Translated from English to Slovak - www.onlinedoctranslator.com

UNIVERSIDAD DEL ZULIA
Serbiluz Sistema de Servicios Bibliotecarios y de Información
Biblioteca Digital Repositorio Académico

https://doi.org/10.52973/rcfcv-e363968 Revista Científica, FCV-LUZ / Vol. XXXVI

Účinky chronickej jedno- a dvojpásmovej rádiofrekvenčnej expozície na priestorové učenie a zachovanie pamäte u rastúcich samcov potkanov

Efectos de la exposición crónica a radiofrecuencias de banda simple y doble sobre el aprendizaje espacial y la retención de la memoria en ratas macho en desarrollo

Souad Boumaiza [1,2]* ***Abdelouahab Bouzidi*** [1] ***Saddek Bouharati*** [3] ***Amel Ferahtia*** [4] ***Hanane Abed*** [4]

[1]*Univerzita Ferhata Abbasa v Setif 1, Fakulta prírodných vied a biológie, Katedra biochémie. Setif 1, Alžírsko.*
[2]*Univerzita Mohameda El Bachira El Ibrahimiho, Fakulta vied o prírode, živote, Zemi a vesmíre, Katedra potravinárskych vied, Bordj Bou Arreridj, Alžírsko.*
[3]*Univerzita Ferhata Abbasa v Setif 1, Technologická fakulta, Laboratórium inteligentných systémov. Setif 1, Alžírsko.*
[4]*Univerzita Mohameda El Bachira El Ibrahimiho, Fakulta vied o prírode, živote, Zemi a vesmíre, Katedra biologických vied, Bordj Bou Arreridj, Alžírsko.*
*Korešpondujúci autor:*souad.boumaiza.dz@gmail.com

ABSTRAKT

Rádiofrekvenčné elektromagnetické polia sa v každodennom živote čoraz viac prejavujú v dôsledku rozsiahleho používania bezdrôtových technológií. Ich dlhodobé účinky na kognitívne funkcie však zostávajú nedostatočne pochopené, najmä pri opakovanom vystavení viacfrekvenčnému žiareniu. Táto štúdia skúmala účinky chronickej expozície rádiofrekvenčným poliam s frekvenciou 800 MHz, 900 MHz a sekvenčnej expozície s frekvenciou 800/900 MHz na priestorové učenie a pamäť u rastúcich samcov potkanov kmeňa Wistar. Zvieratá boli rozdelené do štyroch skupín: simulovaná expozícia, expozícia s frekvenciou 800 MHz, 900 MHz a sekvenčná expozícia s frekvenciou 800/900 MHz. Expozície boli podávané 6 dní v týždni počas 4 mesiacov. Priestorové učenie a pamäť boli hodnotené pomocou Morrisovho vodného bludiska. Počas fázy akvizície potkany absolvovali štyri pokusy denne počas piatich po sebe nasledujúcich dní a bola zaznamenávaná latencia úniku. Zachovanie pamäte bolo hodnotené počas sondážneho pokusu meraním času stráveného v cieľovom kvadrante a prechodmi medzi platformami a miestami. Latencia úniku sa vo všetkých skupinách počas tréningových dní významne znížila, čo naznačuje zachovanie akvizície učenia. Počas fázy akvizície nebol pozorovaný žiadny významný vplyv expozície. Naproti tomu analýza sondových pokusov odhalila významné skrátenie času medzi cieľovým kvadrantom a skupinou so sekvenčnou expozíciou 800/900 MHz v porovnaní so zvieratami s placebom a zvieratami s frekvenciou 800 MHz, zatiaľ čo prechody medzi platformou a miestom neboli významne ovplyvnené. Celkovo chronická expozícia rádiofrekvenciám nezhoršila priestorové učenie, ale sekvenčná expozícia frekvenciám 800 a 900 MHz bola spojená so zníženou retenciou priestorovej pamäte.

Kľúčové slová:Rádiofrekvencie; Rádiofrekvenčné elektromagnetické expozícia poľom; behaviorálne testovanie; priestorové učenie; Morrisovo vodné bludisko

ŽIVOTOPIS

Los campos electromagnéticos de radiofrecuencia están cada vez más presentes en la vida cotidiana debido al amplio uso de las tecnologías inalámbricas. Sin embargo, sus efectos a largo plazo sobre las funciones cognitivas aún no se comprenden completamente, especialmente en condiciones de exposición repetida a múltiples frecuencias. Prezentované výskumné štúdie pre efekty pre kráľovskú a elektromagnetickú rádiovú frekvenciu 800 MHz, 900 MHz a sekvenčnú expozíciu 800/900 MHz so zreteľom na aprendizaje espacial a la machostar encre. Los animales fueron divididos en cuatro group: control simulado, 800 MHz, 900 MHz and exposición secuención 800/900 MHz. Realizované výstavy sú pred 6 dňami pred 4 mesiacmi. Sprostredkované hodnotenie akurátnej acuátnej morrisovej akutánnej pamäte. Durante la fase de adquisición, las ratas realizaron cuatro ensayos por día durante cinco días consecutivos y se registró la latencia de escape. La retención de la memoria se evaluó durante la prueba de sonda mediante la medición del tiempo pasado en el cuadrante objetivo y el número de cruces sobre la ubicación previa de la plataforma. Latencia de escape disminuyó significativamente a lo largo de los días de entrenamiento en todos los grupos, lo que indica una preservación del aprendizaje de adquisición. No se observó un efecto significativo de la exposición durante la fase de adquisición. V kontraste, el análisis de la prueba de sonda mostró una reducción significativa del tiempo pasado en el cuadrante objetivo en el el group de exposición secuencial 800/900 MHz a comparación con los animales control y los expuestos a mienes cesmer de 800 MHz plataforma no mostró diferencias significativas. V spojení, la exposición crónica a radiofrecuencia no alteró el aprendizaje espacial durante la adquisición, pero la exposición secuencial and 800 y 900 MHz with a cona una disminución de la retención de la memoria espacial.

Kľúčové slová: Campos electromagneticos de radiofrecuencia; Exposición a radiofrecuencia; Aprendizaje espacial; Retención de la memoria; Laberinto acuático de Morris

Prijaté: 11. 4. 2026 Prijaté: 30. 7. 2026 Publikované: 25. 8. 2026

CC BY NC SA

ÚVOD

V súčasnosti sú ľudia a zvieratá neustále obklopení rádiofrekvenčnými elektromagnetickými poľami (RF-EMF) z rôznych zdrojov vrátane mobilných telefónov, signálov Wi-Fi a antén [1 ,2]. V dôsledku toho sa venuje čoraz väčšia pozornosť „elektromagnetickému znečisteniu“ ako potenciálnemu environmentálnemu stresoru, najmä u mladých organizmov, ktoré môžu byť vystavené včasnému a opakovanému pôsobeniu [2 ,3].

Experimentálne štúdie naznačujú, že vystavenie RF-EMF môže ovplyvniť biologické systémy, hoci hlásené zistenia zostávajú nekonzistentné v závislosti od experimentálneho modelu a podmienok expozície [3]. Predchádzajúce výskumy opísali zmeny v oxidačnom stave, tkanivových biomarkeroch, fyziologických reakciách a neurobehaviorálnych funkciách po vystavení RF-EMF [4 , 5 ,6]. Rozdiely v dozimetrii, trvaní expozície a experimentálnych protokoloch však komplikujú interpretáciu týchto účinkov a zdôrazňujú potrebu štandardizovaných prístupov [7].

Nervový systém sa považuje za jeden z hlavných cieľov vystavenia RF-EMF, pretože kognitívne procesy, ako je učenie a pamäť, závisia od synaptickej plasticity a sú obzvlášť citlivé na oxidačný stres [1 ,3]. Medzi dostupnými behaviorálnymi prístupmi je Morrisovo vodné bludisko (MWM) všeobecne uznávané ako spoľahlivá metóda na hodnotenie priestorového učenia a pamäte u hlodavcov [8 ,9 ,10]. Napriek tomu štúdie skúmajúce účinky RF-EMF na kogníciu priniesli rôznorodé výsledky, pričom niektoré uvádzajú poruchy správania, zatiaľ čo iné nezistili žiadne významné zmeny [11].

Ďalším problémom je ekologický význam. V každodennom živote vystavenie RF-EMF zriedka pochádza z jedného zdroja alebo jedného frekvenčného pásma. Namiesto toho je pravdepodobnejšie, že organizmy sa v priebehu času stretnú s rôznymi signálmi. Z tohto dôvodu môže zahrnutie viacerých frekvenčných pásiem v rámci toho istého experimentálneho návrhu ponúknuť realistickejšiu aproximáciu skutočných podmienok expozície [2 ,7].

V tejto súvislosti sa v predloženej štúdii hodnotili účinky celotelovej expozície RF-EMF na behaviorálne výsledky u rastúcich samcov albínskych potkanov kmeňa Wistar. Priestorové učenie a pamäť boli skúmané v MWM po chronickej expozícii 800 MHz, 900 MHz alebo sekvenčnej dvojpásmovej expozícii (800 MHz a následne 900 MHz). Keďže expozičný systém sa spoliehal na jeden generátor RF-EMF, tieto dve frekvencie nemohli byť dodávané súčasne. Preto bol na modelovanie opakovanej viacpásmovej expozície za kontrolovaných podmienok prijatý sekvenčný expozičný dizajn.

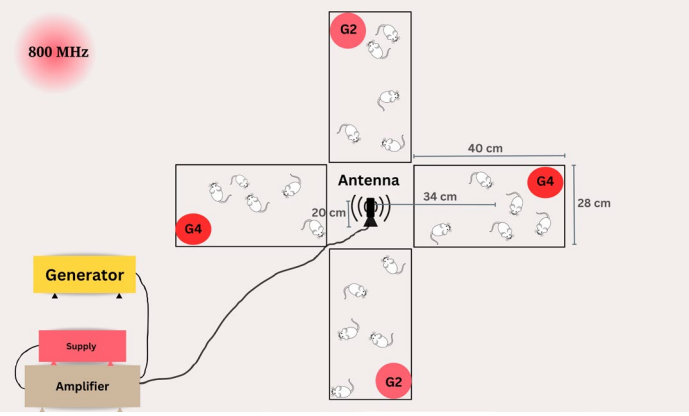
MATERIÁL A METÓDY

Zvieratá

Štyridsať (40) samcov albínskych potkanov kmeňa Wistar (*Rattus norvegicus*) boli získané z Pasteur Institute, zariadenia pre zvieratá (Alžírsko). Zvieratá boli chované v štandardných klietkach za kontrolovanej izbovej teploty a prirodzenej fotoperiódy (5 potkanov na klietku). Bola im poskytnutá voda z vodovodu a granulované krmivo.*ad libitum*Po 15 dňoch (d) aklimatizácie boli zvieratá náhodne rozdelené do štyroch skupín (n = 10 v každej skupine). Na začiatku expozičnej fázy bola telesná hmotnosť v priemere okolo 145 g (rozsah: 110 – 169 g).

Systém rádiofrekvenčnej expozície

Na vykonanie experimentu bola vygenerovaná expozícia RF-EMF pomocou generátora signálu (Eurotek SG1000, 1 GHz, Taliansko), napájacieho zdroja (MeanWell NES–100–24, Čína), RF zosilňovača a antény (Siemens S30861–Q2253–X–14/01, Nemecko) a ôsmich nekovových klietok (40 × 28 × 17 cm, D × Š × V), pričom v každej bolo päť zvierat (obr. 1). Výkon systému bol overený pred prvou expozičnou sedením.



OBRÁZOK 1. Schematické znázornenie systému expozície RF-EMF. G2 a G4 boli vystavené frekvencii 800 MHz počas 3 hodín denne.$^{-1}$, zatiaľ čo G 3 a G 4 boli následne vystavené frekvencii 900 MHz počas ďalších 3 hodín denne^{-1}

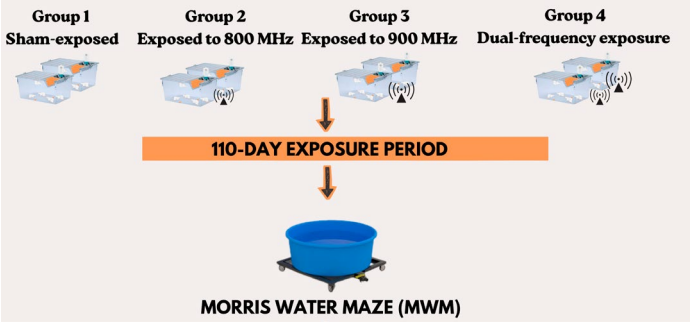
Experimentálny dizajn

Počas expozície boli zvieratá umiestnené v sekundárnej komore udržiavanej za rovnakých podmienok prostredia ako hlavná ustajňovacia miestnosť. Stručne povedané, zvieratá boli rozdelené do štyroch skupín (G):

- G 1: Kontrolná skupina s placebom
- G 2: Skupina vystavená frekvencii 800 MHz (3 h·d^{-1})
- G 3: Skupina vystavená frekvencii 900 MHz (3 h·d^{-1})
- G 4: Skupina so sekvenčnou dvojfrekvenčnou expozíciou (800 MHz počas 3 h·d^{-1}nasledované 900 MHz počas 3 hodín^{-1}spolu: 6 h·d^{-1})

Zvieratá boli vystavené 6 dní týždenne počas 4 mesiacov. Štvrtá skupina bola zaradená na vyhodnotenie účinkov opakovaného vystavenia dvom RF frekvenčným pásmam v rámci toho istého experimentálneho protokolu. Tento návrh mal lepšie odrážať reálne podmienky vystavenia, kde sú organizmy typicky vystavené viacerým RF zdrojom a nie jednému signálu. Keďže expozičný systém používal jeden RF-EMF generátor, súčasné vystavenie obom frekvenciám nebolo možné. Zvieratá v tejto skupine boli preto za identických experimentálnych podmienok postupne vystavené frekvencii 800 MHz a následne 900 MHz.

Priestorové učenie a pamäť boli hodnotené pomocou MWM v 110. deň protokolu (obr. 2).



OBRÁZOK 2. Experimentálny návrh chronickej expozície RF-EMF

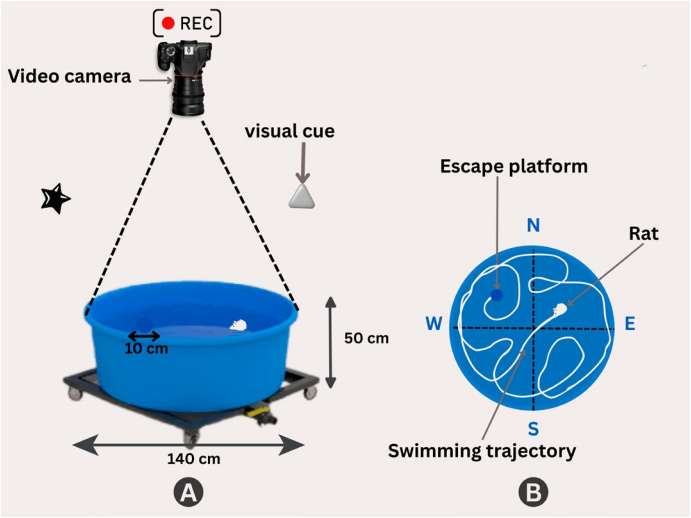
Úloha s Morrisovým vodným bludiskom

MWM je široko používaný behaviorálny test na hodnotenie priestorového učenia a pamäte u hlodavcov. Úloha je založená na schopnosti zvieraťa používať distálne vizuálne podnety na lokalizáciu skrytej ponorenej plošiny v kruhovom bazéne. Priestorové učenie sa hodnotí počas opakovaných akvizícií, zatiaľ čo zachovanie pamäte sa hodnotí v teste s použitím sondy po odstránení plošiny [10 ,12].

V tomto teste bola použitá modrá kruhová nádrž (priemer 140 cm, výška 50 cm) naplnená tmavou vodou do hĺbky 25 cm. Bludisko bolo umiestnené v miestnosti s viacerými vizuálnymi pomôckami pre priestorovú orientáciu. Priehľadná úniková plošina (10 × 10 × 22 cm) bola ponorená 3 cm pod hladinu vody (obr. 3) [13 ,14].

Potkany podstúpili štyri akvizičné pokusy denne počas piatich dní. V každom pokuse boli zvieratá uvoľnené z jednej zo štyroch náhodne vybraných východiskových pozícií, zatiaľ čo skrytá platforma zostala fixná. Každý pokus trval maximálne 60 sekúnd a bola zaznamenaná latencia úniku. Potkany, ktorým sa nepodarilo nájsť platformu v stanovenom čase, boli k nej jemne navedené a nechali sa tam zostať 10 sekúnd.

Sondovací pokus sa uskutočnil 5. deň. V tejto testovacej fáze sa platforma odstránila a potkany sa nechali voľne plávať 60 sekúnd. Zapamätanie si priestorovej pamäte sa hodnotilo meraním



OBRÁZOK 3. Prístroj Morrisovho vodného bludiska (MWM): 3D znázornenie (A), pohľad zhora (B)

čas strávený v cieľovom kvadrante a počet prechodov cez umiestnenie nástupišťa.

Všetky experimenty boli vykonané za rovnakých podmienok prostredia vrátane konštantného osvetlenia a teploty vody 22 ± 1 °C [8 ,12].

Štatistická analýza

Štatistické analýzy boli vykonané pomocou programu IBM SPSS Statistics verzie 27. Pred analýzou boli údaje skontrolované z hľadiska normality a homogenity rozptylu. Výsledky sú prezentované ako priemer ± SEM a štatistická významnosť bola stanovená na $P<0,05$.

Latencia úniku počas fázy akvizície bola analyzovaná pomocou lineárneho modelu so zmiešanými efektmi (LMM), pričom „expozícia“ bola faktorom medzi subjektmi a „deň“ faktorom opakovania. V prípade sondy bol čas strávený v cieľovom kvadrante a prechody medzi platformou a miestom porovnané medzi skupinami pomocou jednofaktorovej ANOVA, po ktorej nasledoval Tukeyho post hoc test, keď to bolo vhodné. Na potvrdenie konzistencie výsledkov boli použité aj Welchov a Brown-Forsytheov test.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Fáza akvizície

Počas tejto fázy bolo priestorové učenie hodnotené meraním latencie úniku na dosiahnutie skrytej platformy počas piatich po sebe nasledujúcich dní, pričom sa denne vykonávali štyri pokusy. Údaje o latencii úniku boli analyzované pomocou LMM, pričom „expozícia“ bola zahrnutá ako faktor medzi subjektmi, „deň“ ako faktor opakovania v rámci subjektu a identita zvieraťa bola zahrnutá ako náhodný efekt.

Analýza odhalila významný hlavný vplyv Day ($F (4, 73,651) = 33,442, P<0,001$), čo naznačuje, že latencia úniku sa počas tréningových dní významne menila a potvrdzuje progresívne priestorové učenie vo všetkých skupinách. Naproti tomu hlavný účinok expozície nebol významný ($F (3, 21,036) = 1,423, P=0,264$), čo naznačuje, že celkový výkon akvizície sa medzi expozičnými podmienkami významne nelíšil. Podobne interakcia expozície × dňa nebola významná ($F (12, 67,749) = 1,276, P= 0,253$), čo naznačuje, že vzorec akvizície v priebehu dní bol medzi skupinami porovnateľný (TABUĽKA I).

TABUĽKA I
Analýza lineárneho modelu so zmiešanými efektmi únikovej latencie počas fáza akvizície Morrisovho vodného bludiska

Účinok	Čitateľ df	Menovateľ df	F	*P*-hodnota
Vystavenie	3	21,036	1,423	0,264
Deň	4	73,651	33,442	< 0,001***
Expozícia × Deň	12	67,749	1,276	0,253

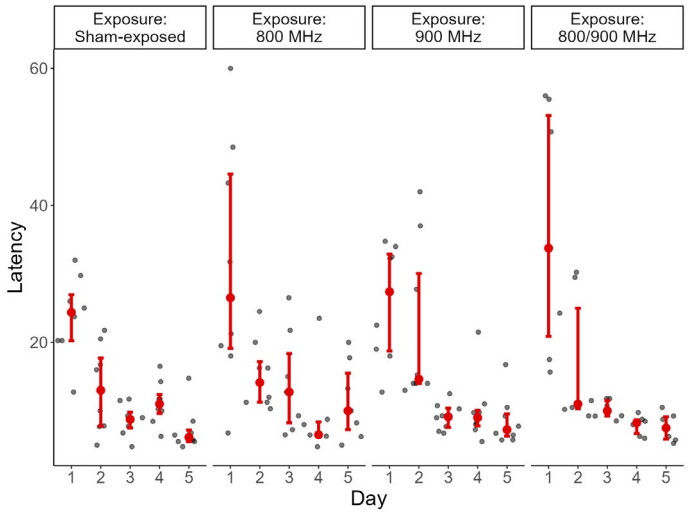
Poznámka: ***$P<0,001$. Morrisovo vodné bludisko: MWM

Celkovo tieto zistenia naznačujú, že všetky skupiny si úlohu časom osvojili, pričom neexistuje dôkaz o tom, že by vystavenie RF-EMF významne zmenilo celkovú latenciu úniku alebo časovú trajektóriu priestorového učenia počas fázy osvojovania (TABUĽKA II, OBR. 4).

TABUĽKA II
Priemerná úniková latencia (± SEM, s) počas 5 dní akvizície v Morrisovom vodnom bludisku

Deň	Predstierané odhalenie	800 MHz	900 MHz	Sekvenčné 800+900 MHz
1	23,72±2,14	34,21±8,10	25,72±3,05	39,62±6,84
2	13,19±2,25	15,93±1,89	22,12±4,18	16,87±4,12
3	8,66±0,82	14,14±2,86	9,16±0,70	10,21±0,57
4	11,16±1,13	9,18±2,44	10,12±1,73	7,88±0,60
5	7,25±1,14	11,50±2,17	8,62±1,30	7,62±0,88

Morrisov vodný bludisko: MWM



OBRÁZOK 4. Latencia úniku počas fázy akvizície Morrisovho vodného bludiska. Sivé bodky predstavujú individuálne hodnoty a červené symboly označujú skupinové priemery ± SEM

Súčasná štúdia naznačuje, že chronická expozícia rádiofrekvenčnému žiareniu významne neovplyvnila proces učenia v rámci mobilného modulárneho učenia (MWM). Latencia úniku sa vo všetkých skupinách znížila počas tréningových dní, pričom ani hlavný efekt „expozície“, ani interakcia „expozícia × deň“ nedosiahli štatistickú významnosť. To naznačuje, že priestorové učenie zostalo za súčasných expozičných podmienok globálne zachované.

Zistenia sú v súlade s predchádzajúcimi štúdiami, ktoré nepreukázali žiadne jasné kognitívne alebo behaviorálne účinky po expozícii 900 MHz RF-EMF u potkanov. Dubreuil *a kol.*[15] napríklad nepozorovali zmeny správania po vystavení iba hlavy elektromagnetickým poliam s frekvenciou 900 MHz. Podobné výsledky uviedol aj Ammari *a kol.*[11] a Klose *a kol.*[16] pomocou rôznych behaviorálnych testov, vrátane MWM, radiálno-ramenného bludiska a testu otvoreného poľa.

Skúšobná sonda

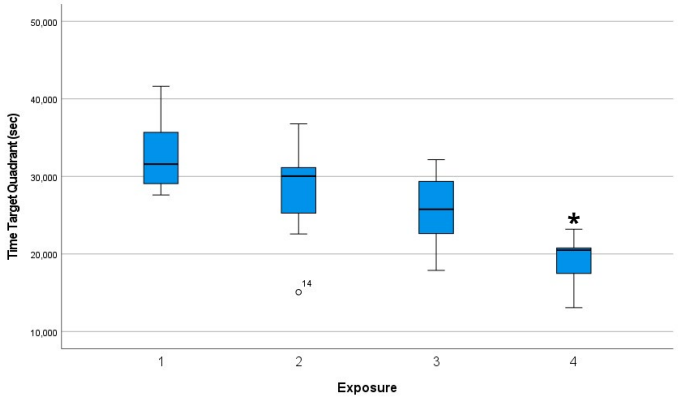
Na posúdenie priestorovej pamäte po dokončení fázy akvizície bol čas strávený v cieľovom kvadrante počas testu sondy porovnaný medzi expozičnými skupinami. Jednofaktorová ANOVA odhalila významný celkový skupinový efekt ($F(3,25) = 7,860$, $P=0,001$), čo naznačuje, že retenčný výkon sa medzi experimentálnymi podmienkami významne líšil. Post hoc Tukeyho porovnania ukázali, že potkany v skupine so sekvenčnými frekvenciami 800/900 MHz strávili v cieľovom kvadrante výrazne menej času ako zvieratá vystavené hanbe ($P<0,001$) a skupina 800 MHz ($P=0,032$). Žiadne iné párové porovnanie nedosiahlo štatistickú významnosť.

Tieto zistenia naznačujú, že sekvenčná dvojfrekvenčná expozícia rádiofrekvenčnému žiareniu bola spojená so zhoršenou priestorovou pamäťou, zatiaľ čo jednofrekvenčná expozícia za súčasných podmienok nespôsobila štatisticky významný deficit (TABUĽKA III, OBR. 5).

TABUĽKA III
Výkonnosť sondy v Morrisovom vodnom bludisku (priemer ± SEM)

Expozičná skupina	n	Čas strávený v cieľovom kvadrante (s)	Platforma – lokalita križovatky
Predstierané odhalenie	8	32,74±1,67	7,25±0,59
800 MHz	7	27,82±2,67	6,29±1,19
900 MHz	8	25,70±1,70	8,00±0,71
Sekvenčný 800/900 MHz	6	19,26±1,44	5,83±0,54

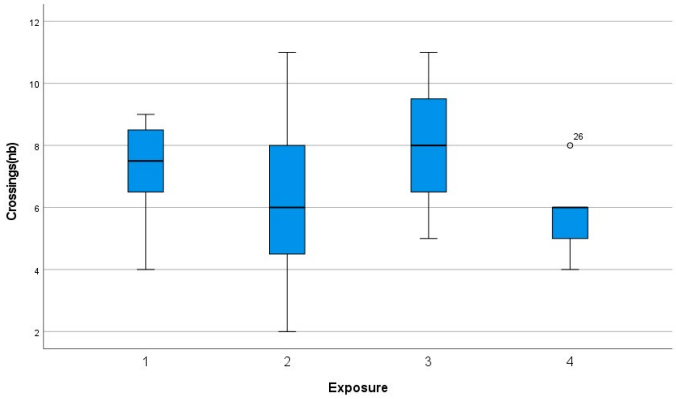
Poznámka. Pre čas strávený v cieľovom kvadrante jednofaktorová ANOVA preukázala významný celkový skupinový efekt ($F(3,25) = 7,860$, $P=0,001$). Tukeyho post hoc test preukázal významné rozdiely medzi simulovanou expozíciou a sekvenčnou expozíciou 800/900 MHz ($P<0,001$) a 800 MHz oproti sekvenčným 800/900 MHz ($P=0,032$). Pre križovatky medzi nástupišťom a miestom nebola celková ANOVA štatisticky významná ($F(3,25) = 1,447$, $P=0,253$). Morrisovo vodné bludisko: MWM



OBRÁZOK 5. Čas strávený v cieľovom kvadrante počas testu so sondou u potkanov s placebom (1) a s RF expozíciou (2, 3 a 4). Skupina so sekvenčnou frekvenciou 800/900 MHz vykazovala nižší čas v cieľovom kvadrante ako skupina so placebom a skupina so frekvenciou 800 MHz

Pre ďalšiu charakterizáciu výkonnosti sondážnej skúšky bol analyzovaný aj počet prechodov medzi platformou a miestom medzi expozičnými skupinami. Jednosmerná ANOVA nepreukázala žiadny významný skupinový vplyv ($F(3,25) = 1,447$, $P=0,253$). Tento výsledok bol v súlade s robustnými testami rovnosti priemerov, ktoré boli tiež nevýznamné (Welch, $P= 0,152$; Brown-Forsytheov test, $P=0,263$). Hoci sa pozorovali deskriptívne rozdiely s najvyššou priemernou hodnotou v skupine 900 MHz a najnižšou v sekvenčnej skupine 800/900 MHz, tieto variácie nedosiahli štatistickú významnosť (TABUĽKA III, OBR. 6).

Celkovo výsledky sondážnej skúšky naznačujú, že najvýraznejší účinok súvisiaci s expozíciou sa týkal času stráveného v cieľovom kvadrante, zatiaľ čo prechody medzi plošinou a miestom sa javili ako menej citlivé pri detekcii rozdielov medzi skupinami.



OBRÁZOK 6. Počet prechodov medzi plošinou a miestom počas pokusu so sondou u potkanov vystavených hanbe a RF-EMF. Pre tento parameter nebol zistený žiadny významný rozdiel medzi skupinami (° aberantná hodnota)

Sondová štúdia preukázala selektívnejší účinok, keďže skupina so sekvenčným 800/900 MHz strávila v cieľovom kvadrante menej času ako zvieratá s placebom a zvieratá s 800 MHz, čo naznačuje skôr zmenenú retenciu pamäte než zhoršené získavanie informácií. Podobné zistenia boli hlásené už skôr, vrátane zmenenej priestorovej pamäte po vystavení rádiofrekvenčnému žiareniu v Morrisovom vodnom bludisku [17]. Výsledky v literatúre však zostávajú nekonzistentné a môžu závisieť od podmienok expozície a behaviorálnych koncových bodov [7 ,18 rokov].

Slabší výkon pozorovaný v skupine so sekvenčnou expozíciou by sa však mal interpretovať opatrne, pretože táto skupina bola vystavená dlhšie denne ako skupiny s jednou frekvenciou. Preto zostáva nejasné, či pozorovaný účinok súvisel s expozíciou s dvoma frekvenciami, dlhším časom expozície alebo oboma. Okrem toho absencia významných rozdielov v prechodoch medzi platformou a miestom naznačuje, že účinok bol relatívne mierny a závislý od koncového bodu.

ZÁVER

Stručne povedané, súčasné zistenia naznačujú, že chronická expozícia RF-EMF významne nezmenila učenie sa pri mobilnom pamäti (MWM), pretože všetky skupiny sa počas tréningových dní zlepšili a vykazovali porovnateľné trajektórie učenia. Naproti tomu čas strávený v cieľovom kvadrante sa v skupine so sekvenčnou frekvenciou 800/900 MHz počas sondážnej fázy významne skrátil, čo naznačuje zhoršenú priestorovú pamäť za týchto podmienok expozície. Absencia významného rozdielu v prechodoch medzi platformami a miestami naznačuje, že nie všetky indexy pamäte boli rovnako citlivé. Celkovo tieto výsledky podporujú názor, že kognitívne účinky súvisiace s RF, ak sú prítomné, sa môžu jasnejšie prejaviť na úrovni uchovávania pamäte ako počas samotnej fázy akvizície.

Vyhlásenie o konkurenčných záujmoch

Žiadne konkurenčné záujmy

Vyhlásenie o generatívnej umelej inteligencii a technológiách s podporou umelej inteligencie

Autori využili ChatGPT 5 a QuillBot na zlepšenie jazykovej kvality. Všetok obsah bol skontrolovaný a upravený podľa potreby autormi, ktorí preberajú plnú zodpovednosť za konečnú verziu publikácie.

BIBLIOGRAFICKÉ ODKAZY

[1] Hermann DM, Hossmann KA. Neurologické účinky vystavenia mikrovlnám v súvislosti s mobilnou komunikáciou. J. Neurol. Sci. [Internet]. 1997; 152(1):1–14. doi:https://doi.org/bk2kb7

[2] Boumaiza S, Bouharati S. Zdravotné účinky modelovania elektromagnetického znečistenia pomocou fuzzy inferenčného systému. FASEB J. [Internet]. 2015; 29(S1):762.1. doi:https://doi.org/rkhs

[3] Simkó M, Mattsson MO. Bezdrôtová komunikácia 5G a jej vplyv na zdravie – Pragmatický prehľad založený na dostupných štúdiách týkajúcich sa pásma 6 až 100 GHz. Int. J. Environ. Res. Public Health [Internet]. 2019; 16(18):3406. doi:https://doi.org/gg4dnd

[4] Çelik Ö, Kahya MC, Nazıroğlu M. Oxidačný stres mozgu a pečene sa zvyšuje vystavením potkanov Wi-Fi (2,45 GHz) počas tehotenstva a vývoja novorodencov. J. Chem. Neuroanatomy [Internet]. 2016; 75:134–139. doi:https://doi.org/f8x4g6

[5] Gumral N, Saygin M, Asci H, Uguz AC, Celik O, Doguc DK, Savas HB, Comlekci S. Účinky elektromagnetického žiarenia (bezdrôtové zariadenia s frekvenciou 2450 MHz) na srdce a krvné tkanivo: úloha melatonínu. Bratisl. Med. J. [Internet]. 2016; 117(11):665–671. doi:https://doi.org/rkht

[6] Aydogan A, Unlu I, Aydin E, Yumusak N, Devrim E, Erdal–Samim E, Ozgur E, Unsal V, Tomruk A, Guler–Ozturk G, Seyhan N. Vplyv rádiofrekvenčného žiarenia s frekvenciou 2100 MHz z mobilného telefónu 3G na príušnú žľazu potkanov. Am. J. Otolaryngol. [Internet]. 2015; 36(1):39–46. doi:https://doi.org/f2xrvs

[7] Boumaiza S, Bouharati S, Bouzidi A. Prieskumná štúdia využívajúca umelú neurónovú sieť na predpovedanie únavy z používania mobilného telefónu: Prieskum populácie v Alžírsku. Int. J. Med. Toxicol. Forensic Med. [Internet]. 2026; 16:1–9. doi: https://doi.org/rkhw

[8] Morris R. Vývoj postupu vodného bludiska na štúdium priestorového učenia u potkanov. J. Neurosci. Methods [Internet]. 1984; 11(1):47–60. doi:https://doi.org/bsq2v5

[9] D'Hooge R, De Deyn PP. Aplikácie Morrisovho vodného bludiska v štúdiu učenia a pamäte. Brain Res. Rev. [Internet]. 2001; 36(1):60–90. doi:https://doi.org/dx6ddz

[10] Vorhees CV, Williams MT. Morrisovo vodné bludisko: Postupy na hodnotenie priestorových a súvisiacich foriem učenia a pamäte. Nat. Protoc. [Internet]. 2006; 1(2):848-858. doi:https://doi.org/b2c3k4

[11] Ammari M, Jacquet A, Lecomte A, Sakly M, Abdelmelek A, De Seze R. Vplyv subchronickej a chronickej expozície elektromagnetickým poliam GSM s frekvenciou 900 MHz iba na hlavu na priestorovú pamäť u potkanov. Brain Inj. [Internet]. 2008; 22(13–14):1021–1029. doi:https://doi.org/cv2xqf

[12] Deng–Bryant Y, Leung LY, Caudle K, Tortella F, Shear D. Kognitívne hodnotenie pomocou Morrisovho vodného bludiska pri neurotraume. In: Kobeissy F, Dixon C, Hayes R, Mondello S, editori. Modely poranení centrálneho nervového systému. Methods in Molecular Biology. Zv. 1462 [Internet]. New York (USA): Humana Press 2016; s. 539–551. doi:https://doi.org/rkhx

[13] Jadidi M, Firoozabadi SM, Rashidy–Pour A, Sajadi AA, Sadeghi H, Taherian AA. Akútne vystavenie magnetickému poľu s frekvenciou 50 Hz zhoršuje konsolidáciu priestorovej pamäte u potkanov. Neurobiol. Learn. Mem. [Internet]. 2007; 88(4):387–392. doi:https://doi.org/fs3pfc

[14] Kumlin T, Iivonen H, Miettinen P, Miettinen P, Juvonen A, van Groen T, Puranen L, Pitkäaho R, Juutilainen J, Tanila H. Žiarenie mobilného telefónu a vyvíjajúci sa mozog: Behaviorálne a morfologické účinky u mladých potkanov. Radiat. Res. [Internet]. 2007; 168(4):471-479. doi:https://doi.org/c6ff5m

[15] Dubreuil D, Jay T, Edeline JM. Ovplyvňuje vystavenie hlavy elektromagnetickým poliam GSM-900 výkon potkanov v úlohách priestorového učenia? Behav. Brain Res. [Internet]. 2002; 129(1–2):203–210. doi:https://doi.org/dbsdkx

[16] Klose M, Grote K, Spathmann O, Streckert J, Clemens M, Hansen VW, Lerchl A. Účinky vystavenia sa elektromagnetickému poľu s včasným nástupom (GSM 900 MHz) na správanie a pamäť u potkanov. Radiat. Res. [Internet]. 2014; 182(4):435–447. doi:https://doi.org/rkh2

[17] Wang B, Lai H. Akútne vystavenie pulzným mikrovlnám s frekvenciou 2450 MHz ovplyvňuje výkon potkanov vo vodnom bludisku. Bioelektromagnetics [Internet]. 2000; 21(1):52–56. doi: https://doi.org/fvt7c3

[18] Sienkiewicz Z, van Rongen E. Môže nízka úroveň vystavenia rádiofrekvenčným poliam ovplyvniť kognitívne správanie u laboratórnych zvierat? Systematický prehľad literatúry týkajúcej sa priestorového učenia a miestnej pamäte. Int. J. Environ. Res. Public Health [Internet]. 2019; 16(9):1607. doi:https://doi.org/rkh4