Translated from English to Slovak - www.onlinedoctranslator.com

Check for updates

Bioelektromagnetika

WILEY | BioEM

VÝSKUMNÝ ČLÁNOK OPEN ACCESS

Vystavenie rádiofrekvencii 5G a fyziologické účinky u zdravých mladých dospelých: Poznatky o variabilite srdcovej frekvencie a biomarkeroch stresu zo slín

Džamal Lajla[1,2] | Michelant Lisa[1,2] | Delanaud Stéphane[3] | Bodin Raphaël[1,2] | Hugueville Laurent[4] | Pavol Mazet[5] | Lévêque Philippe[6] | Baz Tamara[1] | Stephan-Blanchard Erwan[3] Selmaoui Brahim[1,2]

[1]Oddelenie experimentálnej toxikológie a modelovania (TEAM), Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS), Parc Technologique Alata, BP 2, Verneuil-en-Halatte, Francúzsko | [2]Laboratórium PériTox (UMR_I 01), INERIS/UPJV, INERIS, Verneuil-en-Halatte, Francúzsko | [3]Laboratórium PériTox (UMR_I 01), UPJV/INERIS, Univerzita v Pikardii Jules Verne, Amiens, Francúzsko | [4]Parížsky mozgový inštitút (ICM), Centrum pre výskum neurozobrazovania (CENIR), Univerzita Sorbonna, INSERM U1127, CNRS UMR7225, nemocnica Pitié-Salpêtrière, Paríž, Francúzsko | [5]Technické centrum pre mechanický priemysel (CETIM), Senlis, Francúzsko | [6]CNRS, XLIM, UMR 7252, 123 avenue Albert Thomas, Univerzita v Limoges, Limoges, Francúzsko

Korešpondencia: Selmaoui Brahim (brahim.selmaoui@ineris.fr)

Prijaté: 3. júna 2025 | **Revidované:** 6. marca 2026 | **Prijaté:** 12. mája 2026

Financovanie: Výskumný a inovačný program Európskej únie Horizont Európa, číslo grantu/udelenia: 101057262; program 190 programu INERIS; výskumný a inovačný program Európskej únie Horizont Európa, číslo grantu/udelenia: 101057262

Kľúčové slová: 5G | autonómny nervový systém | elektrokardiogram | variabilita srdcovej frekvencie | človek | rádiofrekvencia | stresové biomarkery

ABSTRAKT

Táto štúdia skúmala potenciálny vplyv rádiofrekvencie (RF) piatej generácie (5 G) na autonómny nervový systém (ANS). Elektrokardiogramy (n=43) a vzorky slín (n=33) boli zozbierané od zdravých mladých dobrovoľníkov pred, počas a po expozícii frekvencii 3,5 GHz (intenzita elektrického poľa ~1–2 V/m) vysielanej anténou, zatiaľ čo účastníci sedeli v pokoji. Indexy srdcovej frekvencie (HR) a variability srdcovej frekvencie (HRV), vrátane meraní v časovej a frekvenčnej doméne, boli analyzované z krátkodobých epoch počas „reálnych" aj „simulovaných" expozičných sedení, za podmienok s otvorenými (EO) a zatvorenými (EC) očami. Počiatočné zmeny v RR intervaloch a HR boli pozorované počas expozície 5 G; tieto účinky však neboli potvrdené post-hoc analýzami po korekcii na viacnásobné porovnania, čo naznačuje absenciu konzistentnej modulácie súvisiacej s expozíciou. Jediným štatisticky významným výsledkom bola interakcia medzi časom a expozíciou pre parameter RMSSD počas konečného expozičného obdobia. Tento účinok bol malý, obmedzený na jeden časový bod a nebol podporený inými parasympatickými indexmi, a preto by sa mal interpretovať opatrne, pretože môže odrážať normálnu fyziologickú variabilitu alebo štatistický artefakt. V biomarkeroch stresu v slinách, vrátane kortizolu, alfa-amylázy a chromogranínu A, sa nezistili žiadne konzistentné účinky súvisiace s expozíciou. Hoci sa v niektorých meraniach pozorovali menšie odchýlky, všetky hodnoty zostali v normálnych fyziologických rozsahoch a ich klinický význam zostáva neistý. Tieto zistenia sú obmedzené na skúmané špecifické experimentálne podmienky, a to krátkodobú expozíciu vo vzdialenom poli (25,5 min) pri nízkych úrovniach špecifickej absorpcie (SAR) (0,008 mW/kg v mozgu). Celkovo výsledky poskytujú skôr predbežné východiskové údaje o ľuďoch pri frekvencii 3,5 GHz ako potvrdzujúci dôkaz biologických účinkov. Na určenie, či je možné spoľahlivo detegovať jemné alebo kumulatívne autonómne účinky expozície 5 G, sú potrebné ďalšie štúdie zahŕňajúce väčšie kohorty a dlhšie trvanie expozície. Bioelektromagnetics. 00:00–00, 2026. © 2026 Bioelektromagnetics Society.

Toto je článok s otvoreným prístupom podľa podmienok Creative Commons Uvedenie autora – Nekomerčné – Bez odvodení Licencia, ktorá povoľuje použitie a distribúciu v akomkoľvek médiu za predpokladu, že je pôvodné dielo riadne citované, použitie je nekomerčné a nie sú vykonané žiadne úpravy ani adaptácie.

© 2026 Autor(i). *Bioelektromagnetika* vydáva Wiley Periodicals LLC v mene Bioelektromagnetickej spoločnosti.

Zhrnutie

- Exploratívna štúdia hodnotiaca autonómne reakcie na krátkodobé vystavenie sa žiareniu s frekvenciou 3,5 GHz a frekvenciou 5 G u zdravých mladých dospelých.
- Po štatistickej korekcii sa nepozorovali žiadne robustné alebo konzistentné účinky na variabilitu srdcovej frekvencie ani na biomarkery stresu v slinách.
- Zistenia poskytujú predbežné východiskové údaje o expozícii nízkym úrovniam 5 G u ľudí, čo zdôrazňuje potrebu rozsiahlejších a dlhšie trvajúcich štúdií.

1 | Úvod

Globálne používanie internetu sa od roku 2019 zvýšilo o 24 % (Medzinárodná telekomunikačná únia)2023). V reakcii na túto eskalujúcu konektivitu prechádzajú mobilné siete neustálym technologickým vývojom, ktorý vyvrcholil vývojom rádiofrekvenčných (RF) technológií piatej generácie (5 G). Spomedzi novo zavedených frekvenčných pásiem sa v súčasnosti po celom svete postupne zavádza prvé pásmo 5 G oscilujúce okolo 3,5 GHz. Toto technologické rozšírenie však vyvolalo obavy a diskusie týkajúce sa potenciálnych zdravotných účinkov spojených s novými scenármi expozície rádiofrekvenčnému elektromagnetickému poľu (RF-EMF) vyplývajúcimi z rozsiahleho používania pokročilých bezdrôtových komunikačných systémov (Russell2018Hardell a Carlberg2020Selmaoui a kol.2021Weller a McCredden2024).

Medzi štúdiami skúmajúcimi zdravotné účinky vystavenia rádiofrekvenčnému žiareniu sú aj tie, ktoré hodnotia jeho vplyv na autonómny nervový systém (ANS) u ľudí. Hoci sa touto témou zaoberalo relatívne málo štúdií, dostupné zistenia zostávajú nekonzistentné. Niektoré štúdie uvádzajú významné zmeny parametrov súvisiacich s ANS vyvolané rádiofrekvenčným žiarením (Esen a Esen2006Mišek a kol.2018 Parížek a kol.2023), zatiaľ čo iní nezistili žiadny pozorovateľný účinok (Braune S. a kol.2002Selmaoui a kol.2018Wallace a kol.2020). Variabilita v hlásených účinkoch vystavenia rádiofrekvenčnému žiareniu na výsledky autonómneho nervového systému pravdepodobne odráža značnú metodologickú heterogenitu medzi štúdiami vrátane rozdielov v charakteristikách účastníkov, parametroch expozície a experimentálnych podmienkach (Michelant a Selmaoui2025). Štúdie využívajúce autonómne výzvy alebo kontrolovanejšie stimuly majú zrejme jemné účinky (Esen a Esen2006); takéto problémy však môžu samy osebe ovplyvniť autonómne reakcie, a preto predstavujú potenciálne zdroje skreslenia. Tieto úvahy zdôrazňujú potrebu starostlivo navrhnutých experimentov na presné posúdenie modulácie autonómnych funkcií súvisiacej s rádiofrekvenčným žiarením a vyhodnotenie ich potenciálnych rizík a zaistenie bezpečnosti jednotlivcov vystavených týmto frekvenciám, najmä s rozširujúcim sa zavádzaním 5G sietí.

Pochopenie vplyvu vystavenia rádiofrekvenčnému žiareniu na ANS je obzvlášť dôležité, pretože tento systém reguluje základné fyziologické funkcie vrátane srdcovej frekvencie (SF), krvného tlaku a sekrécie hormónov. Akékoľvek narušenie alebo zmena vo fungovaní tohto systému môže mať preto významné dôsledky pre zdravie a pohodu. Ako však už bolo zdôraznené, štúdie skúmajúce účinky predchádzajúcich generácií rádiofrekvenčného žiarenia na ANS priniesli obmedzené a protichodné výsledky. (Európska komisia2022Geronikolou a kol.2020Selmaoui a Touitou2021Mansourian a kol.2023).

V tejto súvislosti sa táto prieskumná štúdia zameriava na skúmanie vplyvu vystavenia sa novo zavedenému frekvenčnému pásmu 5 G pracujúcemu na frekvencii 3,5 GHz na vybrané fyziologické parametre a biomarkery aktivity ANS. Doteraz sa žiadne štúdie špecificky nezaoberali vplyvom tejto frekvencie na reguláciu ANS. Vzhľadom na komplexnosť regulácie ANS a jej citlivosť na faktory prostredia sú srdcová frekvencia (HR) a variabilita srdcovej frekvencie (HRV) všeobecne uznávané ako spoľahlivé indikátory autonómnych funkcií (Shaffer a Ginsberg)2017). Tieto parametre sú cenné na nepriame posúdenie rovnováhy medzi sympatickou a parasympatickou aktivitou. Hoci regulácia ANS zahŕňa viacero interagujúcich dráh, HRV ponúka neinvazívne a kvantifikovateľné meradlo autonómnej rovnováhy (Shaffer a Ginsberg)2017). Zníženie HRV vo všeobecnosti naznačuje zhoršenú autonómnu reguláciu a zníženú homeostatickú kapacitu, čo sa často pozoruje v stresových podmienkach (Kim a kol. 2018). V dôsledku toho sa srdcová frekvencia (HR) a variabilita srdcovej frekvencie (HRV) považujú za základné parametre na posúdenie toho, ako môžu vonkajšie podnety ovplyvniť sympatovagálnu rovnováhu (Variabilita srdcovej frekvencie: Štandardy merania, fyziologická interpretácia a klinické použitie1996 Cygankiewicz a Zareba2013).

Okrem toho sa ukázalo, že stav očí významne ovplyvňuje aktivitu ANS a výsledky HRV. Predchádzajúce štúdie preukázali, že stav očí, či už otvorených alebo zatvorených, moduluje autonómne reakcie (Hori a kol.2005Wallace a kol.2020). Konkrétne, stav so zatvorenými očami je spojený so zvýšenou parasympatickou aktivitou a hlbšou relaxáciou, čo často vedie k vyšším hodnotám HRV. Naproti tomu stav s otvorenými očami má tendenciu zvyšovať sympatickú aktiváciu, pravdepodobne v dôsledku zvýšenej bdelosti a trvalej vizuálnej pozornosti, čo vedie k zníženiu HRV. Preto je pri hodnotení HRV nevyhnutné rozlišovať medzi stavom s otvorenými a zatvorenými očami, aby sa lepšie pochopili základné autonómne mechanizmy a minimalizovalo sa potenciálne skreslenie.

Okrem fyziologických meraní poskytujú slinné biomarkery cenný pohľad na autonómnu aktivitu súvisiacu so stresom. Slinný kortizol, ktorý odráža aktiváciu hypotalamo-hypofyzárno-nadobličkovej (HPA) osi, je všeobecne uznávaný ako spoľahlivý neinvazívny biomarker stresu. Hladiny kortizolu sa zvyčajne zvyšujú približne 20 minút po nástupe stresu a potom klesajú postupnejšie (Vining a kol.1983Hellhammer a kol.2009). Naproti tomu slinná alfa-amyláza (AA) a chromogranín A (CgA), oba markery sympaticko-adrenálneho systému, vykazujú odlišné profily reakcie. AA reaguje na stres rýchlo, dosahuje maximálne hladiny približne do 5 minút a krátko po ukončení stresu klesá (Takai a kol.2004Nater a kol. 2006;2007). CgA, nedávno navrhnutý biomarker stresu, vykazuje menej konzistentné vzorce. Súčasné dôkazy o jeho dennom rytme a reakcii na stres odrážajú interindividuálne rozdiely a citlivosť na faktory, ako je vek, pohlavie, kvalita spánku a povaha stresora (D'amico a kol.2014).

Celkovo si táto štúdia kladie za cieľ preskúmať, či krátkodobé vystavenie elektromagnetickým poliam 5 G ovplyvňuje rovnováhu ANS u zdravých mladých dospelých, a to integráciou priamych fyziologických meraní.

1521186x, 2026, 5, Stiahnuté z https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bem.70056 spoločnosťou Cochrane Slovakia, Wiley Online Library dňa [30. 6. 2026]. Pravidlá používania nájdete v zmluvných podmienkach (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) na stránke Wiley Online Library. Články OA sa riadia príslušnou licenciou Creative Commons.

(HR a HRV) s biologickými stresovými markermi. Štúdia konkrétne skúma, či HR a HRV (podrobne uvedené v časti Materiály a metódy) ako indikátory sympatovagálnej rovnováhy zostávajú stabilné počas nášho experimentálneho protokolu, ktorý zahŕňal východiskovú, expozičnú a postexpozičnú fázu počas reálnych a simulovaných podmienok, a či koncentrácie biomarkerov stresu v slinách (kortizol, AA a CgA) vykazujú významné rozdiely v rámci týchto experimentálnych podmienok. Účastníci boli vystavení signálu 3,5 GHz 5 G na úrovniach pod verejnými regulačnými limitmi (ICNIRP2020) a porovnateľné s tými, s ktorými sa stretávame vo vonkajšom prostredí (Selmaoui a kol.2021Hinrikus a kol.2022).

2 | Materiály a metódy 2.1 | Etické schválenie

Etické schválenie experimentálneho protokolu (ID-RCB č.: 2020-A03127-32) bolo získané od francúzskej národnej etickej komisie „CPP Sud-Ouest et Outre-Mer 1“ a bolo v súlade so zásadami Helsinskej deklarácie.

2.2 | Účastníci

Do štúdie bolo zaradených celkovo 43 jedincov (24 mužov a 19 žien), ktorí spĺňali prísne kritériá pre zaradenie s priemerným vekom 26,6 (priemer) ± 4,8 (SD) rokov a indexom telesnej hmotnosti 22,6 (priemer) ± 3,7 (SD). Títo účastníci udržiavali pravidelný spánkový režim (23:00 až 8:00 ± 1 h) a nemali žiadne chronické ani akútne ochorenia ani postihnutia. Boli nefajčiari a nehlásili elektromagnetickú precitlivenosť. Vylúčení boli dojčiace alebo tehotné ženy, čo potvrdil tehotenský močový test NADAL® hCG (ref: 152002, nal von minden GmbH, Moers, Nemecko), a osoby užívajúce drogy alebo narkotiká, čo potvrdil močový test NarcoCheck® (ref: DOA-M10-3B, Kappa City Biotech SAS, Montluçon, Francúzsko). Účastníčky museli mať pravidelný menštruačný cyklus (25 – 32 dní) bez používania hormonálnej antikoncepcie. Ich zaradenie do štúdie bolo naplánované počas folikulárnej fázy ich menštruácie.

Experimentálny protokol (ID-RCB č.: 2020-A03127-32) sa riadil zásadami Helsinskej deklarácie a získal schválenie od francúzskej národnej etickej komisie „CPP Sud-Ouest et Outre-Mer 1“. Zúčastniť sa mohli iba dobrovoľníci, ktorí poskytli informovaný písomný súhlas. Účastníci boli navyše poučení, aby sa 24 hodín pred každým experimentálnym sedením zdržali konzumácie akýchkoľvek stimulujúcich/depresívnych nápojov alebo látok (napr. kofeín, alkohol, čokoláda).

2.3 | Expozičný protokol a systém

V trojito zaslepenom dizajne štúdie, čo znamená, že účastníci, experimentátori a analytici údajov nevedeli o pridelení sedení, sa účastníci zapojili do dvoch náhodne pridelených vyvážených skrížených „skutočných“ a „simulovaných“ expozičných sedení. Tieto sedenia boli naplánované v maximálnom intervale 1 týždňa. Konali sa v rovnakých časoch dňa.

buď ráno (9:00 až 11:00 ± 30 min.), alebo popoludní (14:00 až 16:00 ± 30 min.). Toto sa urobilo s cieľom minimalizovať potenciálne narušenia spôsobené cirkadiánnym rytmom.

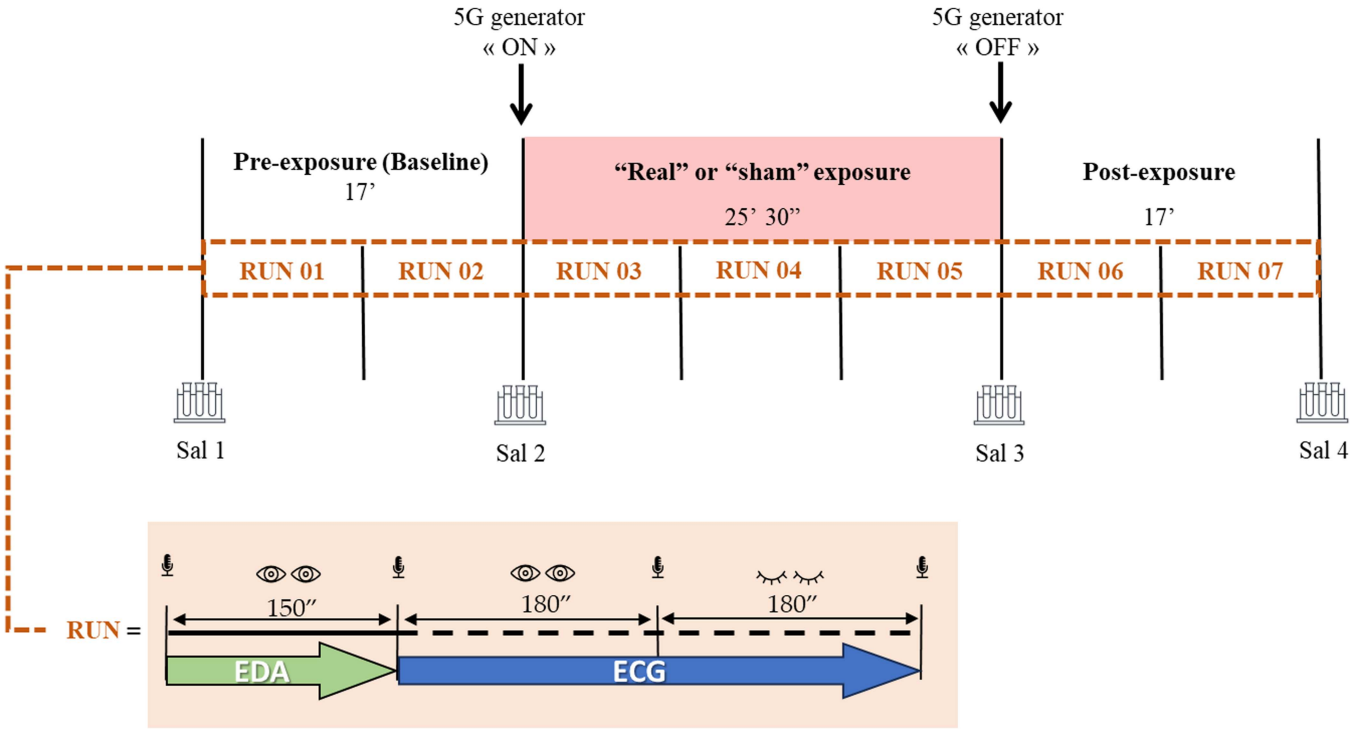
Táto štúdia bola vykonaná s použitím experimentálneho protokolu, ktorý bol stanovený a validovaný v našom laboratóriu (Ghosn a kol.2015Wallace a kol.2020,2022Džamal a kol.2024). Každá relácia pozostávala z 25,5 minútového obdobia buď „skutočných“, alebo „simulovaných“ expozícií, ako je znázornené na obrázku1Nasledovalo 17-minútové „post-expozičné“ obdobie. Obom obdobiam predchádzala 17-minútová „základná“ fáza záznamu bez vystavenia rádiofrekvenčnému žiareniu. V rámci každého z týchto období sa blok experimentálneho záznamu nazývaný beh opakoval dvakrát alebo trikrát. Na konci záznamovej relácie sa získalo celkovo 7 behov. Počas každého behu sa nepretržite zaznamenávali elektrokardiogramy (EKG). Protokol sa vykonával s rôznymi očnými stavmi, aby sa preskúmali ich vplyvy na určité fyziologické funkcie ANS spolu s vplyvom 5 G. V skutočnosti sa HRV môže meniť v závislosti od toho, či sú oči otvorené alebo zatvorené, ako ukazujú niektoré štúdie (Hori a kol.2005Wallace a kol.2020). Preto je nevyhnutné oddeliť tieto očné stavy, aby sa minimalizovalo potenciálne skreslenie a zabezpečila sa platnosť našich výsledkov. Následne boli vykonané dve epochy s otvorenými očami (EO) a zatvorenými očami (EC), pričom každá trvala 180 sekúnd, kde hlasové pokyny viedli účastníkov k otváraniu a zatváraniu očí.

Okrem toho boli od každého účastníka odobraté štyri vzorky slín pred a po každom období (východiskové, expozičné a postexpozičné) na analýzu kortizolu, AA a CgA, indikátorov akútneho stresu.

Čo sa týka expozičného systému, účastníci prijímali 3,5 GHz RF z trychtýrovej antény umiestnenej 120 cm od seba v elektricky tienenej miestnosti. Expozícia prebiehala vo vzdialenom poli, čo znamená, že elektromagnetické vlny sa šíria rovnomerne a správajú sa ako rovinné vlny s predvídateľnejším a rovnomernejším rozložením poľa. RF boli generované (Rohde & Schwarz SMB100A (1406.6000.02), Rohde & Schwarz GmbH & Co KG, Nemecko) a zosilnené (SX 40/15, Prâna, Francúzsko) pulzne modulovaným spôsobom, aby sa vytvorila intenzita elektrického poľa 1 V/m na úrovni trupu a 2 V/m na úrovni hlavy, čo potvrdil merač poľa (NBM 550, Narda Safety Test Solutions GmbH, Nemecko). Na posúdenie špecifickej miery absorpcie (SAR) pri 3,5 GHz boli vykonané numerické simulácie s použitím vlastného kódu s konečnými rozdielmi v časovej doméne (FDTD). Priemerné hodnoty SAR pre hlavu a mozog boli vypočítané z anatomického modelu ľudskej hlavy s vysokým rozlíšením (1 mm^3) odvodeného z projektu Visible Human Project (Ackerman1998). Dielektrické vlastnosti tkaniva pri 3,5 GHz boli priradené podľa databázy IT'IS Foundation s použitím Gabrielových disperzných modelov (Gabriel a kol.1996Gabriel1996).

Vzhľadom na vzdialenosť medzi trychtýřovou anténou a hlavou bola expozícia aproximovaná vertikálne polarizovanou rovinnou vlnou s intenzitou elektrického poľa 2 V/m, čo zodpovedá priemernej hustote výkonu 11 mW/m^2. Charakterizácia expozície bola založená na priemernej hodnote SAR pre hlavu (HASAR) a priemernej hodnote SAR pre mozog (BASAR), za predpokladu hmotnosti hlavy 5,5 kg a hmotnosti mozgu 1,3 kg. Pri frekvencii 3,5 GHz boli hodnoty HASAR a BASAR odhadnuté na 0,037 ± 0,11 mW/kg a 0,008 ± 0,019 mW/kg.

1521186x, 2026, 5, Stiahnuté z https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bem.70056 spoločnosťou Cochrane Slovakia, Wiley Online Library dňa [30. 6. 2026]. Pravidlá používania nájdete v zmluvných podmienkach (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) na stránke Wiley Online Library. Články OA sa riadia príslušnou licenciou Creative Commons.



OBRÁZOK 1 |Protokol a metodológia. Prehľad študijného protokolu zobrazujúci postupnosť skutočných a simulovaných expozičných sedení, fyziologické záznamy (EDA a EKG), obdobia s otvorenými a zatvorenými očami a načasovanie odberu vzoriek slín (Sal1–Sal4) v porovnaní s expozičnými sedeniami.

čo naznačuje nízku úroveň expozície (podrobnejšie informácie pozri v Jamal et al.2023).

Okrem toho boli „skutočné" alebo „fiktívne" emisie kontrolované špecifickým dozimetrom (MVG/EME Spy Evolution, MVG INDUSTRIES | SATIMO, Francúzsko), ktorý bol nainštalovaný v miestnosti na zber údajov na overenie expozičných parametrov.

2.4 | Premenné srdcovej frekvencie (HRV)

Na získanie EKG údajov sme použili dve jednorazové elektródy (Ambu® Neroline 720, samolepiace povrchové elektródy Neurology, Ballerup, Dánsko). Tieto elektródy boli umiestnené na pravej kľúčnej kosti a ľavom dolnom bedre. Signály boli zaznamenávané pomocou softvéru Brain Vision Recorder (verzia 1.23.0003) v pokojovej polohe v sede s pravidelným dýchaním v slabo osvetlenej miestnosti. Na zabezpečenie správnej elektrickej impedancie sme použili vodivostný gél (Electro Gel, Electro Cap Center BV, Nieuwkoop, Holandsko) s udržiavaním impedancie pod 30 KΩ. Nastavenia akvizície zahŕňali vzorkovaciu frekvenciu 1000 Hz a šírku pásma 0,016 – 250 Hz.

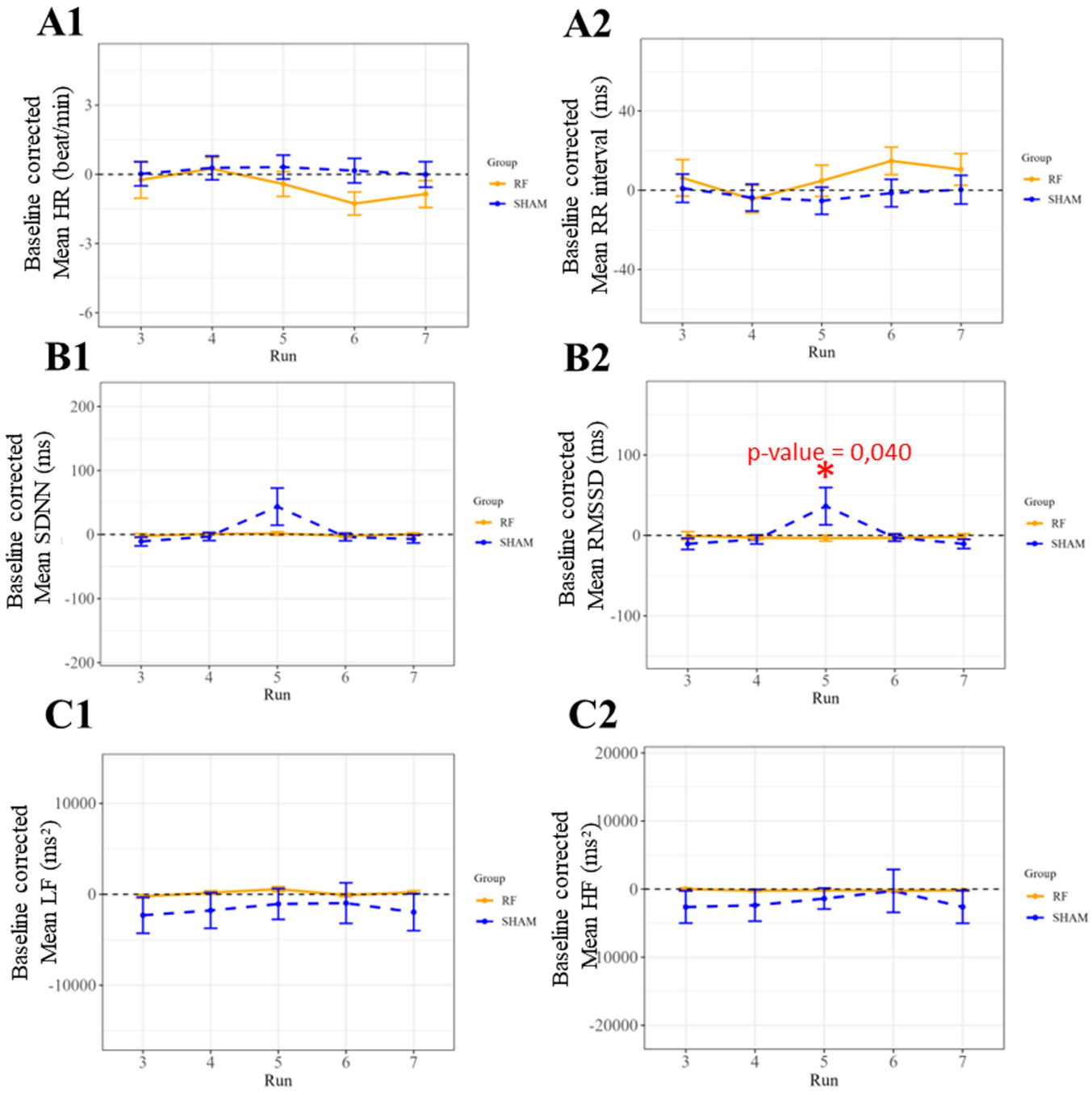
Na lokalizáciu vrcholov vlny R v komplexoch QRS EKG signálu sme použili špecifický algoritmus (mne.preprocessing.find_ecg_events) zo softvéru MNE-python (verzia 0.19.2). Algoritmus bol nakonfigurovaný na detekciu normálnych intervalov medzi údermi až do 1,2 s pre každý stav oka v každom behovom cykle. Z 8,5 minúty záznamu však bolo 150 s pridelených inému meraniu zahŕňajúcemu pípanie, a preto neboli analyzované pre EKG. Zo zostávajúcich 6 minút bolo 180 s pridelených meraniu s otvorenými očami (EO). EKG a ďalších 180 sekúnd pre EKG so zatvorenými očami (EC). Aby sa zabezpečil plynulý prechod medzi meraniami a zabránilo sa rušeniu hlasovými záznamami, prvých 10 sekúnd bolo odstránených. V dôsledku toho sa epocha kombinovaných podmienok EO a EC skrátila na 350 sekúnd, pričom sa vylúčila 10-sekundová prechodová fáza medzi segmentmi.

Extrahované údaje o RR intervaloch boli potom vložené do softvéru Kubios HRV (štandardná verzia 3.5.0) (Tarvainen a kol. 2014;2021) automaticky korigovať a vypočítavať niekoľko časových a frekvenčných premenných podľa pokynov Európskej kardiologickej spoločnosti o variabilite srdcovej frekvencie (HRV) (Variabilita srdcovej frekvencie: Štandardy merania, fyziologická interpretácia a klinické použitie1996).

Podľa najnovších odporúčaní pre krátkodobé a ultrakrátkodobé záznamy EKG (Nunan a kol.2010Shaffer a Ginsberg2017Catai a kol.2020), ako parametre časovej domény sme zvolili priemerný RR interval, priemernú HR, štandardnú odchýlku NN intervalov (SDNN), strednú kvadratickú hodnotu rozdielu po sebe nasledujúcich RR intervalov (RMSSD) a percento po sebe nasledujúcich RR intervalov, ktoré sa líšia o viac ako 50 ms (pNN50). Pre analýzu vo frekvenčnej doméne sme vypočítali nízkofrekvenčný (LF) výkon v rozsahu 0,04 – 0,15 Hz a vysokofrekvenčný (HF) výkon v rozsahu 0,15 – 0,4 Hz v absolútnom výkone (ms^2), logaritmicky transformovaná (log) a normálna jednotka (nu), ako aj ich pomer (LF/HF). Tieto premenné boli získané pomocou rýchlej Fourierovej transformácie (Welchova metóda) s 50 % prekrytím.

Pre podrobnejšiu charakterizáciu aktivity ANS boli zvolené doplnkové časové a frekvenčné parametre (Nunan a kol.2010 Shaffer a Ginsberg2017Catai

15211186x, 2026, 5, Stiahnuté z https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bem.70056 spoločnosťou Cochrane Slovakia, Wiley Online Library dňa [30. 6. 2026]. Pravidlá používania nájdete v zmluvných podmienkach (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) na stránke Wiley Online Library. Články OA sa riadia príslušnou licenciou Creative Commons.



OBRÁZOK 2 | (A) Globálne parametre HRV: (A1) Priemerná srdcová frekvencia korigovaná na východiskovú hodnotu (HR, údery/min) a (A2) priemerný interval RR (ms), odrážajúci 350-sekundové priemery epoch s otvorenými (EO) a zatvorenými (EC) očami počas „skutočných" (RF) a „simulovaných" sedení (n = 43). (B) Parametre HRV v časovej doméne: (B1) Priemerná hodnota SDNN korigovaná na východiskovú hodnotu (ms) a (B2) priemerná hodnota RMSSD (ms). (C) Parametre HRV vo frekvenčnej doméne: (C1) Priemerný výkon LF (ms²) korigovaný na východiskovú hodnotu a (C2) priemerný výkon HF (ms²). Chybové úsečky označujú štandardnú chybu priemeru (SEM). Hviezdičky (*) označujú významné výsledky (*p*-hodnota < 0,05) pre faktor expozície 5 G, na základe post-hoc Tukeyho párového porovnania.

a kol.2020): Parametre HRV sa používajú na analýzu aktivity autonómneho nervového systému prostredníctvom rôznych meraní. RR intervaly charakterizujú sympatovagálnu rovnováhu. SDNN meria celkovú srdcovú variabilitu, zatiaľ čo RMSSD a pNN50 špecificky hodnotia parasympatickú aktivitu. LF parametre odrážajú zmes sympatických a parasympatických vplyvov s prevahou sympatiku, zatiaľ čo HF vykazuje prevahu parasympatiku. Použitie rôznych jednotiek (ms², log, nu) umožňuje štandardizovanejšiu a robustnejšiu analýzu. Pomer LF/HF indikuje relatívnu dominanciu medzi sympatickým a parasympatickým systémom.

2.5 | Biochemické analýzy biomarkerov stresu v slinách

Hneď ako boli vzorky slín odobraté pomocou špecifických skúmaviek (Salivette®, Ref.: 51.1534, Sarstedt AG & Co. KG, Nümbrecht,

1521186x, 2026, 5, Stiahnuté z https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bem.70056 spoločnosťou Cochrane Slovakia, Wiley Online Library dňa [30. 6. 2026]. Pravidlá používania nájdete v zmluvných podmienkach (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) na stránke Wiley Online Library. Články OA sa riadia príslušnou licenciou Creative Commons.

(Nemecko) boli vzorky okamžite uskladnené pri teplote 4 °C. Vzorky boli centrifugované pri 1000 g počas 20 minút pri 4 °C do 48 hodín od odberu. Výsledný supernatant bol zozbieraný a okamžite zmrazený pri teplote -80 °C v samostatných alikvotných podieloch bez konzervačných látok až do analýzy. Každý dobrovoľník poskytol štyri vzorky na jedno sedenie. Sal1 a Sal2 predstavovali vzorky získané pred expozičným obdobím, zatiaľ čo Sal3 a Sal4 predstavovali vzorky po expozícii. Na kvantifikáciu kortizolu (Cortisol Saliva ELISA, Ref: RE52611, IBL International TECAN, Švajčiarsko), AA (alfa Amylase Saliva Enzymatic Assay, Ref: RE80111, IBL International TECAN, Švajčiarsko) a CgA (Chromogranin A Human ELISA, Ref: YK070, Yanaihara Institute Inc., Shizuoka, Japonsko) sme použili komerčne dostupné súpravy na enzymaticko-imunotestovacie testy určené pre ľudské sliny. Variačné koeficienty (CV) v rámci testu a medzi testami sú 2,22 % (SD = 2,18) a 8,58 % (SD = 0,73). Pre AA sú to 3,63 % (SD = 2,70) a 25,32 % (SD = 8,98). Pre CgA je variačný koeficient v rámci testu 7,67 % (SD = 15,59) a variačný koeficient medzi testami je 14,14 % (SD = 7,04). Konečné koncentrácie boli interpolované softvérom GraphPad Prism (verzia 8.4.3) s použitím sigmoidálnej štvorparametrovej logistickej (4PL) metódy na základe priemeru údajov z duplikátov. Táto metóda bola vykonaná pomocou prístroja Tecan infinite M200 a príslušného softvéru Magellan Pro (verzia 7.3) podľa pokynov výrobcu. Za zmienku stojí, že pre každý použitý biomarker mali zodpovedajúce súpravy rovnaké čísla šarží, aby sa predišlo akémukoľvek potenciálnemu skresleniu. Na druhej strane, vzhľadom na vysoké náklady na súpravy CgA sme analyzovali iba Sal 2 základných vzoriek (Sal 1 a Sal 2) pre túto molekulu, pretože obe predstavujú stav predbežnej expozície rádiofrekvencii 5 G.

2.6 | Štatistická analýza

Pre metriky HRV v časovej a frekvenčnej doméne sa vykonala korekcia východiskovej hodnoty, aby sa znížila variabilita medzi sedeniami. Pre každého subjektu a sedenie sa spriemerovali východiskové hodnoty (Séria 1 a Séria 2) a táto priemerná hodnota sa odpočítala od nasledujúcich sedení (Série 3 až 7).

Lineárne modely so zmiešanými efektmi boli fitované samostatne pre každý parameter HRV pomocou R (verzia 4.3.3) s*nlme*balík. Expozícia (skutočná vs. simulovaná) a čas (Beh 3 až 7) boli zahrnuté ako fixné efekty a subjekt bol zahrnutý ako náhodný intercept, aby sa zohľadnili opakované merania. Interakcia expozícia × beh bola zahrnutá na posúdenie, či sa účinky expozície v priebehu času menili. Modely boli odhadnuté pomocou obmedzenej maximálnej pravdepodobnosti (REML). Fixné efekty boli vyhodnotené pomocou Waldových F-testov a stupne voľnosti v menovateli boli vypočítané pomocou aproximácie medzi-vnútri (uzatvorenie) implementovanej v *nlme*(Pinheiro a Bates 2000).

Párové porovnania post hoc boli vykonané pomocou Tukeyho postupu pre overenie významného rozdielu (HSD) s úpravou pre viacnásobné porovnania naprieč párovými kontrastmi. Štatistická významnosť bola stanovená na α = 0,05 a upravená *p*– hodnoty sú uvedené v podpornej tabuľkeS2Štatistické analýzy boli vykonané iba na údajoch korigovaných vzhľadom na východiskovú hodnotu a významné účinky sú v príslušných obrázkoch označené hviezdičkou.

Pohlavie a stav očí (EO vs. EC) boli pôvodne zahrnuté do plného modelu. Keďže ani jeden z nich nepreukázal významný hlavný účinok ani interakciu s expozíciou a ich zahrnutie významne nezmenilo odhady súvisiace s expozíciou, boli z finálnych redukovaných modelov odstránené, aby sa zlepšila stručnosť a jasnosť prezentácie.

V prípade stresových biomarkerov bolo do analýzy zahrnutých iba 33 subjektov (17 mužov, 16 žien) z celkového počtu 43 účastníkov. Vzorky slín 10 vylúčených subjektov boli spracované s použitím rôznych šarží ELISA platní s niekoľkomesačným oneskorením, čo mohlo viesť k variabilite medzi testami. Aby sa minimalizovalo potenciálne skreslenie z rozdielov medzi platňami a dlhodobého zmrazovania, tieto vzorky boli vylúčené.

Na základe zostávajúcich 33 subjektov bol pomocou GraphPad Prism (verzia 8.4.3) vytvorený model so zmiešanými efektmi na vyhodnotenie vplyvov času (Sal1, Sal2, Sal3 a Sal4), expozície 5 G a ich interakcie. Modely boli odhadnuté pomocou obmedzenej maximálnej pravdepodobnosti (REML) a fixné efekty boli vyhodnotené pomocou Waldových testov. Stupne voľnosti v menovateli boli vypočítané pomocou metódy rezíduí (založenej na chybách) implementovanej v procedúre so zmiešanými efektmi v Prism. Na posúdenie párových rozdielov medzi skupinami bol použitý Tukeyho test viacnásobného porovnania. Na zohľadnenie cirkadiánnych vplyvov na hladiny biomarkerov boli vzorky odobraté počas ranných sedení (*n*=25) boli analyzované oddelene od tých, ktoré boli zozbierané popoludní (*n*=8). Výsledky sú znázornené na obrázku3a podporný stôlS3.

3 | Výsledky

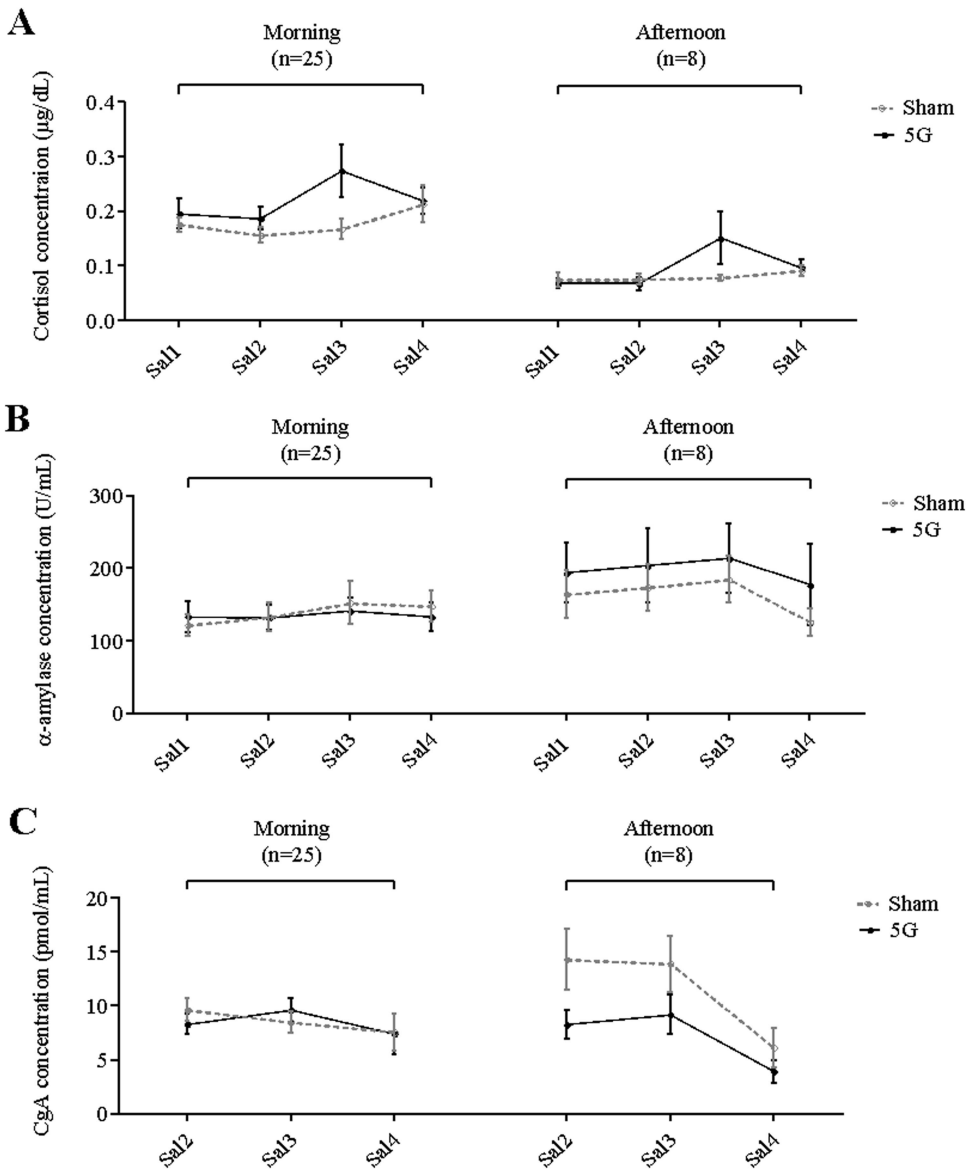
3.1 | Srdcové parametre

Vykonali sme obojsmerný model so zmiešanými efektmi (*n*=43) na vyhodnotenie indexov HRV na základe ich údajov korigovaných podľa východiskovej hodnoty. Čas (medzi behmi) a expozícia 5 G boli považované za fixné faktory, zatiaľ čo subjekty boli považované za náhodné účinky. Obrázok2zobrazuje globálne parametre HRV (**A**), hlavné indexy v časovej doméne (**B.**) a hlavné premenné vo frekvenčnej doméne (**C**). Úplné výsledky modelov so zmiešanými efektmi sú uvedené v doplňujúcich materiáloch, tabuľkaS1.

Dvojcestný model so zmiešanými efektmi odhalil významné účinky expozície 5 G pri 3,5 GHz na priemer RR intervalu, priemer srdcovej frekvencie (HR), indexy LF a HF ($F(1, 384) = 4,291$, p-hodnota = 0,0390, $\eta p^2 = 0,01$; $F(1, 384) = 4,696$, p-hodnota = 0,0308, $\eta p^2 = 0,01$; $F(1, 384) = 6,556$, p-hodnota = 0,0108, $\eta p^2 = 0,02$; $F(1, 384) = 3,975$, p-hodnota = 0,0469, $\eta p^2 = 0,01$). Tieto zistenia však neboli potvrdené nasledujúcim Tukeyho testom viacnásobného porovnania (upravenými p–hodnoty = 0,0770, 0,0598, 0,0505 a 0,1142).

Čo sa týka faktora času (medzi behmi), v SDNN bol zistený významný vplyv podľa 2-cestného modelu zmiešaných efektov ($F(4, 381) = 2,717$, p-hodnota = 0,0296, $\eta p^2 = 0,03$), RMSSD (F-hodnota (4, 381) = 2,482, p-hodnota = 0,0435, $\eta p^2 = 0,03$), LF v logaritmických hodnotách (F-hodnota (4, 381) = 5,638, p-hodnota = 0,0002, $\eta p^2 = 0,06$) a normálne jednotky (nu) (F-hodnota (4, 381) = 3,454, p-hodnota = 0,008, $\eta p^2 = 0,04$) a HF v normálnych jednotkách (nu) (F-hodnota (4, 381) = 3,443, p-hodnota = 0,008, $\eta p^2 = 0,03$). Napriek tomu iba SDNN (upravená p-hodnota = 0,0405), LF (upravený p-hodnota = 0,0345) a HF

1521186x, 2026, 5, Stiahnuté z https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bem.70056 spoločnosťou Cochrane Slovakia, Wiley Online Library dňa [30. 6. 2026]. Pravidlá používania nájdete v zmluvných podmienkach (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) na stránke Wiley Online Library. Články OA sa riadia príslušnou licenciou Creative Commons.



OBRÁZOK 3 | Biochemické výsledky stresových biomarkerov v slinách: kortizol (A), alfa-amyláza (B) a chromogranín-A (CgA) (C). Vzorky slín (Sal) boli odobraté v ranných a popoludňajších experimentálnych skupinách (25 a 8 subjektov). Preto boli analyzované samostatne. Údaje (n=33) sú zobrazené ako priemery ± SEM. Štatistická významnosť bola stanovená na α = 0,05 (2-cestný model zmiešaných efektov, po ktorom nasledoval Tukeyho test viacnásobného porovnania). Sal1 a Sal2 predstavujú vzorky odobraté pred „skutočnou" alebo „simulovanou" expozíciou 5 G. Sal3 a Sal4 označujú vzorky odobraté bezprostredne a 17 minút po expozícii.

(upravenép-hodnota = 0,0351) v normálnych hodnotách vykazovala významné účinky súvisiace s časovým faktorom (medzi behmi) medzi behom 3 (prvý beh expozičného obdobia) a behom 5 (posledný beh expozičného obdobia) po následnej štatistickej korekcii Tukeyho testom.

Interakcia medzi časovým faktorom (medzi behmi) a faktorom expozície 5 G však odhalila významný vplyv iba pre parameter RMSSD (F (4, 376) = 2,973,p-hodnota = 0,0194, ηp^2 = 0,03). Následný Tukeyho test ukázal, že tento významný výsledok je počas cyklu 05 (posledné expozičné obdobie v protokole) medzi „skutočnou" a „simulovanou" expozíciou (upravenáp-hodnota = 0,0404) (pozri obrázok2**B2**). Pre jednoduchosť však obrázky zobrazujú štatistickú významnosť faktora expozície 5 G iba vtedy, keď sa zistí po štatistickej korekcii Tukeyho testom.

Kompletné párové porovnania z Tukeyho post-hoc testu pre všetky parametre HRV, ktoré mali významný vplyv v modeli so zmiešanými efektmi, sú uvedené s ich upravenými$p$–hodnoty v podporných materiáloch TabuľkaS2.

3.2 | Biomarkery stresu

Podrobné výsledky modelov so zmiešanými efektmi sú uvedené v doplňujúcich materiáloch, tabuľkaS3Po obojsmernej zmiešanej analýze efektov v biomarkeroch kortizolu a CgA v dôsledku expozície 5 G sa nezistil žiadny významný účinok. Vzorky Sal3 odobraté bezprostredne po expozičnom období však vykazovali nevýznamný nárast hladín kortizolu počas skutočných expozičných sedení 5 G v ranných hodinách ($F_{(1\,000,\,24\,000)}$= 2 966, p-hodnota = 0,0979, ηp^2 = 0,11) a popoludní ($F_{(1\,000,\,7\,000)}$= 0,9179, p-hodnota = 0,3699, ηp^2 = 0,12)

1521186x, 2026, 5, Stiahnuté z https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bem.70056 spoločnosťou Cochrane Slovakia, Wiley Online Library dňa [30. 6. 2026]. Pravidlá používania nájdete v zmluvných podmienkach (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) na stránke Wiley Online Library. Články OA sa riadia príslušnou licenciou Creative Commons.

skupiny. Koncentrácie kortizolu sa vo vzorkách Sal4 odobratých 17 minút po ukončení expozície vrátili k východiskovým hodnotám. Tieto rozdiely však nedosiahli štatistickú významnosť, a to ani pred, ani po korekcii na viacnásobné porovnania.

V prípade AA výsledky ukazujú významný rozdiel iba v popoludňajších vzorkách ($F_{(1\,000,\ 7\,000)}$= 8,556;*p*-hodnota = 0,0222, ηp^2 = 0,55)). Po korekcii Tukeyho viacnásobnými porovnávacími testami sa však nepreukázala štatistická významnosť vo všetkých testovaných kombináciách.

Okrem toho, CgA vykazoval významný rozdiel v dôsledku času odberu vzorky ($F_{(1,627,\ 11,39)}$= 6,082; p = 0,0198, ηp^2 = 0,46). Tento rozdiel však nebol konzistentný v následnom Tukeyho korekčnom teste. Okrem toho interakcia medzi časovým faktorom a expozíciou 5 G neodhalila žiadne významné rozdiely. Obrázok3ilustruje výsledky troch analyzovaných molekúl.

4 | Diskusia

Predkladaná štúdia hodnotila vplyv expozície 3,5 GHz na autonómny nervový systém (ANS) u zdravých mladých dospelých. Preto boli na tento účel zvolené neinvazívne metódy. Časové a frekvenčné premenné srdcovej frekvencie (HRV) boli hodnotené z krátkych (150 s) EKG záznamov, ktoré pozostávali z dvoch po sebe nasledujúcich stavov s otvorenými (EO) a zatvorenými (EC) očami. Tento parameter bol získaný od 43 dobrovoľníkov (24 mužov a 19 žien) v pokojovej sediacej polohe, ktorí absolvovali dve sedenia - skutočné a simulované expozičné sedenia. Každé z týchto sedení zahŕňalo 3 obdobia: východiskové, expozičné a postexpozičné obdobie rozdelené do 7 cyklov.

Pre parametre HRV, po korekcii s východiskovou hodnotou a vylúčení nerelevantných údajov podľa stanovených smerníc (Coumel a kol. 1994Variabilita srdcovej frekvencie: Štandardy merania, fyziologická interpretácia a klinické použitie1996Shaffer a Ginsberg2017Catai a kol.2020), dvojcestný model so zmiešanými efektmi spočiatku odhalil významné hlavné účinky expozície 5 G pri 3,5 GHz na priemerný RR interval, priemernú srdcovú frekvenciu a parametre frekvenčnej domény (LF a HF indexy). Tieto účinky však neprežili Tukeyho post-hoc korekciu a veľkosti účinkov boli malé (ηp^2 = 0,01 – 0,02), čo naznačuje minimálny príspevok (1 – 2 %) expozície k pozorovanej variancii. Takéto malé účinky v kombinácii so stratou významnosti po korekcii naznačujú, že tieto zistenia pravdepodobne neodrážajú robustnú fyziologickú moduláciu.

Interakcia medzi časom a expozíciou bola významná iba pre RMSSD ($F_{(4\ 376)}$= 2,973,*p*=0,0194, ηp^2 = 0,03), pričom rozdiely post hoc sa vyskytli výlučne počas posledného expozičného cyklu (beh 05). Tento účinok bol izolovaný, malého rozsahu a nebol sprevádzaný zmenami v iných parasympatických indexoch (pNN50, HF výkon), čo zdôrazňuje jeho obmedzený fyziologický význam.

Okrem toho bola funkcia ANS hodnotená aj prostredníctvom vzoriek slín od 33 dobrovoľníkov (17 mužov a 16 žien) odobratých pred a po expozičnom období protokolu na analýzu kortizolu, alfa-amylázy a chromogranínu A. Tieto biomarkery sú známymi indikátormi akútneho stresu (Obayashi2013). Keďže tieto biomarkery sú riadené cirkadiánnym rytmom, vzorky získané ráno (*n*=25) a popoludní (*n*=8) sedení boli analyzované samostatne. Po štatistickej korekcii sa nezistili žiadne významné hlavné účinky ani interakcie súvisiace s expozíciou kortizolu, alfa-amylázy ani chromogranínu A. Hoci hladiny kortizolu merané bezprostredne po expozícii (Sal3) vykazovali nevýznamné zvýšenie v rannej (ηp^2 = 0,11) aj popoludňajšej (ηp^2 = 0,12) skupine, tieto účinky nedosiahli štatistickú významnosť a boli odvodené z relatívne malých veľkostí vzoriek, najmä v popoludňajšej podskupine (*n*=8). V malých vzorkách môžu byť čiastočné odhady η^2 nestabilné a môžu nadhodnocovať skutočný vplyv populácie. Okrem toho sa hodnoty kortizolu vrátili k východiskovej hodnote do 17 minút po expozícii. Preto tieto pozorovania neposkytujú spoľahlivý dôkaz aktivácie osi HPA.

Celkovo, hoci sa v malých podskupinách pozorovali niektoré hodnoty miernej až veľkej veľkosti účinku (ηp^2), žiadny z týchto účinkov neprežil korekciu pre viacnásobné porovnania a niekoľko z nich bolo odvodených z obmedzených veľkostí vzoriek. Naproti tomu účinky expozície v celej vzorke HRV (*n*=43) boli konzistentne malé ($\eta p^2 \leq 0{,}03$). Celkový priebeh výsledkov preto nepodporuje robustný alebo konzistentný účinok akútnej expozície 3,5 GHz na autonómne funkcie.

Podľa našich vedomostí je táto štúdia prvou, ktorá skúma parametre HRV počas a po expozícii 3,5 GHz pri úrovniach prostredia používaných na celom svete (Hinrikus a kol.2022 Selmaoui a kol.2021) v rámci regulačných limitov (ICNIRP)2020). Dosiahnuté hodnoty SAR (0,008 mW/kg pre mozog) však boli výrazne pod regulačnými limitmi a trvanie expozície (25,5 min) predstavuje krátkodobú expozíciu. V dôsledku toho sú porovnania s inými štúdiami obmedzené a zistenia sa nemusia zovšeobecniť na vyššiu expozíciu alebo dlhšie trvanie. Napriek tomu náš predchádzajúci výskum hodnotiaci emisie mobilných telefónov 2 G (900 MHz) nezistil žiadne významné rozdiely vo HRV medzi „skutočnými“ a „fiktívnymi“ sedeniami pred alebo po expozícii (Wallace a kol.2021). Na rozdiel od inej štúdie, „skutočné“ expozičné obdobie vykazovalo výrazne vyššie hodnoty SDNN, celkového spektrálneho výkonu a absolútneho spektrálneho výkonu LF (Wallace a kol.2020). Tieto zistenia však boli v danom výskume podľa autorov považované za náhodné kvôli multifaktoriálnym a komplexným mechanizmom, ktoré regulujú ANS. Okrem toho tieto výsledky mohli byť ovplyvnené rozdielmi v systémoch získavania údajov a analytických prístupoch v rôznych štúdiách.

Okrem toho aj iné štúdie na ľuďoch hodnotiace vplyv predchádzajúcich generácií RF na merania HRV preukázali nekonzistentné výsledky, pričom niektoré neuviedli žiadny vplyv alebo nepresvedčivé výsledky (Tahvanainen K a kol. 2004Wilén J a kol.2006Tamer a kol.2009Barutcu I a kol.2011 Wallace a kol.2021), iné preukázali účinky v rámci fyziologických rozsahov (Parazzini a kol.2007; Andrzejak a kol. 2008; Vegad a kol.2015Mišek a kol.2018Béres a kol.2018 Wallace a kol.2020Alassiri M a kol.2020).

Nedávna metaanalýza (Mansourian a kol.2023) skúmanie vplyvu RF na HRV zdôrazňuje, že metodologická heterogenita vrátane expozičných systémov a analytických metód prispieva k variabilným výsledkom. Autori pozorovali moduláciu aktivity ANS v hodnotených štúdiách so zníženou

1521186x, 2026, 5, Stiahnuté z https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bem.70056 spoločnosťou Cochrane Slovakia, Wiley Online Library dňa [30. 6. 2026]. Pravidlá používania nájdete v zmluvných podmienkach (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) na stránke Wiley Online Library. Články OA sa riadia príslušnou licenciou Creative Commons.

Hodnoty SDNN a pNN50 metrík HRV naznačujú zníženú účinnosť autonómnej kontroly pri vystavení elektromagnetickým poliam, a teda zvýšenú náchylnosť na stres. V našej štúdii izolovaný interakčný efekt RMSSD naznačuje jemnú, časovo závislú parasympatickú moduláciu, ktorá sa objavuje až po dlhodobých obdobiach expozície. Avšak v SDNN alebo pNN50% neboli pozorované žiadne zmeny, ako zdôraznila metaanalýza, čo naznačuje nedostatok robustnej parasympatickej modulácie pri krátkodobej expozícii rádiofrekvenčnému žiareniu. Okrem toho nedávne hodnotenia biomarkerov súvisiacich so stresom neposkytujú konzistentné dôkazy o tom, že vystavenie rádiofrekvenčnému žiareniu spúšťa aktiváciu osi hypotalamus-hypofýza-nadobličky (HPA). Komplexný prehľad od Selmaouiho a Touitoua (2021) dospeli k záveru, že zistenia týkajúce sa expozície rádiofrekvenčnému žiareniu a sekrécie kortizolu sú nekonzistentné a často obmedzené metodologickými obmedzeniami vrátane malej veľkosti vzoriek, heterogénnych expozičných podmienok a nedostatočnej kontroly cirkadiánnych vplyvov. Nedávno Verrender a kol. (2025) skúmali, či vystavenie RF-EMF moduluje reakcie slín na kortizol, a nepreukázali žiadne spoľahlivé dôkazy o tom, že by vystavenie vyvolávalo hormonálnu reakciu súvisiacu so stresom. Tieto štúdie spoločne naznačujú, že súčasné dôkazy u ľudí nepodporujú hypotézu, že vystavenie RF konzistentne aktivuje stresové dráhy sprostredkované kortizolom, čo zdôrazňuje potrebu opatrnej interpretácie izolovaných alebo nevýznamných zistení.

Porovnania medzi štúdiami zostávajú náročné kvôli metodologickým rozdielom (napr. frekvencia, trvanie expozície, dizajn štúdie) (Michelant a Selmaoui2025). Zostáva neisté, či by dlhšia alebo intenzívnejšia expozícia zosilnila, znížila alebo udržala pozorované účinky. Obmedzená dostupnosť výskumu špecifického pre 5G pri 3,5 GHz ďalej komplikuje interpretáciu. Celkovo výsledky nenaznačujú žiadne robustné alebo konzistentné účinky akútnej expozície 3,5 GHz na autonómne parametre alebo stresové biomarkery. Pozorované malé zmeny zostali v rámci normálnych fyziologických rozsahov (normatívne hodnoty pre srdcovú frekvenciu a variabilitu srdcovej frekvencie boli získané od Nunana a kol. (2010) a Shaffer a Ginsberg (2017), zatiaľ čo normatívne hodnoty pre kortizol, alfa-amylázu a chromogranín A boli založené na údajoch spoločnosti IBL International GmbH (2014,2024) a Yanaihara Institute Inc (2014), v uvedenom poradí) majú pravdepodobne obmedzený klinický význam. Na objasnenie potenciálnych účinkov sú potrebné rozsiahlejšie štúdie s predĺženým trvaním expozície, vyššími úrovňami SAR a dôkladnou pozornosťou venovanou viacerým porovnaniam.

Budúca práca kombinujúca HRV, biomarkery v slinách a ďalšie fyziologické merania pri dlhších expozíciách by mohla poskytnúť komplexnejší pohľad na jemné reakcie ANS na vystavenie rádiofrekvenčnému žiareniu 5 G. Tieto údaje by slúžili ako podklad pre bezpečnostné usmernenia, limity expozície a stratégie zmierňovania.

5 | Záver

Táto štúdia predstavuje nový prieskumný výskum zameraný na to, či akútne vystavenie žiareniu s frekvenciou 3,5 GHz a frekvenciou 5 G ovplyvňuje funkciu autonómneho nervového systému (ANS) u zdravých mladých dospelých v kontrolovaných laboratórnych podmienkach.

Celkovo sa nepozorovali žiadne robustné alebo konzistentné účinky expozície na variabilitu srdcovej frekvencie alebo biomarkery stresu v slinách.

po korekcii na viacnásobné porovnania. Jediným štatisticky významným zistením bol interakcia času a expozície pre RMSSD počas posledného expozičného cyklu; tento účinok však mal malý rozsah, bol izolovaný v jednom časovom bode a nebol podporený komplementárnymi parasympatickými indexmi. Preto by sa mal interpretovať opatrne a môže odrážať normálnu fyziologickú variabilitu alebo štatistický artefakt.

Podobne hladiny kortizolu, alfa-amylázy a chromogranínu A nevykazovali žiadnu konzistentnú moduláciu súvisiacu s expozíciou. Hoci sa v niektorých podskupinách pozorovali malé až stredné veľkosti účinkov, tieto zistenia neboli štatisticky robustné a boli odvodené z obmedzených veľkostí vzoriek. Všetky pozorované zmeny zostali v rámci normálnych fyziologických rozsahov a ich klinický význam nie je jasný.

Tieto závery sú obmedzené na skúmané špecifické podmienky expozície, a to krátkodobú expozíciu (25,5 min) pri nízkych úrovniach SAR (0,008 mW/kg pre mozog). Súčasné zistenia preto poskytujú skôr predbežné východiskové údaje o ľuďoch pri frekvencii 3,5 GHz než potvrdzujúci dôkaz biologických účinkov.

Na určenie, či je možné spoľahlivo zistiť jemné alebo kumulatívne autonómne účinky expozície 5G, bude potrebný ďalší výskum s použitím väčších kohort, dlhších trvaní expozície a starostlivo kontrolovaných štatistických prístupov.

Príspevky autorov

Džamal Layla:metodológia, výskum, kurátorstvo údajov, formálna analýza, vizualizácia, písanie – pôvodný návrh.**Michelant Lisa:**skúmanie, kurácia dát, formálna analýza, vizualizácia, softvér (kódovanie skriptu na úpravu dát (RR intervalov) získaných pomocou MNE-Pythonu na vstup vo vhodnom formáte a pomoc s kódovaním štatistických a grafických skriptov), písanie – kontrola a úprava.**Delanaud Stéphane:**metodika, zdroje, validácia (EKG údaje).**Bodin Raphaël:**softvér (kódovanie skriptu na úpravu údajov (RR intervalov) získaných MNE-pythonom na vstup do softvéru Kubios). **Hugueville Laurent:**zdroje, analýzy pomoci.**Pavol Mazet:** zdroje.**Lévêque Philippe:**kvalifikácia expozície.**Baz Tamara:** softvér (kódovanie skriptov pre štatistické údaje (RR intervaly) a tvorba grafiky).**Stephan-Blanchard Erwan:**kurovanie údajov, validácia (EKG údaje), písanie – kontrola a úprava.**Selmaoui Brahim:**konceptualizácia, získavanie finančných prostriedkov, metodológia, administrácia projektu, validácia, zdroje, formálna analýza, písanie – kontrola a editácia, supervízia. Všetci autori si prečítali a súhlasili s finálnou verziou rukopisu.

Poďakovania

Autori ďakujú Dr. Renému DE-SEZEOVI (Oddelenie experimentálnej toxikológie a modelovania (TEAM), INERIS), Dr. Cléovi BODINOVOVI (TEBBY) (Oddelenie experimentálnej toxikológie a modelovania (TEAM), INERIS) a Dr. Pierrovi TOURNEUXOVI (Jednotka pediatrickej intenzívnej starostlivosti, Univerzitné lekárske centrum Amiens; Laboratórium PériTox UMR_I 01, UFR de Médecine, Univerzita Picardie Jules Verne) za klinickú podporu, ako aj pani Amandine CARRIEOVEJ za technickú podporu počas získavania údajov. Tento projekt získal finančné prostriedky z výskumného a inovačného programu Európskej únie Horizont Európa v rámci grantovej zmluvy č. 101057262. Vyjadrené názory a stanoviská sú však výlučne názormi autorov a nemusia nevyhnutne odrážať názory Európskej únie alebo Európskej výkonnej agentúry pre zdravie a digitálne technológie. Ani Európska únia, ani orgán poskytujúci grant za ne nenesú zodpovednosť. Okrem toho, prostredníctvom programu 190 INERIS, francúzske ministerstvo pre ekologickú a inkluzívnu transformáciu finančne

1521186x, 2026, 5, Stiahnuté z https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bem.70056 spoločnosťou Cochrane Slovakia, Wiley Online Library dňa [30. 6. 2026]. Pravidlá používania nájdete v zmluvných podmienkach (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) na stránke Wiley Online Library. Články OA sa riadia príslušnou licenciou Creative Commons.

podporil projekt. Financovanie publikácií s otvoreným prístupom poskytla spoločnosť COUPERIN CY26.

Konflikty záujmov

Autori vyhlasujú, že nemajú žiadny konflikt záujmov.

Vyhlásenie o dostupnosti údajov

Údaje, ktoré podporujú zistenia tejto štúdie, sú k dispozícii od príslušného autora na základe primeranej žiadosti. Európske konzorcium pre projekt GOLIAT zriadi neziskové úložisko pre prístup ku všetkým nespracovaným údajom:https://projectgoliat.eu/publications/.

Referencie

Ackerman, MJ 1998. „Projekt viditeľného človeka.“*Zborník z IEEE*86: 504–511.

Alassiri, M., A. Alanazi, H. Aldera a kol. 2020. „Vystavenie mobilným telefónom znižuje variabilitu srdcovej frekvencie u študentov medicíny s normálnou hmotnosťou aj u obéznych študentov s normálnym krvným tlakom.“*Preskúmať*16, č. 4: 264–270.

Barutcu, I., AM Esen, D. Kaya a kol. 2011. „Predstavujú mobilné telefóny potenciálne riziko pre autonómnu moduláciu srdca?“*Stimulácia a klinická elektrofyziológia*34, č. 11: 1511–1514.

Béres, S., Á. Németh, Z. Ajtay, I. Kiss, B. Németh a L. Hejjel. 2018. „Ožiarenie hlavy mobilným telefónom ovplyvňuje variabilitu srdcovej frekvencie v závislosti od pomeru nádychu a výdychu.“*In vivo*32, č. 5: 1145–1153.

Braune, S., A. Riedel, J. Schulte-Mönting a J. Raczek. 2002. „Vplyv rádiofrekvenčného elektromagnetického poľa na kardiovaskulárne a hormonálne parametre autonómneho nervového systému u zdravých jedincov.“*Radiačný výskum*158, č. 3: 352–356.https://doi.org/10. 1667/0033-7587(2002)158[0352:ioaref]2.0.co;2.

Catai, AM, CM Pastre, MF Godoy, E. Silva, ACM Takahashi a LCM Vanderlei. 2020. „Variabilita srdcovej frekvencie: Používate ju správne? Kontrolný zoznam postupov pre štandardizáciu.“*Brazílsky časopis fyzioterapie*24, č. 2: 91–102.https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2019.02.006.

Coumel, P., P. Maison-blanche a D. Catuli. 1994. „Srdcová frekvencia a variabilita srdcovej frekvencie u zdravých mladých dospelých.“*Časopis kardiovaskulárnej elektrofyziológie*5, č. 11: 899–911.https://doi.org/10.1111/j.1540-8167.1994.tb01130.x.

Cygankiewicz, I. a W. Zareba. 2013. „Kapitola 31 – Variabilita srdcovej frekvencie.“ In*Príručka klinickej neurológie*, editovali RM Buijs a DF Swaab, 117, 379–393. Elsevier.https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53491-0.00031-6.

D'amico, MA, B. Ghinassi, P. Izzicupo, L. Manzoli a A. Di Baldassarre. 2014. „Biologická funkcia a klinický význam chromogranínu A a odvodených peptidov“.*Endokrinné spojenia*3, č. 2: R45–R54.https://doi.org/10.1530/EC-14-0027.

Esen, F. a H. Esen. 2006. „Vplyv elektromagnetických polí vyžarovaných mobilnými telefónmi na latenciu evokovanej elektrodermálnej aktivity.“ *Medzinárodný časopis neurovedy*116: 321–329.

Európska komisia. 2022.*SCHEER* –Verejná konzultácia k predbežnému stanovisku k vedeckým dôkazom o rádiofrekvencii. Generálne riaditeľstvo pre zdravie a bezpečnosť potravín.https://health.ec.europa.eu/consultations/scheer-public-consultation-preliminaryopinion-scientific-evidence-radiofrequency_en.

Gabriel, C. 1996.*Zostavenie dielektrických vlastností telesných tkanív pri RF a mikrovlnných frekvenciách*USA: Stredisko technických informácií obrany: Fort Belvoir, Virgínia.

Gabriel, S., RW Lau a C. Gabriel. 1996. „Dielektrické vlastnosti biologických tkanív: Iii. Parametrické modely pre dielektrické spektrum tkanív.“*Fyzika v medicíne a biológii*41: 2271–2293.

Geronikolou, SA, Ölle Johansson, G. Chrousos, C. Kanaka-Gantenbein a D. Cokkinos. 2020. „Vek používateľa mobilného telefónu alebo trvanie hovorov - mierne poškodenie autonómneho nervového systému? Metaanalýza.“ In *GeNeDis 2018*, editoval P. Vlamos, 475–488. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32622-7_46.

Ghosn, R., L. Yahia-Cherif, L. Hugueville a kol. 2015 1. apríla „Rádiofrekvenčný signál ovplyvňuje pásmo alfa v pokojovom elektroencefalograme.“ *Časopis neurofyziológie*113, č. 7: 2753–2759. https://doi.org/10.1152/jn.00765.2014.

Hardell, L. a M. Carlberg. 2020. „Komentár] Zdravotné riziká vyplývajúce z rádiofrekvenčného žiarenia vrátane 5G by mali posudzovať odborníci bez konfliktu záujmov.“*Onkologické listy*20, č. 4: 15. https://doi.org/10.3892/ol.2020.11876.

Variabilita srdcovej frekvencie: Štandardy merania, fyziologická interpretácia a klinické použitie. 1996. „Pracovná skupina Európskej kardiologickej spoločnosti a Severoamerickej spoločnosti pre stimuláciu a elektrofyziológiu.“*Obeh*93, č. 5: 1043–1065.

Hellhammer, DH, S. Wüst a BM Kudielka. 2009. „Slinný kortizol ako biomarker vo výskume stresu.“*Psychoneuroendokrinológia*34, č. 2: 163–171.https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2008.10.026.

Hinrikus, H., T. Koppel, J. Lass, P. Roosipuu a M. Bachmann. 2023. „Obmedzenie vystavenia rádiofrekvenčnému žiareniu: Zásady a možné kritériá ochrany zdravia.“*Medzinárodný časopis radiačnej biológie*99, č. 0: 1167–1177.https://doi.org/10.1080/09553002.2023.2159567.

Hori, K., M. Yamakawa, N. Tanaka, H. Murakami, M. Kaya a S. Hori. 2005. „Vplyv zvuku a svetla na variabilitu srdcovej frekvencie.“*Časopis pre ľudskú ergológiu*34, č. 1 – 2: 25 – 34.https://doi.org/10. 11183/jhe1972.34.25.

IBL International GmbH. 2024. Návod na použitie testu ELISA na kortizol v slinách (RE52611)*(Verzia 2024-02) [PDF]*IBL-International.https://ibl-international.com/media/mageworx/downloads/attachment/file/r/e/re52611_ifu_eu_en_cortisol_saliva_elisa_2024-02_sym9.pdf.

ICNIRP. 2020. „Pokyny pre obmedzenie vystavenia elektromagnetickým poliam (100 kHz až 300 GHz).“*Zdravotná fyzika*118, č. 5: 483–524. https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001210.

Medzinárodná telekomunikačná únia. 2023.*Štatistiky*Medzinárodná telekomunikačná únia.https://www.itu.int:443/en/ITU-D/ Statistics/Pages/stat/default.aspx.

Jamal, L., L. Michelant, S. Delanaud a kol. 2024 Dec. „Reakcie autonómneho nervového systému na vystavenie prvému nasadenému pásmu 5G (3,5 GHz) na úrovni prostredia u zdravých ľudských dobrovoľníkov.“ *Experimentálna fyziológia*109, č. 12: 2122–2133.https://doi.org/10. 1113/EP092083.

Jamal, L., L. Yahia-Cherif, L. Hugueville, P. Mazet, P. Lévêque a B. Selmaoui. 2023. „Hodnotenie elektrickej mozgovej aktivity zdravých dobrovoľníkov vystavených signálom 5G s frekvenciou 3,5 GHz v rámci úrovní prostredia: Kontrolovaná randomizovaná štúdia.“*Medzinárodný časopis pre environmentálny výskum a verejné zdravie*20, č. 18: 6793.https://doi.org/10.3390/ijerph20186793.

Kim, H.-G., E.-J. Cheon, D.-S. Bai, YH Lee a B.-H. Koo. 2018. „Stres a variabilita srdcovej frekvencie: Metaanalýza a prehľad literatúry.“ *Psychiatrické vyšetrenie*15, č. 3: 235–245.https://doi.org/ 10.30773/pi.2017.08.17.

Mansourian, M., H. Marateb, R. Nouri a M. Mansourian. 2023. „Vplyv umelo vytvorených elektromagnetických polí na parametre variability srdcovej frekvencie u širokej verejnosti: Systematický prehľad a metaanalýza experimentálnych štúdií.“*Recenzie na tému environmentálne zdravie*39: 603–616.https://doi.org/10.1515/reveh-2022-0191.

Michelant, L. a B. Selmaoui. 2025. „Vplyv rádiofrekvenčných elektromagnetických polí na srdcovú aktivitu v pokoji: Systematický prehľad štúdií na zdravých ľuďoch.“*Bioelektromagnetika*46, č. 5: e70014.https://doi.org/10.1002/bem.70014.

1521186x, 2026, 5, Stiahnuté z https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bem.70056 spoločnosťou Cochrane Slovakia, Wiley Online Library dňa [30. 6. 2026]. Pravidlá používania nájdete v zmluvných podmienkach (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) na stránke Wiley Online Library. Články OA sa riadia príslušnou licenciou Creative Commons.

Misek, J., I. Beljajev, V. Jakušová, I. Tonhajzerová, J. Barabas a J. Jakuš. 2018. „Variabilita srdcovej frekvencie ovplyvnená rádiofrekvenčným elektromagnetickým poľom u dospievajúcich študentov.“ *Bioelektromagnetika*39, č. 4: 277–288.https://doi.org/10.1002/bem.22115.

Nater, UM, N. Rohleder, W. Schlotz, U. Ehlert a C. Kirschbaum. 2007. „Určujúce faktory denného priebehu slinnej alfa-amylázy.“ *Psychoneuroendokrinológia*32, č. 4: 392–401.https://doi.org/10.1016/j. psyneuen.2007.02.007.

Nunan, D., GRH Sandercock a DA Brodie. 2010. „Kvantitatívny systematický prehľad normálnych hodnôt krátkodobej variability srdcovej frekvencie u zdravých dospelých.“*Stimulácia a klinická elektrofyziológia*33, č. 11: 1407–1417.https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2010.02841.x.

Obayashi, K. 2013. „Proteíny slinných žliaz spôsobujúce duševný stres.“*Clinica Chimica Acta*425: 196–201.https://doi.org/10.1016/j.cca.2013.07.028.

Parazzini, M., P. Ravazzani, G. Tognola a kol. 2007. „Elektromagnetické polia produkované mobilnými telefónmi GSM a variabilita srdcovej frekvencie.“ *Bioelektromagnetika*28, č. 2: 122–129.

Parizek, D., N. Višňovcová, K. Hamza Sladiceková, et al. 2023. "Elektromagnetické polia — predstavujú kardiovaskulárne riziko?" *Fyziologický výskum*72, č. 2: 199–208.

Pinheiro, JC a D. M. Bates. 2000.*Modely so zmiešanými efektmi v S a S-PLUS*, 1. vyd. Springer.

Russell, CL 2018. „Rozšírenie bezdrôtových telekomunikácií 5 G: Dôsledky pre verejné zdravie a životné prostredie.“*Environmentálny výskum*165: 484–495.https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.01.016.

Selmaoui, B., S. Andrianome, R. Ghosn a R. de Seze. 2018. „Vplyv akútnej expozície rádiofrekvenčným elektromagnetickým poliam vyžarovaným mobilným telefónom (GSM 900 MHz) na elektrodermálnu citlivosť u zdravého človeka.“*Medzinárodný časopis radiačnej biológie*94, č. 10: 890–895.https://doi.org/10.1080/09553002.2018.1503431.

Selmaoui, B., P. Mazet, P.-B. Petit, K. Kim, D. Choi a R. de Seze. 2021. „Vystavenie juhokórejského obyvateľstva mobilným telefónnym sieťam 5G (3,4 – 3,8 GHz).“*Bioelektromagnetika*42, č. 5: 407–414.https://doi.org/10.1002/bem.22345.

Selmaoui, B. a Y. Touitou. 2021. „Súvislosť medzi vystavením žiareniu z mobilných telefónov a sekréciou melatonínu a kortizolu, dvoch markerov cirkadiánneho systému: Prehľad.“*Bioelektromagnetika*42, č. 1: 5–17.https://doi.org/10.1002/bem.22310.

Shaffer, F. a JP Ginsberg. 2017. „Prehľad metrík a noriem variability srdcovej frekvencie.“*Hranice verejného zdravia*5: 258. https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258.

Tahvanainen, K., J. Niño, P. Halonen a kol. 2004. „Používanie mobilných telefónov nemá akútny vplyv na krvný tlak ani na srdcovú frekvenciu u ľudí.“ *Bioelektromagnetika*25: 73–83.https://doi.org/10.1002/bem.10165.

Takai, N., M. Yamaguchi, T. Aragaki, K. Eto, K. Uchihashi a Y. Nishikawa. 2004. „Vplyv psychologického stresu na hladiny kortizolu a amylázy v slinách u zdravých mladých dospelých.“*Archív ústnej biológie*49, č. 12: 963–968.https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2004.06.007.

Tamer, A., H. Gündüz a S. Özyıldırım. 2009. „Účinky mobilného telefónu umiestneného najbližšie k srdcu na srdce.“*Anatolian Journal of Cardiology/Anadolu Kardiyoloji Dergisi*9, č. 5).

Tarvainen, poslanec, J. Lipponen, J.-P. Niskanen a PO Ranta-aho. 2021. *Príručka_používateľov_Kubios_HRV*.pdf.https://www.kubios.com/downloads/Kubios_HRV_Users_Guide.pdf.

Vegad, A., Y. Kacha, M. Varu, H. Mehta a C. Shah. 2015. „Vplyv žiarenia z mobilných telefónov na variabilitu srdcovej frekvencie zdravých mladých jedincov.“*Medzinárodný časopis klinickej a experimentálnej fyziológie* 2, č. 1: 23.

Verrender, A., J. Manley, NK Wallace, SP Loughran a RJ Croft. 2025. „Hľadanie biomarkerov, ktoré môžu vysvetliť idiopatickú environmentálnu intoleranciu pripisovanú elektromagnetickému žiareniu.“ Polia (Iei-Emf): Ovplyvňuje expozícia Rf-Emf reakciu kortizolu v slinách?*Bioelektromagnetika*46, č. 6: e70021.https://doi.org/10. 1002/bem.70021.

Vining, RF, RA McGinley, JJ Maksvytis a KY Ho. 1983. „Slinný kortizol: Lepšie meradlo funkcie kôry nadobličiek ako sérový kortizol.“*Annals of Clinical Biochemistry: Medzinárodný časopis laboratórnej medicíny* 20: 329–335.https://doi.org/10.1177/ 000456328302000601.

Wallace, J., S. Andrianome, R. Ghosn, ES Blanchard, F. Telliez a B. Selmaoui. 2020. „Variabilita srdcovej frekvencie u zdravých mladých dospelých vystavených rádiofrekvenčnému signálu globálneho systému mobilnej komunikácie (GSM) s frekvenciou 900 MHz z mobilných telefónov.“*Environmentálny výskum* 191: 110097.https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110097.

Wallace, J., L. Yahia-Cherif, C. Gitton, L. Hugueville, J.-D. Lemaréchal a B. Selmaoui. 2021. „Modulácia aktivity alfa pásma magnetoencefalografie rádiofrekvenčným elektromagnetickým poľom zobrazeným v priestore senzora a zdroja.“*Vedecké správy*11, č. 1: 23403.https://doi.org/10.1038/s41598-021-02560-0.

Wallace, J., L. Yahia-Cherif, C. Gitton, L. Hugueville, J.-D. Lemaréchal a B. Selmaoui. 2022. „EEG v pokojovom stave a vystavenie sa rádiofrekvenčnému GSM mobilnému telefónu: Vplyv individuálnej alfa frekvencie.“*Medzinárodný časopis radiačnej biológie*98, č. 5: 986–995.https://doi.org/10.1080/09553002.2021.2009146.

Weller, S. a JE McCredden. 2024. „Pochopenie verejných hlasov a výskumníkov, ktorí sa vyjadrujú k naratívu 5G.“*Hranice verejného zdravia*11: 1339513.https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1339513.

Wilén, J., A. Johansson, N. Kalezic, E. Lyskov a M. Sandström. 2006. „Psychofyziologické testy a provokácia subjektov so symptómami súvisiacimi s mobilným telefónom.“*Bioelektromagnetika*27: 204–214. https://doi. org/10.1002/bem.20195.

Yanaihara Institute Inc. (9. septembra 2014). Súprava YK070 EIA pre ľudský chromogranín A: Návod na použitie.https://www.yanaihara-inc.com/englishdata/kit_manual_abs/YK070_Human-CgA_eng_080422.pdf.

Podporné informácie

Ďalšie podporné informácie nájdete online v sekcii Podporné informácie.
Podporný súbor 1:bem70056-up-5GHUMEXPO_5G_ECG_BIO-MARKERY_REVIEWED_ARTICLE_SUPP_MATERIALS.docx.

1521186x, 2026, 5, Stiahnuté z https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bem.70056 spoločnosťou Cochrane Slovakia, Wiley Online Library dňa [30. 6. 2026]. Pravidlá používania nájdete v zmluvných podmienkach (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) na stránke Wiley Online Library. Články OA sa riadia príslušnou licenciou Creative Commons.