (pozri tabuľku 1). Tieto výsledky nie sú nevyhnutne v rozpore s výsledkami NTP, pretože odhady účinkov oboch nezávislých štúdií ukazujú rovnaký smer, aj keď s veľmi širokými 95 % intervalmi spoľahlivosti, ktoré sa prekrývajú s bodovým odhadom druhej štúdie.[1]Okrem toho je potrebné pri porovnávaní výsledkov kolaboratívnej štúdie s výsledkami štúdie NTP zvážiť niekoľko aspektov:

1. Štatisticky významné účinky na srdce a mozog hlásené v štúdii NTP sú založené na badateľných zisteniach v skupine vystavenej dávke 6 W/kg. Táto úroveň expozície je výrazne vyššia ako 4 W/kg použitá v kolaboratívnej štúdii. Pri nižších úrovniach expozície 3 a 1,5 W/kg však štúdia NTP nepreukázala žiadne štatisticky významné účinky na počet nádorov v párových porovnaniach s kontrolnou skupinou vystavenou simulovanej dávke.
2. V štúdii NTP sa pozoroval štatisticky významný pozitívny trend nad 0, 1,5, 3 a 6 W/kg pre srdcové schwannómy a malígne gliómy. Keďže v kolaboratívnej štúdii sa skúmala iba jedna úroveň expozície, prítomnosť takéhoto trendu sa nemohla preskúmať.
3. Jednotlivé japonské a kórejské štúdie použili nižší počet zvierat na skupinu ako štúdia NTP (70 oproti 90), čo znižuje ich štatistickú silu. To znamená, že schopnosť zistiť rozdiel v počte zriedkavých nádorov, ako sú srdcové schwannómy a mozgové nádory [4], medzi exponovanými a simulovane exponovanými skupinami bola v oboch štúdiách obmedzená. Toto považujú za obmedzenie aj autorské tímy.

Preto nie je isté, či by sa zistili štatisticky významné zvýšenia, ak by sa použila vyššia úroveň SAR a/alebo vyšší počet zvierat na skupinu. Bolo by zaujímavé vedieť, či by kombinácia výsledkov japonskej a kórejskej štúdie viedla k štatisticky významným účinkom.

[1]Interný výpočet BfS. Počty zvierat a prípadov z japonskej a kórejskej štúdie boli sčítané; pre porovnanie Počty zvierat a prípadov z dvoch experimentálnych skupín (modulácia GSM a CDMA) štúdie NTP boli tiež kombinované, v každom prípade samostatne pre úrovne expozície najbližšie k kolaboratívnej štúdii, 3 a 6 W/kg.

Ďalší rozpor medzi japonskými a kórejskými štúdiami a štúdiou NTP sa týka výsledkov kométového testu u samcov potkanov. Japonská aj kórejská štúdia uviedli, že vystavenie RF-EMF nemalo za následok žiadne genotoxické účinky. To je v rozpore so zisteniami štúdie NTP, kde samce potkanov vystavené signálom modulovaným CDMA vykazovali zvýšené poškodenie DNA v periférnych krvných leukocytoch a štatisticky významný trend smerom k zvýšenému poškodeniu DNA vo frontálnom kortexe, hipokampe a krvných leukocytoch. Mikronukleový test bol vo všetkých troch štúdiách negatívny.

Zistenia naznačujúce potenciálny metabolický vplyv chronickej expozície vysokofrekvenčným elektromagnetickým poliam (RF-EMP) a štúdie NTP sú do značnej miery konzistentné. V oboch prípadoch potkany vystavené RF-EMP vykazovali nižšiu telesnú hmotnosť, čiastočne dlhšiu dobu prežitia a menej závažnú (štúdia NTP) alebo menej častú (štúdie Japonska/Kórey) chronickú progresívnu nefropatiu (pozri tabuľku 1). Štúdia NTP v skutočnosti do značnej miery pripisovala dlhšie prežitie zvierat vystavených RF-EMP menej závažnej nefropatii.

Okrem toho sa v predložených štúdiách zaznamenal príjem potravy u zvierat. Zistilo sa, že potkany vystavené RF-EMP konzistentne konzumovali menej potravy, v rozsahu, o ktorom je známe, že predlžuje životnosť hlodavcov [5, 6]. Tento znížený príjem môže do značnej miery vysvetliť nižšiu telesnú hmotnosť, predĺženú životnosť a zlepšené zdravie obličiek spojené s expozíciou RF-EMP v diskutovaných chronických biologických testoch. Podobné zistenia sa pozorovali v štúdiách o kalorickej reštrikcii [5]. Hlodavce chované v podmienkach pod termoneutrálnou zónou, ako v predmetných štúdiách, vynakladajú značné množstvo metabolickej energie na udržanie telesnej teploty. Tepelná energia uložená v telách hlodavcov expozíciou RF-EMP môže znížiť túto metabolickú potrebu, čím sa znižuje počet kalórií potrebných na generovanie endogénneho telesného tepla z potravy [7], a tým sa poskytuje pravdepodobné vysvetlenie zníženého príjmu potravy.

Celkovo ani japonská, ani kórejská štúdia nepreukázali karcinogénny alebo genotoxický účinok expozície RF-EMF pri wbSAR 4 W/kg u samcov potkanov. Vzhľadom na pravdepodobne obmedzenú štatistickú silu jednotlivých štúdií však nemožno vylúčiť účinky expozície na výskyt špecifických nádorov srdca a mozgu. Súčasné štúdie poskytujú ďalšie poznatky o metabolickom vplyve chronickej expozície RF-EMF na samcov potkanov s vysokou úrovňou expozície. Vo všeobecnosti možno povedať, že pokusy na zvieratách s takýmito vysokými expozíciami slúžia na skúmanie potenciálneho karcinogénneho alebo genotoxického rizika a nie sú určené na priame posúdenie zdravotných rizík pre bežnú populáciu. Okrem toho sú použité úrovne expozície celého tela podstatne vyššie ako limity odporúčané EÚ na ochranu širokej verejnosti a výsledky sú prenosné na ľudí len v obmedzenej miere kvôli biologickým rozdielom medzi ľuďmi a hlodavcami (pozri aj vyhlásenie NTP [8]).

Referencie

[1] Imaida, K, Kawabe, M, Wang, J, Yokohira, M, Imai, N, Han, KH, Kim, YB, Jeon, SB, Kim, HS, Ahn, YH. Medzinárodná kolaboratívna štúdia karcinogenity a genotoxicity rádiofrekvenčného žiarenia mobilných telefónov na zvieratách: japonská štúdia. *Toxikologické vedy*. 2026; 209(3):kfag002. DOI:https://doi.org/10.1093/toxsci/kfag002.

[2] Kim, HS, Han, KH, Kim, YB, Jeon, SB, Lee, AK, Moon, JI, Choi, HD, Imaida, K, Yokohira, M, Kawabe, M, Imai, N, Wang, J, Ahn, YH. Medzinárodná kolaboratívna štúdia na zvieratách o karcinogenite a genotoxicite rádiofrekvenčného žiarenia mobilných telefónov: kórejská štúdia. *Toxikologické vedy*2026; 209(3):kfag001.

DOI:https://doi.org/10.1093/toxsci/kfag001.

[3] Národný toxikologický program (NTP). *Toxikologické a karcinogenézové štúdie na potkanoch Hsd:Sprague Dawley SD vystavených celotelovému rádiofrekvenčnému žiareniu s frekvenciou (900 MHz) a moduláciami (GSM a CDMA) používanými mobilnými telefónmi*.Research Triangle Park, NC: Národný toxikologický program, 2018. DOI:https://doi.org/10.22427/NTP-TR-595.

[4] Kumar, A., Bockenstedt, M., Laast, V., Sharma, A. Historický výskyt spontánnych neoplastických lézií u potkanov kmeňa Sprague-Dawley v kontrolných štúdiách toxicity trvajúcich 104 týždňov. *Toxikologická patológia*2023; 51(6):329–356.
DOI:https://doi.org/10.1177/01926233231224466.

[5] Richardson, A, Austad, SN, Ikeno, Y, Unnikrishnan, A, McCarter, RJ. Významné predĺženie života desaťpercentným obmedzením stravy. *Annals of the Newyorská akadémia vied*2016; 1363(1):11–17. DOI:https://doi.org/10.1111/nyas.12982.

[6] Di Francesco, A, Deighan, AG, Litičevskij, L a kol. Obmedzenia v stravovaní ovplyvňujú zdravie a životnosť geneticky rozmanitých myší. *Príroda*2024; 634(8034):684–692. DOI:https://doi.org/10.1038/s41586-024-08026-3.

[7] Kuhne, J., Schmidt, JA, Geschwentner, D., Pophof, B., Ziegelberger, G. Termoregulačný stres ako potenciálny mediačný faktor v štúdii nádoru NTP spôsobeného mobilným telefónom. *Bioelektromagnetika*2020; 41(6):471–479. DOI:https://doi.org/10.1002/bem.22284.

[8] Federálny úrad pre ochranu pred žiarením. *Dlhodobá štúdia na myšiach a potkanoch pri celotelovej expozícii rádiofrekvenčnému žiareniu z mobilných telefónov (štúdia NTP): Technické vyhlásenie Federálneho úradu pre radiačnú ochranu k výsledkom štúdie NTP*.
URL:https://www.bfs.de/EN/bfs/science-research/emf/statements/ntp-study/dossier-ntpstudy.html?notFirst=true&docId=766274.

Tiráž
Bundesamt für Strahlenschutz
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter

www.bfs.de

Tel.: + 49 30 18333-0
Fax: + 49 30 18333-1885
E-mail: spotlight@bfs.de

Pri citovaní tohto dokumentu vždy používajte nasledujúce URN:
urn:nbn:de:0221-2026061660652

V centre pozornosti - jún/2026 č. 1 (angl.)