Translated from English to Slovak - www.onlinedoctranslator.com

Vedecké správy

https://doi.org/10.1038/s41598-026-60822-1

Článok v tlači

Expozícia environmentálnej rádiofrekvenčnej expozície a genotoxické biomarkery u školákov: prierezová analýza

Prijaté: 5. októbra 2025

Prijaté: 30. júna 2026

Published online: 09 July 2026

Citujte tento článok ako: Chokeli R., Yuswir NS, Ho YB*a kol.*Expozícia environmentálnej rádiofrekvenčnej expozície a genotoxické biomarkery u školákov: prierezová analýza. *Vedecký zástupca*(2026). https://doi.org/10.1038/s41598-026-60822-1

Raihanah Chokeli, Nurul Syazani Yuswir, Yu Bin Ho, Hung-Lung Chiang & Vivien How

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

© Autor(i) 2026.**Otvorený prístup**Tento článok je licencovaný pod medzinárodnou licenciou Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0, ktorá povoľuje akékoľvek nekomerčné použitie, zdieľanie, distribúciu a reprodukciu v akomkoľvek médiu alebo formáte, pokiaľ uvediete príslušný zdroj pôvodného autora (autorov) a zdroj, poskytnete odkaz na licenciu Creative Commons a uvediete, či ste licencovaný materiál upravili. Podľa tejto licencie nemáte povolenie zdieľať adaptovaný materiál odvodený z tohto článku alebo jeho častí. Obrázky alebo iný materiál tretích strán v tomto článku sú zahrnuté v licencii Creative Commons k článku, pokiaľ nie je v odkaze na materiál uvedené inak. Ak materiál nie je zahrnutý v licencii Creative Commons k článku a vaše zamýšľané použitie nie je povolené zákonnými predpismi alebo presahuje povolené použitie, budete musieť získať povolenie priamo od držiteľa autorských práv. Ak si chcete zobraziť kópiu tejto licencie, navštívte stránkuhttp://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/.

ACCEPTED MANUSCRIPT

VYSTAVENIE SA ENVIRONMENTÁLNEMU RÁDIOFREKVENČNÉMU ŽIARENIU A GENOTOXICKÉ BIOMARKERY U ŠKOLSKÝCH DETÍ: PRIEREZOVÁ ANALÝZA

[1]**Raihanah Čokeli**
Katedra environmentálneho a pracovného zdravia, Lekárska fakulta a zdravotníckych vied,
Universiti Putra Malaysia,
43400 Selangor, Malajzia
ORCID: [N/A]
[2]**Nurul Syazani Yuswir**
Katedra environmentálneho a pracovného zdravia, Lekárska fakulta a zdravotníckych vied,
Universiti Putra Malaysia,
43400 Selangor, Malajzia
ORCID: [N/A]
[3]**Ho Yu Bin**
Katedra environmentálneho a pracovného zdravia, Lekárska fakulta a zdravotníckych vied,
Universiti Putra Malaysia, 43400
Selangor, Malajzia ORCID:
[0000-0001-6517-0201]
[4]**Čiang Hung-Lung**
Katedra bezpečnosti, zdravia a environmentálneho inžinierstva,
Národná univerzita vedy a techniky v Yunline, 64002, okres Yunlin,
Taiwan.
ORCID: [0000-0002-2186-628X]
[5]**Vivien How**
Katedra environmentálneho a pracovného zdravia, Lekárska fakulta a zdravotníckych vied,
Universiti Putra Malaysia, 43400
Selangor, Malajzia ORCID:
[0000-0003-1067-9929]
* Korešpondujúci autor: vivien@upm.edu.my

ČLÁNOK V TLAČI

ABSTRAKT

Vystavenie prostredia rádiofrekvenčnému (RF) žiareniu zo základňových staníc mobilných telefónov (MPBS) vyvolalo obavy týkajúce sa potenciálnych biologických účinkov, najmä u detí. Táto prierezová štúdia skúmala súvislosti medzi vystavením okolitému RF a frekvenciou mikronukleov (MN), biomarkerom genomickej nestability, u 200 detí na základných školách. Hustota RF výkonu prostredia (S, μW/cm²) bola meraná v ôsmich školách nachádzajúcich sa v rôznych vzdialenostiach od MPBS a vzorky bukálnej sliznice boli analyzované na frekvenciu MN. Exploračné analýzy ukázali, že hladiny RF žiarenia boli nepriamo úmerné vzdialenosti od MPBS ($r = −0,740$, $p < 0,001$), zatiaľ čo frekvencia MN bola pozitívne korelovaná s nameranými hladinami RF ($r = 0,850$, $p < 0,001$). Primárne inferenčné analýzy boli vykonané s použitím lineárnych modelov so zmiešanými efektmi, pričom škola bola zahrnutá ako náhodný intercept, aby sa zohľadnilo zhlukovanie, úprava demografických, životných a environmentálnych premenných. Vyššia hustota RF výkonu a kratšia vzdialenosť od MPBS zostali štatisticky spojené s vyššou frekvenciou MN, s konzistentnými zisteniami.

ACCEPTED MANUSCRIPT

pozorované v analýzach citlivosti s použitím vzdialenosti od MPBS ako alternatívneho parametra expozície. Všetky namerané úrovne rádiofrekvenčného žiarenia boli pod úrovňou súčasných medzinárodných smerníc pre verejné vystavenie. Tieto zistenia naznačujú, že zmeny v expozícii rádiofrekvenčnému žiareniu v prostredí škôl môžu súvisieť s frekvenciou mikrominút u detí. Vzhľadom na prierezový dizajn a hodnotenie expozície na úrovni školy by sa výsledky mali interpretovať ako prieskumné a generujúce hypotézy.

Kľúčové slová:rádiofrekvenčné žiarenie; vystavenie životnému prostrediu; mikronukley; genotoxické biomarkery; školáci; základňové stanice mobilných telefónov; umiestnenie škôl

ÚVOD

Rýchly rozvoj základňových staníc mobilných telefónov (MPBS) bol kľúčový pre... rast moderných bezdrôtových komunikačných sietí a rastúca spoločenská závislosť od mobilnej konektivity. Popri tomto vývoji sa objavili obavy týkajúce sa potenciálnych zdravotných dôsledkov dlhodobého vystavenia životného prostredia rádiofrekvenčnému (RF) žiareniu vyžarovanému MPBS a inou bezdrôtovou infraštruktúrou.[1-3]Hoci je rádiofrekvenčné žiarenie klasifikované ako neionizujúce a nemá dostatočnú energiu na priamu ionizáciu DNA alebo prerušenie chemických väzieb, zostávajú otázky týkajúce sa jeho možných biologických účinkov spojených s chronickou expozíciou na nízkych úrovniach.
[4].

Experimentálne a observačné štúdie naznačujú, že vystavenie rádiofrekvenčnému žiareniu môže nepriamo ovplyvňovať biologické systémy prostredníctvom mechanizmov, ako je oxidačný stres, zmenená bunková signalizácia a tvorba reaktívnych foriem kyslíka (ROS), ktoré môžu prispievať k poškodeniu DNA a chromozomálnej nestabilite.[5]Hoci zistenia v rôznych štúdiách zostávajú nekonzistentné, Medzinárodná agentúra pre výskum rakoviny (IARC) klasifikovala rádiofrekvenčné žiarenie ako „možný karcinogén“ skupiny 2B, čo odráža obmedzené, ale sugestívne dôkazy u ľudí a experimentálnych zvierat.[1]V dôsledku toho je vystavenie rádiofrekvenčnému žiareniu naďalej aktívnou a diskutovanou oblasťou výskumu environmentálneho zdravia.
Vystavenie sa environmentálnym rádiofrekvenčným lúčom je v súčasnosti všadeprítomné a pochádza nielen z MPBS, ale aj z mobilných telefónov, Wi-Fi routerov, bezdrôtových telefónov a vysielacej infraštruktúry. Na ochranu verejného zdravia medzinárodné smernice, najmä tie, ktoré vydala Medzinárodná komisia pre ochranu pred neionizujúcim žiarením (ICNIRP), stanovili limity expozície, ktoré sú primárne určené na prevenciu tepelných účinkov. Tieto smernice boli široko prijaté na medzinárodnej úrovni, vrátane Malajzie.[6]Prebiehajúca vedecká diskusia sa však zameriava na to, či súčasné normy dostatočne riešia potenciálne netermálne biologické účinky alebo kumulatívne vplyvy spojené s dlhodobou expozíciou nízkej intenzity.[7].

Deti sú často považované za potenciálne citlivú populáciu, pokiaľ ide o vystavenie vplyvom prostredia, a to z dôvodu fyziologických a vývojových faktorov vrátane tenších lebečných kostí, vyššieho obsahu vody v tkanivách a prebiehajúceho rastu a dozrievania nervových a somatických tkanív.[7-8]Okrem toho môžu deti zažívať dlhšie kumulatívne trvanie expozície v rámci kritických vývojových okien. Rastúca integrácia bezdrôtových technológií do vzdelávacích prostredí ďalej zdôrazňuje dôležitosť hodnotenia expozície rádiofrekvenčným žiarením v školskom prostredí.

ACCEPTED MANUSCRIPT

Napriek tomu sú empirické údaje skúmajúce biologické markery vystavenia rádiofrekvenčnému žiareniu u detí stále obmedzené.

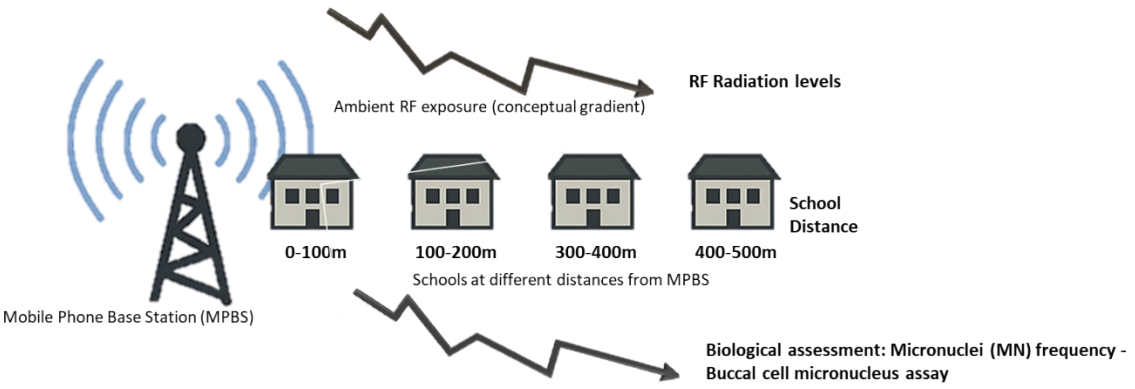
Jednou z oblastí rastúceho záujmu je hodnotenie genotoxických účinkov s použitím frekvencie mikronukleov (MN) ako biomarkera chromozomálneho poškodenia a genomickej nestability.[9-10] Mikronukley sú malé extranukleárne telieska tvorené z acentrických fragmentov chromozómov alebo celých chromozómov, ktoré sa počas bunkového delenia nezačlenia do hlavného jadra. Zvýšená frekvencia mikronukleov bola zaznamenaná v populáciách vystavených látkam znečisťujúcim životné prostredie a rôznym typom žiarenia, čo podporuje jej užitočnosť ako skorého indikátora genomickej nestability v environmentálnej a molekulárnej epidemiológii.[11].

Niekoľko štúdií skúmalo frekvenciu mikronukleárnych chorôb (MN) vo vzťahu k vystaveniu rádiofrekvenčnému žiareniu so zmiešanými a niekedy protichodnými zisteniami.[12 – 13] Zatiaľ čo niektoré štúdie uvádzajú zvýšenú frekvenciu mikrofrekvenčných zmien (MN) v populáciách vystavených zariadeniam vyžarujúcim rádiofrekvenčné žiarenie, iné nepozorovali žiadnu jasnú súvislosť. K týmto nekonzistentným výsledkom môže prispievať variabilita metód hodnotenia expozície, dizajnu štúdie, charakteristík populácie a merania výsledkov. Najmä relatívne málo štúdií skúmalo vystavenie detí rádiofrekvenčnému žiareniu v školskom prostredí z MPBS pomocou objektívnych meraní expozície v kombinácii s biologickými koncovými bodmi.

Na základe týchto informácií sa táto štúdia zaoberá súvislosťou medzi vystavením environmentálnym rádiofrekvenčným vlnám z MPBS a frekvenciou mikrofónnych vĺn (MN) u detí na základných školách. Využitím meraní RF na úrovni školy a gradientov expozície založených na blízkosti sa táto štúdia zameriava na posúdenie, či sú zmeny v vystavení sa okolitým RF spojené s rozdielmi vo frekvencii MN v bukálnych bunkách. Vzhľadom na observačný a prierezový charakter štúdie sa zameriava skôr na odhad súvislostí ako na kauzálne účinky.

Na podporu odôvodnenia štúdie je v článku uvedený koncepčný rámec **Obrázok 1**, ktorá ilustruje hypotetickú dráhu spájajúcu emisie rádiofrekvenčného žiarenia súvisiace s MPBS, gradienty expozície na úrovni školy a frekvenciu mikronových lúčov ako biomarker genomickej nestability. Umiestnením expozície rádiofrekvenčnému žiareniu do kontextu reálneho prostredia sa táto štúdia snaží prispieť empirickými dôkazmi do oblasti charakterizovanej pretrvávajúcou vedeckou neistotou a informovať budúci výskum v oblasti expozície rádiofrekvenčnému žiareniu v prostredí a zdravia detí.

ČLÁNOK V TLAČI



ACCEPTED MANUSCRIPT

Obrázok 1. Koncepčný rámec ilustrujúci predpokladanú súvislosť medzi RF žiarením z MPBS, vzdialenosťou od školy a expozičným gradientom a frekvenciou MN v bukálnych bunkách detí. Tento obrázok predstavuje hypotézu štúdie a neznamená kauzalitu.

MATERIÁLY A METÓDY

Návrh štúdie a výber vzoriek

Táto štúdia použila porovnávací prierezový dizajn na preskúmanie súvislosti medzi vystavením environmentálnemu rádiofrekvenčnému (RF) žiareniu a frekvenciou mikronukleov (MN) u detí na základnom stupni základnej školy. Celkovo bolo vybraných 200 žiakov z ôsmich základných škôl, s približne 25 účastníkmi na školu. Odhad veľkosti vzorky bol založený na vzorci pre porovnanie dvoch skupín.[14], čo naznačovalo, že na zistenie významných rozdielov vo výsledkoch mikrobiologického modelovania by stačilo minimálne 60 účastníkov. Konečná veľkosť vzorky túto požiadavku prekročila, čím poskytla dostatočnú štatistickú silu.

Školy boli vybrané tak, aby reprezentovali gradient expozície okolitému rádiofrekvenčnému žiareniu na základe blízkosti k najbližšej základňovej stanici mobilnej telefónie (MPBS). Boli definované štyri kategórie vzdialenosti: 0 – 100 m, 101 – 200 m, 201 – 300 m a 301 – 400 m, čo je v súlade s prahovými hodnotami použitými v predchádzajúcich štúdiách environmentálneho zdravia.[15-16]Bola tiež zdokumentovaná priama viditeľnosť (LOS) MPBS (neprekrytá verzus čiastočne prekrytá budovami alebo vegetáciou), pretože to môže ovplyvniť šírenie rádiofrekvenčných vĺn.
Aby sa minimalizovalo ovplyvnenie z iných environmentálnych zdrojov, školy boli vybrané z mestských alebo prímestských obytných oblastí s porovnateľnými socioekonomickými charakteristikami. Žiadna sa nenachádzala v blízkosti veľkých priemyselných zariadení, spaľovní alebo skládok. Zatiaľ čo niektoré školy sa nachádzali v blízkosti hlavných ciest, žiadna priamo nesúsedila s diaľnicami a predpokladalo sa, že znečistenie ovzdušia súvisiace s dopravou je na všetkých lokalitách relatívne konzistentné.

Zber údajov pomocou dotazníkov

ČLÁNOK V TLAČI

Účasť vyžadovala súhlas školy a písomný informovaný súhlas rodičov alebo zákonných zástupcov. Týždeň pred odberom biologických vzoriek dostali študenti balíček súhlasu obsahujúci štruktúrovaný dotazník vyplnený rodičmi alebo zákonnými zástupcami. Zaradení boli iba študenti s kompletnými dotazníkmi a podpísaným súhlasom.

Dotazník zachytil demografické charakteristiky, vystavenie fajčeniu v domácnosti, faktory životného štýlu a vlastníctvo elektronických zariadení. Vlastníctvo zariadení zahŕňalo osobné zariadenia (napr. smartfóny, tablety, notebooky) aj domáce zariadenia (napr. Wi-Fi routery, inteligentné televízory), ktoré slúžili ako približný ukazovateľ vystavenia rádiofrekvenčnému žiareniu mimo školského prostredia. Tieto premenné boli zahrnuté ako kovariáty v upravených analýzach, aby sa zohľadnil potenciálny skresľujúci vplyv. **Meranie RF žiarenia**

Expozícia okolitému RF žiareniu bola hodnotená meraním hustoty výkonu (S, μW/cm^2) pomocou analyzátora Gigahertz Solutions HF35C (frekvenčný rozsah: 800 MHz – 2,7 GHz; zisk antény: 5 dBi), ktorý priamo zobrazuje okamžité hodnoty hustoty výkonu bez nutnosti dodatočných výpočtov alebo prevodov poľa na výkon.

ACCEPTED MANUSCRIPT

Merania sa vykonávali vonku na miestach relevantných pre každodenné aktivity detí, vrátane ihrísk, vchodov do škôl a okolitých otvorených priestranstiev.
Použil sa gradientový prístup, pričom merania sa začínali približne 10 m od najbližšej MPBS a rozširovali sa smerom k školskému areálu v rastúcich vzdialenostiach. V každom meracom bode sa zaznamenávalo desať (10) po sebe idúcich meraní hustoty výkonu (S, μW/cm^2) v 30-sekundových intervaloch počas 5-minútového vzorkovacieho obdobia a vypočítal sa aritmetický priemer, ktorý reprezentuje hustotu okolitého rádiofrekvenčného výkonu v danom mieste. Školy boli následne rozdelené do štyroch vopred definovaných kategórií vzdialenosti.

Boli zdokumentované charakteristiky špecifické pre danú lokalitu vrátane počtu stožiarov MPBS v okruhu 400 m, stavu LOS a prítomnosti fyzických prekážok, ako sú budovy alebo vegetácia. Všetky merania sa vykonávali počas bežných školských hodín (10:00 – 14:00) v suchých dňoch so stabilnými podmienkami prostredia, aby sa znížila variabilita a zohľadnili typické scenáre expozície.

Kontext environmentálnej expozície

Vnútorná Wi-Fi sieť bola prítomná vo všetkých školách a bola zaznamenaná ako pozadie rádiofrekvenčných zdrojov. Na charakterizáciu prostredia expozície v interiéri boli vykonané predbežné merania sily signálu Wi-Fi v najmenej dvoch triedach na školu pomocou aplikácie analyzátora pre smartfóny. Intenzita signálu sa pohybovala od –40 dBm do –70 dBm, čo je v súlade s typickým vzdelávacím prostredím.
Tieto merania boli použité len na kontextovú charakterizáciu a neboli zahrnuté do hlavných štatistických analýz, ktoré sa zameriavali na expozíciu rádiofrekvenčnému žiareniu súvisiacu s MPBS vo vonkajšom prostredí. Príspevok vnútorných rádiofrekvenčných zdrojov ku kumulatívnej expozícii sa považuje za obmedzenie.

Zber buniek bukálnej sliznice a hodnotenie MN

Odlupované bunky bukálnej sliznice boli zozbierané pomocou sterilných drevených špachtlí a nanesené na vopred vyčistené sklenené podložné sklíčka. Sklíčka boli vysušené na vzduchu, fixované metanolom a farbené Giemsovou farbou. Identifikácia MN sa riadila stanovenými morfologickými kritériami.[10] Hoci Giemsa nie je špecifický pre DNA, boli použité prísne kritériá hodnotenia na minimalizáciu nesprávnej klasifikácie.
U každého subjektu bolo pod svetelnou mikroskopiou pri 1000-násobnom zväčšení vyšetrených najmenej 1 000 exfoliovaných buniek. Zaznamenali sa dva výsledky: celkový počet MN na 1 000 buniek a počet mikronukleovaných buniek na 1 000 buniek. Všetky hodnotenia vykonal vyškolený cytogenetik, ktorý nebol oboznámený s identitou školy a kategóriou expozície. Desať percent sklíčok bolo nezávisle prehodnotených druhým pozorovateľom, čo viedlo k vysokej zhode medzi pozorovateľmi (Cohenov κ = 0,86).

Štatistická analýza

Všetky analýzy boli vykonané pomocou SPSS verzie 25. Na zhrnutie charakteristík účastníkov bola použitá deskriptívna štatistika (**Tabuľka 1**), charakteristiky vystavenia rádiofrekvenčnému (RF) žiareniu na úrovni školy (**Tabuľka 2**) a výsledky frekvencie MN. Vzhľadom na prierezový dizajn boli výsledky interpretované skôr ako asociácie než ako kauzálne účinky. Pred interpretáciou boli vyhodnotené a splnené predpoklady modelu.

ČLÁNOK V TLAČI

ACCEPTED MANUSCRIPT

Prieskumné analýzy zahŕňali Pearsonovu koreláciu na preskúmanie vzťahov medzi úrovňami rádiofrekvenčného žiarenia, vzdialenosťou od najbližšej základňovej stanice mobilného telefónu (MPBS) a frekvenciou MN (**Tabuľka 3**). Tieto analýzy boli prezentované len na kontextové a prieskumné účely.

Na posúdenie robustnosti zistení voči alternatívnej parametrizácii expozície sa vykonali analýzy citlivosti s použitím kategórií vzdialenosti od školy. Vzdialenosť od MPBS sa analyzovala kategoricky v rámci lineárneho zmiešaného rámca, pričom škola bola špecifikovaná ako náhodný intercept, aby sa zohľadnilo zhlukovanie, a s úpravou podľa veku, pohlavia, indexu telesnej hmotnosti, expozície fajčeniu v domácnosti, príjmu raňajok, fyzickej aktivity a vlastníctva elektronických zariadení. Upravené porovnania skupín sa odhadli ako marginálne priemery založené na modeli (**Tabuľka 4**).

Primárne inferenčné analýzy použili lineárne modely so zmiešanými efektmi, pričom škola bola špecifikovaná ako náhodný priesečník, aby sa zohľadnilo zoskupovanie študentov v rámci škôl. Medzi fixné efekty patrila úroveň rádiofrekvenčného žiarenia a vzdialenosť od MPBS, spolu s vopred špecifikovanými kovariantmi: vek, pohlavie, index telesnej hmotnosti, vystavenie fajčeniu v domácnosti, príjem raňajok, fyzická aktivita a vlastníctvo elektronických zariadení. Príjem raňajok bol zahrnutý ako kovariát ako indikátor pravidelnosti výživy a metabolického stavu, čo môže ovplyvniť genomickú stabilitu a tvorbu mikrojadier. Výsledky hlavného modelu sú prezentované v**Tabuľka 5**Štatistická významnosť bola stanovená na $p < 0,05$ (obojstranný test).

ČLÁNOK V TLAČI

Etické úvahy

Všetky metódy boli vykonané v súlade s príslušnými smernicami a predpismi. Protokol štúdie a postupy zahŕňajúce ľudských účastníkov boli preskúmané a schválené JKEUPM (Etická komisia pre výskum zahŕňajúci ľudské subjekty) (referenčné číslo: UPM/TNCPI/RMC/JKEUPM/1.4.18.2 (JKEUPM)). Informovaný súhlas bol získaný od rodičov alebo opatrovníkov všetkých účastníkov a všetky údaje boli spracované dôverne.

VÝSLEDOK

Táto štúdia skúmala súvislosti medzi okolitým rádiofrekvenčným (RF) žiarením expozícia a frekvencia mikronukleov (MN) u detí na základných školách. Výsledky sú prezentované deskriptívne pre charakteristiky účastníkov a expozičné profily, po ktorých nasledujú exploratívna, citlivostná a upravená analýza.

Tabuľka 1sumarizuje demografické charakteristiky študovanej populácie podľa kategórie vystavenia rádiofrekvenčnému žiareniu na úrovni školy. Celkovo bolo zahrnutých 201 detí, z ktorých 91 navštevovalo školy s vyššou expozíciou rádiofrekvenčnému žiareniu a 110 školy s nižšou expozíciou rádiofrekvenčnému žiareniu. Vek, rozloženie pohlavia, kategórie indexu telesnej hmotnosti a vystavenie fajčeniu v domácnostiach boli porovnateľné medzi expozičnými skupinami.

Tabuľka 1. Demografické charakteristiky študovanej populácie podľa školy-

kategória vystavenia rádiofrekvenčným frekvenciam

Charakteristický	Kategória	Vyššia RF vystavenie školy (n = 91)	Nižšie RF vystavenie školy (n =110)

ACCEPTED MANUSCRIPT

Vek (roky)	10	52 (57,1)	53 (48,2)
	11	39 (42,9)	57 (51,8)
Pohlavie	Žena	41 (45,1)	47 (42,7)
	Muž	50 (54,9)	63 (57,3)
Index telesnej hmotnosti (BMI)	Podváha	53 (58,2)	61 (55,5)
	Normálne	27 (29,7)	40 (36,4)
	Nadváha	7 (7,7)	8 (7,3)
	Obézny	4 (4,4)	1 (0,9)
Domácnosť vystavenie fajčeniu	Áno	42 (46,2)	41 (37,3)
	Nie	49 (53,8)	69 (62,7)

Výsledok bol prezentovaný ako n(%)
Poznámka: Vyššie a nižšie kategórie vystavenia rádiofrekvenčnému žiareniu sú založené na meraniach rádiofrekvenčného žiarenia v prostredí na úrovni školy v porovnaní s blízkosťou základňových staníc mobilných telefónov. Vybrané demografické charakteristiky z tejto študijnej populácie boli predtým hlásené.[17]; tabuľka je tu uvedená v revidovanej forme, aby poskytla úplný a samostatný opis študovanej populácie pre túto analýzu.

Tabuľka 2sumarizuje úrovne rádiofrekvenčného žiarenia namerané v ôsmich školách nachádzajúcich sa v rôznych vzdialenostiach od najbližšej MPBS. Nameraná expozícia rádiofrekvenčnému žiareniu sa znižovala so zvyšujúcou sa vzdialenosťou od MPBS, v rozmedzí od 0,1888 ± 0,001 μW/cm² v škole A (50,77 m od MPBS) do 0,0083 ± 0,0015 μW/cm² v škole H (341,96 m). Medzi školami sa pozorovala variabilita úrovní rádiofrekvenčného žiarenia, pričom vyššie namerané hodnoty boli vo všeobecnosti zaznamenané na miestach bližšie k MPBS a na miestach s nerušenou viditeľnosťou.

ČLÁNOK V TLAČI

Tabuľka 2: Úrovne rádiofrekvenčného žiarenia a kategórie vzdialenosti od školy

Škola	**Vzdialenosť Kategória**	**Vzdialenosť z MPBS (m)**	**Rádiofrekvenčné žiarenie Úroveň (S, μW/cm²)** (Priemer ± štandardná odchýlka)	**Zorná línia do MPBS (Áno/Nie)**
A	Kategória I (0 – 100 m)	50,77	0,1888 ± 0,001	Áno
B.		80,26	0,0818 ± 0,0146	Áno
C	Kategória II (101 – 200 m)	168,34	0,1356 ± 0,056	Áno
D		190,0	0,107 ± 0,0154	Áno
V	Kategória III (201 – 300 m)	204,80	0,1553 ± 0,0278	Áno
F		206,55	0,0606 ± 0,012	Nie
G	Kategória IV (301 – 400 m)	330,00	0,017 ± 0,0021	Nie
H		341,96	0,0083 ± 0,0015	Nie

Poznámka:*Priama viditeľnosť do MPBS*=Označuje, či má škola nerušený priamy výhľad na najbližšiu základňovú stanicu mobilnej telefónie (MPBS).*Áno*„znamená žiadne fyzické prekážky, zatiaľ čo“*Nie*„označuje možné blokovanie budovami alebo stromami.“

Tabuľka 3predstavuje Pearsonove korelačné koeficienty medzi úrovňou RF žiarenia, vzdialenosťou od najbližšej základňovej stanice mobilného telefónu (MPBS) a výsledkami mikronukleov (MN). Úroveň RF žiarenia silne negatívne korelovala so vzdialenosťou od MPBS (r = –0,740, p < 0,001). Frekvencia MN a počet mikronukleárnych buniek pozitívne korelovali s úrovňou RF žiarenia (r = 0,850 a r = 0,832; p < 0,001) a negatívne korelovali so vzdialenosťou od MPBS (r = –

0,502 a r = –0,478; p < 0,001). Medzi frekvenciou MN a počtom mikronukleovaných buniek bola pozorovaná silná korelácia (r = 0,982, p < 0,001). Tieto korelácie sú uvedené len na prieskumné účely a nezohľadňujú zhlukovanie ani potenciálne mätúce faktory; upravené analýzy sú uvedené v nasledujúcich tabuľkách.

Tabuľka 3: Korelačná analýza medzi vzdialenosťou MPBS, expozíciou RF a MN Frekvencia

[a]Premenné	Úroveň rádiofrekvenčného signálu (S, µw/cm2)	Vzdialenosť (meter)	MN frekvencia (počet MN na 1000 buniek)	Počet mikronukleovaný buniek na 1 000
Úroveň rádiofrekvenčného signálu (S, µw/cm2)	**1**			
Vzdialenosť (meter)	- 0,740 **	**1**		
MN frekvencia (počet MN na 1000 buniek)	0,850 **	- 0,502 **	**1**	
Počet mikronukleovaný buniek na 1 000	0,832**	– 0,478**	0,982**	**1**

[a]Pearsonova korelácia
* *p*-hodnota je významná na úrovni 0,001; **p*-hodnota je významná na úrovni 0,05

Tabuľka 4predstavuje analýzy citlivosti s použitím alternatívnej parametrizácie expozície na základe kategórií vzdialenosti od školy. Neupravené frekvencie mikrojadier (MN) sú zobrazené deskriptívne na ilustráciu gradientu expozície v rámci skupín vzdialenosti.

Upravené frekvencie MN boli odhadnuté pomocou lineárneho modelu so zmiešanými efektmi, kde škola bola špecifikovaná ako náhodný intercept a upravená podľa veku, pohlavia, indexu telesnej hmotnosti, vystavenia fajčeniu v domácnosti, príjmu raňajok, fyzickej aktivity a vlastníctva elektronických zariadení. Po úprave bola frekvencia MN najvyššia u detí navštevujúcich školy nachádzajúce sa do 0 – 100 m od základňových staníc mobilných telefónov (MPBS) a najnižšia v kategórii najvzdialenejších vzdialeností (301 – 400 m), pričom štatisticky významné rozdiely boli pozorované pre kategórie I – III v porovnaní s referenčnou skupinou. Tieto zistenia boli v súlade s hlavnými výsledkami modelu so zmiešanými efektmi (**Tabuľka 5**), čo podporuje robustnosť pozorovaného gradientu súvisiaceho so vzdialenosťou.

ČAKÁ NA TLAČ

Tabuľka 4: Analýza citlivosti: deskriptívna a upravená frekvencia MN podľa školy kategória vzdialenosti

Vzdialenosť kategória	**Vzdialenosť od MPBS (m)**	**Neupravené Minnesota frekvencia** (Priemer ± štandardná odchýlka)	**Upravená min. hodnota frekvencia (Priemer ± SE)[a]**	**Upravené p-hodnota[b]**
Kategória I (0–100 m)	50,77 – 80,26	2,39 ± 0,19	2,31 ± 0,08	<0,001**
Kategória II (101 – 200 m)	168,34 – 190,00	2,31 ± 0,16	2,18 ± 0,07	0,002**
Kategória III (201 – 300 m)	204,80 – 206,55	2,31 ± 0,23	2,05 ± 0,09	0,010*

ACCEPTED MANUSCRIPT

Kategória IV (301 – 400 m)	330,00 – 341,96	1,29 ± 0,17	1,24 ± 0,06	Referencia

[a]Upravené priemery odhadnuté z lineárneho modelu so zmiešanými efektmi so školou ako náhodným priesečníkom.
[b]Test kategórie vzdialenosti s fixnými efektmi zo zmiešaného modelu, upravený podľa veku, pohlavia, BMI, vystavenia fajčeniu v domácnosti, príjmu raňajok, fyzickej aktivity a vlastníctva elektronických zariadení.

** *p*-hodnota je významná na úrovni 0,001; **p*-hodnota je významná na úrovni 0,05
Poznámka: Táto analýza slúži ako analýza citlivosti na vyhodnotenie robustnosti výsledkov hlavného modelu zmiešaných efektov voči alternatívnej parametrizácii expozície. Neupravené frekvencie MN sú prezentované deskriptívne na ilustráciu gradientov expozície na úrovni školy. Upravené frekvencie MN boli odhadnuté pomocou lineárneho modelu zmiešaných efektov so školou zahrnutou ako náhodným priesečníkom, aby sa zohľadnilo zhlukovanie. Upravené analýzy zohľadňujú potenciálne mätúce faktory a poskytujú primárne inferenčné porovnanie naprieč kategóriami vzdialenosti.

Tabuľka 5predstavuje výsledky lineárneho modelu so zmiešanými efektmi, ktorý skúma súvislosti medzi frekvenciou mikronového žiarenia (MN) a indikátormi vystavenia rádiofrekvenčnému žiareniu, pričom zohľadňuje zoskupovanie študentov v rámci škôl zahrnutím školy ako náhodného interceptu. Po úprave o individuálne kovarianty zostali úroveň rádiofrekvenčného žiarenia aj vzdialenosť od najbližšej MPBS štatisticky významnými fixnými efektmi. Výsledky boli odolné voči alternatívnej parametrizácii expozície v analýzach citlivosti (**Tabuľka 4**). Frekvencia MN sa znižovala so zvyšujúcou sa vzdialenosťou od MPBS (β = –0,0026 na 100 m nárastu, 95 % CI: –0,0038 až –0,0014, p < 0,001) a zvyšovala sa s vyššími nameranými hladinami RF žiarenia (β = 0,0009, 95 % CI: 0,0005 až 0,0013, p < 0,001). Tieto súvislosti pretrvávali aj po zohľadnení korelácie v rámci školy.
Medzi kovariantami boli pravidelné raňajky a mierna fyzická aktivita spojené s nižšou frekvenciou mikrocirkulácie (MN), zatiaľ čo vlastníctvo osobných a domácich zariadení emitujúcich rádiofrekvenčné žiarenie bolo spojené s vyššou frekvenciou MN. Vek, pohlavie a pasívne fajčenie neboli v upravenom modeli štatisticky významné. Ostatné kovarianty vrátane veku, pohlavia a pasívneho fajčenia neboli v modeli so zmiešanými efektmi štatisticky významné. Analýza zložiek rozptylu ukázala zmysluplné zhlukovanie na úrovni školy s korelačným koeficientom v rámci triedy (ICC) približne 0,33, čo naznačuje, že približne jedna tretina rozptylu vo frekvencii MN bola pripísateľná rozdielom medzi školami.

ČLÁNOK V TLAČI

Celkovo tieto zistenia naznačujú, že indikátory vystavenia sa okolitému rádiofrekvenčnému žiareniu a blízkosť MPBS sú spojené s variabilitou frekvencie mikronukleóz u školákov, a to aj po zohľadnení zoskupenia na úrovni školy a relevantných faktorov na individuálnej úrovni. Vzhľadom na prierezový dizajn, hodnotenie expozície na úrovni školy a obmedzený počet zoskupení by sa však tieto súvislosti mali interpretovať ako exploratívne a generujúce hypotézy, čo zdôrazňuje potrebu longitudinálnych štúdií zahŕňajúcich osobnú rádiofrekvenčnú dozimetriu a ďalšie biomarkery na objasnenie biologického významu.

Tabuľka 5: Lineárny model MN frekvencie so zmiešanými efektmi (na 1 000 buniek) so školou ako náhodný intercept

Prediktor Premenné	Odhad (β)	SE	95 % interval spoľahlivosti	F (df)	*p*-hodnota
Vzdialenosť MPBS (na 100 m nárastu)	– 0,0026	0,0006	- 0,0038, - 0,0014	18,72 (1 192)	<0,001**

ACCEPTED MANUSCRIPT

Úroveň rádiofrekvenčného žiarenia (μW/cm²)	0,0009	0,0002	0,0005, 0,0013	21,84 (1, 192)	<0,001**
Vek (roky)	0,012	0,010	- 0,008, 0,032	1.21 (1, 192)	0,273
Pohlavie (Muž vs. žena)	0,021	0,050	- 0,077, 0,119	0,18 (1, 192)	0,675
Pasívne fajčenie (Áno verzus Nie)	0,025	0,090	- 0,152, 0,202	0,08 (1, 192)	0,779
Raňajkový príjem (Áno verzus Nie)	- 0,185	0,035	-0,254, -0,116	27,95 (1, 192)	<0,001**
Fyzická aktivita (Stredné vs. Žiadne)	- 0,198	0,070	-0,336, -0,060	7,98 (1, 192)	0,005*
Počet osobných zariadenia	0,024	0,009	0,006, 0,042	7.14 (1, 192)	0,008*
Počet domácností zariadenia	0,019	0,008	0,003, 0,035	5,72 (1, 192)	0,018*

Lineárny model so zmiešanými efektmi, v ktorom je škola zahrnutá ako náhodný intercept na zohľadnenie zhlukovania v rámci školy. Odhady s fixnými efektmi (β) sú prezentované so štandardnými chybami (SE), 95 % intervalmi spoľahlivosti (CI), F-štatistikami a p-hodnotami založenými na testoch typu III s fixnými efektmi. ICC predstavuje podiel celkovej variancie vo frekvencii MN, ktorý možno pripísať rozdielom medzi školami. Robustnosť hlavných zistení bola posúdená pomocou analýz citlivosti s alternatívnou parametrizáciou expozície na základe kategórií vzdialenosti škôl (Tabuľka 3).

* *p*-hodnota je významná na úrovni 0,001; **p*-hodnota je významná na úrovni 0,05

Poznámka: Medzi osobné zariadenia patrí elektronika, ku ktorej majú študenti prístup (smartfóny, tablety, notebooky); medzi domáce zariadenia patria zdieľané alebo okolité zdroje rádiofrekvenčného žiarenia (Wi-Fi routery, bezdrôtové telefóny, inteligentné televízory). Čas používania a spôsob používania neboli zhromaždované a odporúčajú sa pre budúce štúdie.

Náhodné efekty (zložky rozptylu)

Náhodná zložka	Rozptyl	ŠPZ
Škola (Náhodné Zachytenie)	**0,082**	**0,287**
Zvyškové (v rámci školy)	**0,168**	**0,410**

ČLÁNOK V TLAČI

Koeficient korelácie v rámci triedy (IC)

$$\text{Medzinárodná obchodná zmluva} = \frac{\sigma^2_{\text{škola}}}{\sigma^2_{\text{škola}} + \sigma^2_{\text{zvyškový}}} = \frac{0,082}{0,082 + 0,168} = 0,33$$

ICC = 0,33, čo naznačuje, že približne 33 % celkovej variancie vo frekvencii MN možno pripísať rozdielom medzi školami (veľkosť vzorky: 200 detí; klastre: 8 škôl)

DISKUSIA

Táto štúdia skúmala súvislosti medzi vystavením sa rádiofrekvenčnému žiareniu z MPBS, charakteristikami umiestnenia školy a frekvenciou mikrobiálnych zmien (MN) u detí na základných školách. Pozorované vzorce sú vo všeobecnosti v súlade s niektorými správami naznačujúcimi, že vystavenie sa rádiofrekvenčnému žiareniu, a to aj na netepelných úrovniach, môže byť spojené s markermi genomickej nestability.[1,4] Zároveň si zmiešané zistenia uvedené v literatúre a observačný charakter tejto štúdie vyžadujú opatrnú interpretáciu.

Vzory expozície rádiofrekvenčným žiarením a vzdialenosť od MPBS

ACCEPTED MANUSCRIPT

Namerané úrovne rádiofrekvenčného žiarenia sa v jednotlivých školách líšili, pričom vyššie úrovne boli vo všeobecnosti zaznamenané na miestach nachádzajúcich sa bližšie k MPBS a nižšie úrovne na vzdialenejších školách. Tento vzorec je v súlade s modelmi šírenia rádiofrekvenčného žiarenia v prostredí, v ktorých intenzita signálu klesá so zvyšujúcou sa vzdialenosťou v dôsledku straty signálu a útlmu spôsobeného fyzickými bariérami.[12, 16] Školy s nerušenou viditeľnosťou na MPBS mali tendenciu zaznamenávať relatívne vyššie úrovne rádiofrekvenčného žiarenia, čo je v súlade s predchádzajúcimi zisteniami o vplyve budov a vegetácie na rozptyl rádiofrekvenčného žiarenia.[17-18].
Dôležité je, že všetky namerané úrovne rádiofrekvenčného žiarenia v tejto štúdii boli výrazne pod limitom vystavenia verejnosti podľa ICNIRP.[6] 1000 μW/cm². Napriek tomu prebiehajúca vedecká diskusia zvažuje, či chronické, nízke úrovne expozície pod regulačnými prahmi môžu mať biologický význam, najmä u detí, ktoré môžu predstavovať náchylnejšiu populáciu v dôsledku vývojových a fyziologických faktorov.[4,7].

Súvislosť medzi vystavením RF žiareniu a frekvenciou mikronových vlákien (MN)

V upravených analýzach boli vyššie namerané hladiny rádiofrekvenčného žiarenia a kratšia vzdialenosť od MPBS spojené s vyššou frekvenciou mikronových lúčov (MN). Analýzy citlivosti s použitím alternatívnej parametrizácie expozície na základe kategórií vzdialenosti od škôl priniesli konzistentné výsledky, čo podporuje robustnosť týchto súvislostí. Tieto zistenia sú v súlade s niektorými experimentálnymi a observačnými štúdiami, ktoré uvádzajú zvýšenú tvorbu MN alebo iné indikátory genomickej nestability po expozícii rádiofrekvenčnému žiareniu.[19-20] Medzi navrhované biologické mechanizmy patrí zvýšená tvorba reaktívnych foriem kyslíka, oxidačný stres a následné účinky na integritu DNA a chromozomálnu stabilitu.[5] Dôkazy o takýchto mechanizmoch však zostávajú rôznorodé. Niekoľko prehľadov a epidemiologických hodnotení dospelo k záveru, že údaje o netermálnych genotoxických účinkoch vystavenia rádiofrekvenčnému žiareniu sú nekonzistentné, čo odráža značné rozdiely v dizajne štúdie, hodnotení expozície a biologických koncových bodoch.[3, 21 – 22].

ČLÁNOK V TLAČI

Rozsiahly systematický prehľad štúdií MN testov uviedol, že väčšina výskumov nepriniesla žiadne výsledky, najmä štúdie in vivo alebo tie, ktoré sa uskutočnili pri vyšších úrovniach expozície, ako sú tie, ktoré sa tu merali.[23] Táto heterogenita podčiarkuje výzvy pri interpretácii biologických účinkov vystavenia nízkoúrovňovému rádiofrekvenčnému žiareniu a zdôrazňuje potrebu štandardizovaného hodnotenia expozície a merania výsledkov. V tomto kontexte táto štúdia prináša pozorovacie údaje z reálneho školského prostredia, ale jej zistenia by sa mali považovať skôr za prieskumné než potvrdzujúce.

Úloha kovariátov a viacrozmernej úpravy

Úprava na individuálne kovarianty posilnila analytický rámec zohľadnením potenciálnych mätúcich faktorov. Príjem raňajok a fyzická aktivita boli nepriamo úmerné frekvencii MN, čo je v súlade s predchádzajúcimi správami spájajúcimi nutričný stav a pravidelnú fyzickú aktivitu so zníženým oxidačným stresom a zlepšenou genomickou stabilitou.[9. – 11. 9.] Tieto asociácie podporujú zahrnutie premenných súvisiacich so životným štýlom do modelov skúmajúcich environmentálne genotoxické expozície.

ACCEPTED MANUSCRIPT

Vlastníctvo osobných a domácich zariadení vyžarujúcich rádiofrekvenčné žiarenie bolo tiež spojené s frekvenciou mikronického žiarenia. Hoci tieto premenné boli zahrnuté ako zástupné indikátory expozície rádiofrekvenčnému žiareniu mimo školského prostredia, nezachytávajú individuálne vzorce používania, trvanie, blízkosť ani absorbovanú dávku. Tieto zistenia by sa preto mali interpretovať opatrne a mali by zdôrazňovať obmedzenia hodnotenia expozície na základe zástupných údajov.
Po úprave týchto kovariátov a zohľadnení zhlukovania na úrovni školy pomocou modelov so zmiešanými efektmi zostala úroveň RF žiarenia a vzdialenosť od MPBS štatisticky spojená s frekvenciou MN. Pozorovaná korelácia v rámci triedy ďalej naznačovala významnú variabilitu medzi školami, čo zdôrazňuje relevantnosť environmentálnych faktorov na úrovni školy pri hodnotení expozície.
Hoci namerané úrovne rádiofrekvenčného žiarenia boli pod medzinárodnými limitmi expozície, pozorované súvislosti naznačujú, že vystavenie rádiofrekvenčnému žiareniu v školskom prostredí si vyžaduje ďalšie skúmanie. Tieto zistenia môžu informovať o budúcom výskume a prispieť k širšej diskusii o hodnotení environmentálnej expozície v kontextoch urbanistického plánovania.

Silné a obmedzené stránky štúdie
Zistenia zdôrazňujú relevantnosť zváženia vystavenia rádiofrekvenčnému (RF) žiareniu v širších rámcoch environmentálneho zdravia a urbanistického plánovania. Hoci namerané úrovne RF boli pod súčasnými medzinárodnými bezpečnostnými orgánmi, pozorované súvislosti s frekvenciou mikrojadier naznačujú, že chronické vystavenie životnému prostrediu nízkym úrovniam môže vyžadovať preventívne zváženie, najmä u detí.

ČLÁNOK V TLAČI

Z hľadiska environmentálneho manažmentu vyvoláva umiestnenie základňových staníc mobilných telefónov (MPBS) v blízkosti škôl otázky týkajúce sa územného plánovania, kumulatívnej expozície a dlhodobého plánovania využívania pôdy. Začlenenie aspektov expozície rádiofrekvenčným žiarením do bežných environmentálnych hodnotení a hodnotení bezpečnosti škôl môže podporiť informovanejšie rozhodovanie. Doplnkové opatrenia, ako napríklad uprednostňovanie káblového pripojenia tam, kde je to možné, alebo zavádzanie digitálnych technológií s nízkymi emisiami, môžu pomôcť znížiť kumulatívnu expozíciu bez ohrozenia vzdelávacích potrieb.
Celkovo možno vystavenie rádiofrekvenčnému žiareniu z MPBS najlepšie pochopiť v rámci integrovaných rámcov environmentálneho riadenia, a nie výlučne ako biomedicínsky problém.
ZÁVER

Táto štúdia naznačuje, že blízkosť MPBS môže byť spojená s vyššou expozíciou environmentálnemu rádiofrekvenčnému žiareniu a zvýšenou frekvenciou mikrosenzitivity (MN) u detí na základných školách v reálnych podmienkach. Hoci pozorované veľkosti účinkov boli mierne, zistenia prispievajú k rastúcej dôkazovej základni skúmajúcej potenciálne biologické reakcie na chronické vystavenie rádiofrekvenčnému žiareniu na nízkych úrovniach.

Z hľadiska environmentálneho zdravia a manažmentu tieto výsledky zdôrazňujú dôležitosť integrácie aspektov vystavenia rádiofrekvenčnému žiareniu do urbanistického plánovania, územného plánovania a riadenia rizík. Preventívne stratégie umiestňovania, ako napríklad udržiavanie vhodnej ochrannej vzdialenosti medzi MPBS a citlivými spôsobmi využitia pôdy, ako sú

ACCEPTED MANUSCRIPT

školy, môžu predstavovať obozretný prístup k riadeniu dlhodobej neistoty. Začlenenie aspektov vystavenia rádiofrekvenčnému žiareniu do posudzovania vplyvov na životné prostredie a plánovania školskej infraštruktúry by mohlo ďalej podporiť proaktívne riadenie kumulatívnych expozícií.

V konečnom dôsledku by sa vystavenie rádiofrekvenčnému žiareniu nemalo riešiť len ako biomedicínsky problém, ale ako súčasť širšieho rámca udržateľného mestského a environmentálneho manažmentu. Zosúladením preventívnych opatrení s transparentným riadením a zapojením komunity môžu tvorcovia politík vyvážiť technologický pokrok s ochranou verejného zdravia, najmä zraniteľných skupín obyvateľstva, ako sú deti. Budúce longitudinálne štúdie s hodnotením osobnej expozície rádiofrekvenčnému žiareniu budú kľúčové pre posilnenie kauzálnej inferencie, ale preventívne stratégie založené na dôkazoch by sa mali implementovať súbežne.

Dostupnosť údajov

Súbory údajov použité a/alebo analyzované v tejto štúdii sú k dispozícii od príslušného autora na základe odôvodnenej žiadosti.

VYHLÁSENIA A DEKLARÁCIE

Protirečiace záujmy

Autori vyhlasujú, že nemajú žiadne finančné ani nefinančné záujmy, ktoré by priamo alebo nepriamo súviseli s prácou predloženou na publikovanie.

ČLÁNOK V TLAČI

Financovanie

Tento výskum bol podporený Centrom pre riadenie výskumu, Univerzita Putra Malajzia (UPM), v rámci programu Iniciatíva mladých výskumníkov (IPM) (referenčné číslo UPM/700-2/1/GP-IPM/2017/9532900).

Poďakovania

Autori ďakujú Ministerstvu školstva Malajzie a zúčastneným školským orgánom za spoluprácu a podporu pri realizácii tejto štúdie.

REFERENCIE

1. Hardell, L. a Koppel, T. Elektromagnetická precitlivenosť v blízkosti základňových staníc mobilných telefónov – prípadová štúdia v Štokholme vo Švédsku.*Rev. Environ. Health.***38** , 219–228. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35238501/ (2022).
2. Ishai, PB, Davis, D., Taylor, H. a Birnbaum, L. Problémy pri hodnotení vplyvov rádiofrekvenčného žiarenia na zdravie.*Environmentálny výskum.***217**, 115038. https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.115038 (2023).
3. Miller, AB a kol. Riziká pre zdravie a pohodu vyplývajúce z rádiofrekvenčného žiarenia vyžarovaného mobilnými telefónmi a inými bezdrôtovými zariadeniami.*Predná strana. Verejné zdravie.***7**, 223. https://doi.org/10.3389/fpubh.2019.00223 (2019).
4. Belpomme, D., Hardell, L., Belyaev, I., Burgio, E. a Carpenter, DO Tepelné a netepelné účinky neionizujúceho žiarenia s nízkou intenzitou na zdravie:

ACCEPTED MANUSCRIPT

medzinárodný perspektíva. *Životné prostredie. Znečistenie.* **242**, 643–658. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.019 (2018).
5. Houston, BJ, Nixon, B., King, BV, De Iuliis, GN a Aitken, RJ Účinky rádiofrekvenčného elektromagnetického žiarenia na funkciu spermií. *Reprodukcia.***152**, R263 – R276. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27601711/ (2016).

6. Medzinárodná komisia pre ochranu pred neionizujúcim žiarením (ICNIRP). Usmernenia pre obmedzenie vystavenia elektromagnetickým poliam (100 kHz až 300 GHz).*Zdravotná fyzika.***118**, 483–524. https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf (2020).
7. Davis, D. a kol. Bezdrôtové technológie, neionizujúce elektromagnetické polia a deti: identifikácia a znižovanie zdravotných rizík.*Aktuálne problémy pediatrie. Dospievajúci. Zdravotná starostlivosť.***53**, 101374. https://doi.org/10.1016/j.cppeds.2023.101374 (2023).
8. Moon, J.-H. Zdravotné účinky elektromagnetických polí na deti.*Klinický expert na pediatrické zákroky.***63**, 422–428. https://doi.org/10.3345/cep.2019.01494 (2020).
9. Wagner, KH, Schwingshackl, L., Draxler, A. a Franzke, B. Vplyv zmien v stravovaní a životnom štýle u starších ľudí alebo ľudí s diagnózou cukrovky, metabolických porúch, kardiovaskulárnych ochorení, rakoviny a nedostatku mikronutrientov na frekvenciu mikronukleov – Systematický prehľad a metaanalýza. *Mutat.Res.Rev.Mutat.Res.***787**, 108367. https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2021.108367 (2021)
10. Fenech, M. a kol. Bukálny mikronukleárny cytómový test: nové horizonty pre jeho implementáciu v štúdiách na ľuďoch.*Mutat. Res. Genet. Toxicol. Environ. Mutagén.***893**, 503724. https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2023.503724 (2024).

11. Malacarne, IT, Alpire, MES, Malinverni, ACM a Ribeiro, DA Použitie mikronukleového testu v bunkách ústnej sliznice ako vhodného biomarkera u detí vystavených environmentálnym mutagénom: teoretické koncepty, usmernenia a budúce smery.*Rev. Environment. Zdravie.***39**, 191–197. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36367315/ (2022).
12.Bhatt, CR a kol. Mikroenvironmentálne osobné vystavenie rádiofrekvenčnému elektromagnetickému poľu v Melbourne: analýza longitudinálneho trendu. *Environmentálny výskum.***251**, 118629. https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118629 (2024).
13. Menezes, L. dos S. a kol. Mutagenita v ústnych bunkách jedincov vystavených rádiofrekvencii generovanej rôznymi smartfónmi.*Braz. J. Oral Sci.***21**, e226427. https://doi.org/10.20396/bjos.v21i00.8666427 (2022).
14. Lemeshow, S., Hosmer, DW, Klar, J. a Lwanga, SK. Adekvátnosť veľkosti vzorky v štúdiách zdravia (JohnWiley&Sons). https://tbrieder.org/publications/books_english/lemeshow_samplesize.pdf (1990)

15. Rodrigues, NCP a kol. Vplyv nepretržitého vystavenia elektromagnetickým poliam nízkej intenzity z rádiových základňových staníc na úmrtnosť na rakovinu v Brazílii. *Medzinárodná justícia Environ.Res.VerejnéZdravie.***18 rokov**, 1229. https://doi.org/10.3390/ijerph18031229 (2021).

ČLÁNOK V TLAČI

16. Martin, S. a kol. Poruchy zdravia a vystavenie rádiofrekvenčným elektromagnetickým poliam zo základňových staníc mobilných telefónov vo francúzskych mestských oblastiach. *Environ. Res.* **193**, 110583. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110583 (2021).
17. Chokeli, R. a kol. Poškodenie chromozomálnej DNA v bunkách bukálnej sliznice u školákov v blízkosti mobilných základňových staníc v Selangore. *Malajzijci J. Lekárska a zdravotná veda.* **15,** 124–129. https://medic.upm.edu.my/upload/dokumen/2019121207385417_MJMHS_02 64.pdf (2019).
18. Veludo, AF a kol. Posúdenie vystavenia rádiofrekvenčnému elektromagnetickému poľu vo viacerých mikroprostrediach v desiatich európskych krajinách so zameraním na 5G. *Medzinárodné životné prostredie* **200,** 109540. https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109540 (2025).
19. Kesari, KK, Siddiqui, MH, Meena, R., Verma, HN a Kumar, S. Vplyv žiarenia z mobilných telefónov na mozog a súvisiace biologické systémy. *Indický časopis pre výskum biológie.* **51,** 187–200. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23678539/ (2013).
20. Zothansiama, Zosangzuali, M., Lalramdinpuii, M. a Jagetia, GC Vplyv rádiofrekvenčného žiarenia na poškodenie DNA a antioxidanty v periférnych krvných lymfocytoch ľudí žijúcich v blízkosti základňových staníc mobilných telefónov. *Elektromagnetická biológia a medicína.* **36**, 295 – 305. https://doi.org/10.1080/15368378.2017.1350584 (2017).
21. Weller, SG a kol. Prehľad rozsahu a mapa dôkazov o expozícii rádiofrekvenčnému poľu a genotoxicite: hodnotenie údajov in vivo, in vitro a epidemiologických údajov. *Verejné zdravie.* **13**, 1613353. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40809778/ (2025).
22. Pearce, JM Obmedzenie zodpovednosti umiestnením vysielačov mobilných telefónov s cieľom minimalizovať negatívne účinky na zdravie. *Environmentálny výskum.* **181**, 108845. https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108845 (2019).
23. Romeo, S. a kol. Genotoxicita rádiofrekvenčných elektromagnetických polí: Protokol pre systematický prehľad štúdií in vitro. *Medzinárodné životné prostredie* **148**, 106386. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33486297/ (2021).

ČAKÁ NA TLAČ