Translated from English to Slovak - www.onlinedoctranslator.com

Vplyv extrémne nízkofrekvenčných (ELF) elektromagnetických vĺn na prevenciu cukrovky vyvolanej streptozotocínom u myší: Krvné ukazovatele

Ali Dehghan (MSc)[1,2], Tohid Vahdatpour (PhD)[1,3]* , Mehran Mesgari Abbasi (PhD)[4]

[1]Katedra lekárskeho inžinierstva, Shabestar Pobočka Islamskej univerzity Azad, Shabestar, Irán
[2]Oddelenie Medikalifornské vybavenie, Zástupca Pre potraviny a liečivá, Tabrizská univerzita lekárskych vied, Tabriz, Irán
[3]Katedra fyziológie, pobočka v Tabrize, Islamská univerzita Azad, Tabriz, Irán
[4]Centrum aplikovaného výskumu liečiv, Tabrizská univerzita lekárskych vied, Tabriz, Irán

ABSTRAKT

Pozadie: Magnetické polia môžu ovplyvniť fyziologické systémy a niektoré choroby, ako napríklad cukrovku.

Cieľ: Cieľom tejto štúdie bolo preskúmať vplyv nízkoenergetického magnetického poľa na krvné parametre myší so streptozotocínom indukovaným diabetom.

Materiál a metódy:V tejto experimentálnej štúdii bolo 48 dospelých samcov myší rozdelených do šiestich skupín po ôsmich. Diabetické myši boli vystavené magnetickým poliam s indexom 0,0005 a 0,005 tesla počas 5 a 10 dní pomocou Helmholtzových cievok. Vzorky krvi sa odoberali každý druhý deň na meranie krvných faktorov a posúdenie vplyvu magnetického poľa na parametre súvisiace s cukrovkou.

Výsledky:V skupinách s diabetom sa hladiny bielkovín v krvi znížili bez akéhokoľvek účinku magnetickej intervencie. Avšak v troch zo štyroch skupín sa hladina albumínu v krvi pod vplyvom magnetického poľa zvýšila. Indukcia magnetického poľa viedla k zníženiu aktivity gama-glutamyltransferázy (GGT) v krvi. Okrem toho magnetické pole viedlo k zvýšeniu hladiny horčíka v krvi.

Záver:Účinky magnetického poľa a cukrovky na namerané krvné parametre vrátane GGT a horčíka boli nezávislé. Hladina albumínu v krvi, ktorá bola znížená pod vplyvom indukovanej cukrovky, však bola magnetickými poľami, najmä v magnetickom poli s intenzitou 0,005 tesla, zlepšená.

Citácia: Dehghan A, Vahdatpour T, Mesgari Abbasi M. Vplyv extrémne nízkofrekvenčných (ELF) elektromagnetických vĺn na prevenciu cukrovky vyvolanej streptozotocínom u myší: Krvné ukazovatele.*J Biomed Phys Eng.* 2026;16(3):219-230. do: 10.31661/jbpe.v0i0.2403-1733.

Kľúčové slová
Diabetik; ELF; GGT; Bielkoviny; Horčík; Magnetizmus; STZ; Vlny

Úvod

Cukrovka je podľa Svetovej zdravotníckej organizácie (WHO) najrozšírenejším chronickým ochorením a ročne si vyžiada životy štyroch miliónov ľudí. Spoločná správa WHO a Svetovej diabetickej federácie predpovedá výrazný nárast počtu diabetických pacientov, ktorý do roku 2035 presiahne 592 miliónov. V súčasnosti sa odhaduje, že s cukrovkou žije viac ako 8 miliónov Iráncov, ktorí čelia nielen zdravotnej a psychologickej záťaži, ale aj značným finančným nákladom pre pacientov aj spoločnosť [1-3]. Jedným z kľúčových prístupov ku kontrole a prevencii metabolických ochorení je magnetoterapia. Diskutuje sa však aj o škodlivých účinkoch elektromagnetických polí na bunky a fyziologické systémy. Elektromagnetické polia (EMF) sú...

* Zodpovedajúce autor:
Tohid Vahdatpour
Oddelenie lekárskeho Vybavenie, Zástupca Potraviny a liečivá, Tabrizská univerzita lekárskych vied, Tabriz, Irán
E-mail: tvahdatpour@gmail.com

Prijaté: 1. marca 2024
Schválené: 2. júna 2024

Autorské práva: © Časopis biomedicínskej fyziky a inžinierstva
Toto je článok s otvoreným prístupom distribuovaný podľa podmienok licencie Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), ktorá povoľuje neobmedzené použitie, distribúciu a reprodukciu v akomkoľvek médiu za predpokladu, že pôvodné dielo je riadne citované nekomerčne.

neviditeľné oblasti energie vytvorené kombinovaným účinkom elektrických a magnetických polí, prítomné všade v prostredí s vplyvom na rôzne bunkové procesy [2-3]. Štúdia skúmajúca jednotlivcov vystavených vysokofrekvenčným elektromagnetickým poliam zistila 40 % nárast miery neurologických porúch vrátane samovrážd v porovnaní s kontrolnou skupinou [4]. Je však dôležité poznamenať, že táto štúdia nemusí nevyhnutne dokázať kauzalitu. Na preskúmanie potenciálnej súvislosti medzi vysokofrekvenčnými elektromagnetickými poliami a neurologickými stavmi je potrebný ďalší výskum, pričom sa zohľadnia faktory, ako je návrh štúdie, potenciálne mätúce premenné a replikácia zistení [4-5]. Nedávny výskum ukázal, že nízkofrekvenčné elektromagnetické polia sa využívajú na liečbu ľudských ochorení vrátane hojenia zlomenín kostí s intenzitou 3 – 5 mikroampérov/mm.^{2}a vyššie hladiny, čo vedie k tvorbe a deštrukcii kostí [4-5]. Tieto vysokofrekvenčné polia môžu ovplyvňovať bunkové funkcie ovplyvňovaním proteínov nazývaných membránové glykoproteíny na povrchu bunky [6].

Na základe frekvenčného rozsahu polia extrémne nízkej frekvencie (ELF) zahŕňajú frekvencie medzi 3 a 300 Hz a polia veľmi nízkej frekvencie (VLF) zahŕňajú frekvencie medzi 3 a 300 kHz. Elektromagnetické žiarenie, najmä nízkofrekvenčné žiarenie, sa okolo nás rozšírilo [3]. Tieto vlny sa šíria v prostredí so špecifickou vlnovou dĺžkou a frekvenciou rýchlosťou svetla, nazývanou elektromagnetické žiarenie. Množstvo absorpcie energie a prenikania tohto žiarenia závisí od frekvencie, typu žiarenia a tkaniva [4].

Na základe vplyvu elektromagnetického žiarenia na živé organizmy sa delí do dvoch skupín. Prvá skupina zahŕňa ionizujúce vlny, ktoré majú priamo a nepriamo biologické účinky a spôsobujú deštrukciu molekúl DNA a poškodenie genetického materiálu, čo je veľmi nebezpečné pre ľudské zdravie a živé bytosti. Žiarenie s vysokou frekvenciou, krátkou vlnovou dĺžkou a vysokou... Medzi ne patria žiarenia s prenikavou schopnosťou, ako napríklad gama, röntgenové a kozmické žiarenie. Druhá skupina zahŕňa neionizujúce žiarenie s nízkou frekvenciou, dlhou vlnovou dĺžkou a nízkou prenikavou schopnosťou, ktoré nemá dostatok energie na prerušenie chemických väzieb molekúl a atómov [2]. Väčšina žiarenia v našom prostredí spadá do nízkofrekvenčného a veľmi nízkofrekvenčného elektromagnetického spektra v rozsahu od nuly Hz do 300 kHz [5].

Rôzne správy sa zaoberali vplyvom elektromagnetických polí na genetický materiál a biologické procesy v živých organizmoch [6]. Je dôležité poznamenať, že energia elektromagnetických polí nie je fyzicky schopná priamo narušiť DNA buniek vystavených žiareniu [7]. Elektromagnetické polia však môžu ovplyvniť proliferáciu a diferenciáciu buniek, narušiť bunkový cyklus a komunikáciu medzi bunkami, zvýšiť poškodenie DNA, produkovať voľné radikály a zmeniť aktivitu antioxidačných enzýmov [8]. Rozsah bunkových a molekulárnych zmien vyvolaných týmito vlnami závisí od trvania žiarenia, jeho priepustnosti v tkanivách a produkcie tepla, ktoré sú ovplyvnené intenzitou a frekvenciou vĺn [9]. Okrem toho sa reakcia buniek líši v závislosti od charakteristík vĺn, ako je priebeh vlny (sínusový alebo obdĺžnikový), biologické účinky a typ buniek vystavených žiareniu [10]. Magnetické polia, najmä tie z mobilných telefónov a handsfree zariadení, majú väčšiu schopnosť prenikať do živých tkanív, čo ovplyvňuje aktivitu enzýmov [11], endokrinný systém a metabolizmus [12], nervové vedenie [13], rastový cyklus, vývoj plodu [14] a imunitný systém [15]. Štúdie ukazujú, že elektromagnetické pole nemá dostatok energie na poškodenie biologických molekúl. Niektorí výskumníci sa však domnievajú, že tieto polia môžu spôsobiť genetické poškodenie ochranných systémov [16].

Absorpcia a prenikanie žiarenia závisí od jeho frekvencie a typu tkaniva [17-18]. Väčšina environmentálneho žiarenia spadá do nízkofrekvenčnej a veľmi

nízkofrekvenčný elektromagnetický rozsah s frekvenčným rozsahom medzi nulou a 300 kHz [19-20]. Elektromagnetické polia môžu ovplyvniť proliferáciu buniek, diferenciáciu, narušenie bunkového cyklu a komunikáciu v živých systémoch [21]. Bunkové a molekulárne zmeny vyvolané týmito vlnami závisia od trvania žiarenia, jeho priepustnosti v tkanivách a produkcie tepla, ktoré tiež závisia od intenzity a frekvencie vĺn [22]. Reakcia bunky sa mení v závislosti od charakteristík vĺn, ako je tvar vlny (sínusový alebo obdĺžnikový), biologické účinky a typ exponovaných buniek [23]. Tento výskum sa zameriava na vplyv extrémne nízkofrekvenčných (ELF) elektromagnetických vĺn generovaných navrhnutými generátormi na prevenciu cukrovky v modeli myši.

Materiál a metódy

Výskumný plán

Táto experimentálna štúdia (kontrolovaná intervencia) sa uskutočnila v Centre pre aplikovaný výskum liečiv (DARC) Lekárskej univerzity v Tabrize s cieľom študovať účinky elektromagnetických vĺn na prevenciu cukrovky vyvolanej streptozotocínom u myší. Tento výskum sa uskutočnil na 48 samcoch myší BALB/c s hmotnosťou 30 – 35 gramov. Tento výskum sa uskutočnil s použitím 48 samcov myší BALB/c s hmotnosťou 30 – 35 gramov. Na dosiahnutie biologickej rovnováhy a kompatibility myší s laboratórnym prostredím a na dosiahnutie stabilného stavu a zmiernenie stresu boli myši držané v tomto centre dva týždne (so svetelným režimom 12 hodín svetla a 12 hodín tmy; voľný prístup k vode a potrave počas testov; okolitá teplota 22 ± 2 °C počas experimentálneho obdobia).

Metóda indukcie cukrovky

Na vyvolanie diabetu v cieľových skupinách sa použila intraperitoneálna injekcia streptozotocínu (STZ) v dávke 60 mg/kg telesnej hmotnosti rozpusteného v sterilnom fyziologickom roztoku. beta bunky a zvýšiť hladinu glukózy v krvi na viac ako 180 mg/dl.

Návrh a konštrukcia elektromagnetického generátora na indukciu magnetického poľa

Boli navrhnuté a vyrobené dva generátory na vytváranie magnetických polí. Tieto generátory sú drevené valcovité konštrukcie bez akýchkoľvek kovových častí. Majú výšku 42 cm (vzdialenosť medzi dvoma kruhovými cievkami) a priemer 62 cm. Každý generátor sa skladá z dvoch cievok (dvojice Helmholtzových cievok) vyrobených z lakovaného drôtu triedy 10 [24-25]. Tieto cievky sú navinuté okolo spodnej a hornej prierezovej plochy valca, celkovo 160 cievok, vrátane 80 a 60 cievok pre hornú a spodnú časť. Počet cievok bol určený pomocou vzorca pre intenzitu elektromagnetického poľa (B=μnI) (kde B predstavuje intenzitu magnetického poľa v Tesla, 4π×10μ predstavuje konštantu, n predstavuje počet závitov na jednotku dĺžky a I predstavuje intenzitu prúdu). Aby sa zabezpečila presnosť výstupu elektromagnetického poľa s intenzitami 0,005 a 0,0005 tesla, intenzita poľa sa merala pomocou teslametra (Lutron EMF-828) po stanovení prúdu v obvode (obrázok 1).

Zoskupenie zvierat

Zvieratá boli náhodne rozdelené do 6 skupín po 8 myšiach takto:

1 – Kontrolná skupina: zvieratá neboli podrobené žiadnemu zásahu (C).

2- Skupina vystavená cukrovke (bez elektromagnetickej intervencie) (D).

3 – Skupina vystavená cukrovke a elektromagnetickému poľu s intenzitou 0,0005 tesla počas 5 dní (DLF5).

4 – Skupina vystavená cukrovke a elektromagnetickému poľu s intenzitou 0,0005 tesla počas 10 dní (DLF10).

5. Skupina vystavená cukrovke a elektromagnetickému poľu s intenzitou 0,005 tesla počas 5 dní (DHF5).

Obrázok 1:Rôzne časti elektromagnetických generátorov

6 – Skupina vystavená cukrovke a elektromagnetickému poľu s intenzitou 0,005 tesla počas 10 dní (DHF10).

Odber vzoriek, stanovenie krvných parametrov a štatistická analýza

Počas experimentu sa myšiam odoberali vzorky krvi každých 48 hodín (na druhý, štvrtý, šiesty, ôsmy, desiaty a dvanásty deň) škrabaním chvosta myší na meranie hladiny glukózy v krvi pomocou glukometra [24]. Hodinu po poslednom vystavení magnetickému poľu boli všetky myši anestetizované ketamínom (100 mg/kg) a xylazínom (5 mg/kg) intraperitoneálnou injekciou a krv sa odoberala zo srdca. Vzorky krvi sa potom centrifugovali pri 4 °C s 3500 otáčkami za minútu počas 10 minút pomocou centrifúgy modelu Sigma 3000 na meranie sérových ukazovateľov vrátane železa, močoviny, kreatinínu, lipoproteínov s nízkou hustotou (LDL), triglyceridov, cholesterolu, bielkovín, aktivity alkalickej fosfatázy (ALP), albumínu, vápnika, CK, g-GT, vysokej hustoty (HDL), alanínaminotransferázy (ALT), laktátdehydrogenázy (LDH), aspartátaminotransferázy (AST), horčíka, fosforu a kyseliny močovej. Analýza údajov bola vykonaná pomocou softvéru SPSS (verzia 22) a výsledky boli prezentované ako priemer ± štandardná odchýlka. Rozdiely medzi priemernými hodnotami hladiny glukózy v krvi a ďalšími parametrami medzi rôznymi skupinami boli hodnotené pomocou jednofaktorovej ANOVA, po ktorej nasledoval Tukeyho test s hladinou významnosti *P*-hodnota < 0,05 (obrázok 2).

Výsledky

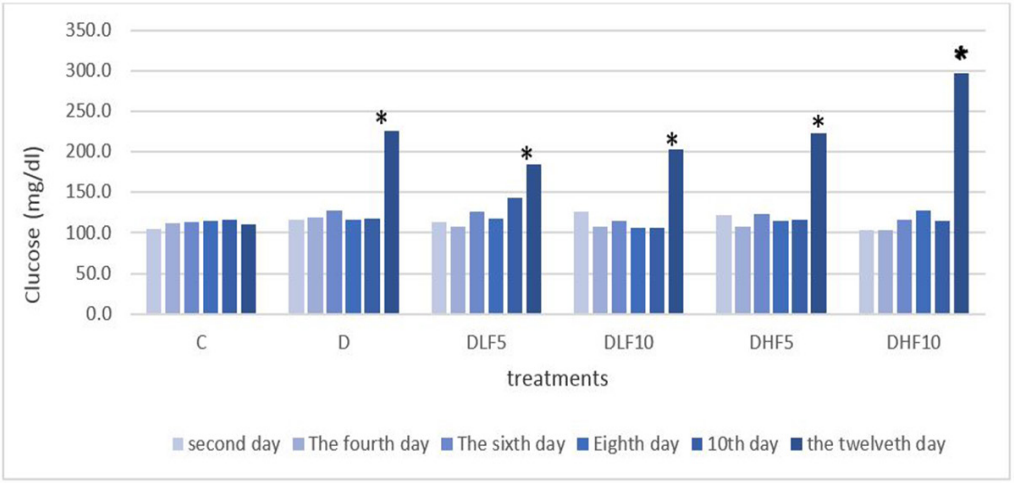
Hladina glukózy v krvi

Hladiny glukózy v krvi v liečených skupinách, ako je znázornené na obrázku 3, počas experimentu kolísali. Do dvanásteho dňa sa hladiny glukózy vo všetkých skupinách s indukovaným diabetom dostali do diabetického rozmedzia. Okrem toho sa hladiny glukózy v krvi ožiarených skupín po vzniku diabetu významne nelíšili od diabetickej skupiny bez elektromagnetickej intervencie.

Gama glutamyltransferáza (GGT)

Obrázok 4 zobrazuje aktivitu GGT v krvi v skúmaných skupinách. Vo všetkých štyroch skupinách vystavených elektromagnetickému žiareniu došlo po vzniku cukrovky k významnému poklesu aktivity GGT v krvi v porovnaní s diabetickou skupinou bez ožiarenia (D) a kontrolnou skupinou.

Obrázok 2: Kroky odberu vzoriek a laboratórne testy



Obrázok 3: Porovnanie hladín glukózy v krvi v experimentálnych skupinách a v párnych dňoch pokusu (od druhého do dvanásteho)

* Označuje významný rozdiel v porovnaní so skupinou C a inými testovacími dňami vo všetkých skupinách (**P**<0,01). Kontrolná skupina (c), vystavená cukrovke (D), vystavená cukrovke a elektromagnetickému poľu s intenzitou 0,0005 tesla počas 5 dní (DLF5), vystavená cukrovke a elektromagnetickému poľu s intenzitou 0,0005 tesla počas 10 dní (DLF10), vystavená cukrovke a elektromagnetickému poľu s intenzitou 0,005 tesla počas 5 dní (DHF5), vystavená cukrovke a elektromagnetickému poľu s intenzitou 0,005 tesla počas 10 dní (DHF10).

skupina (C) (*P*-hodnota < 0,01).

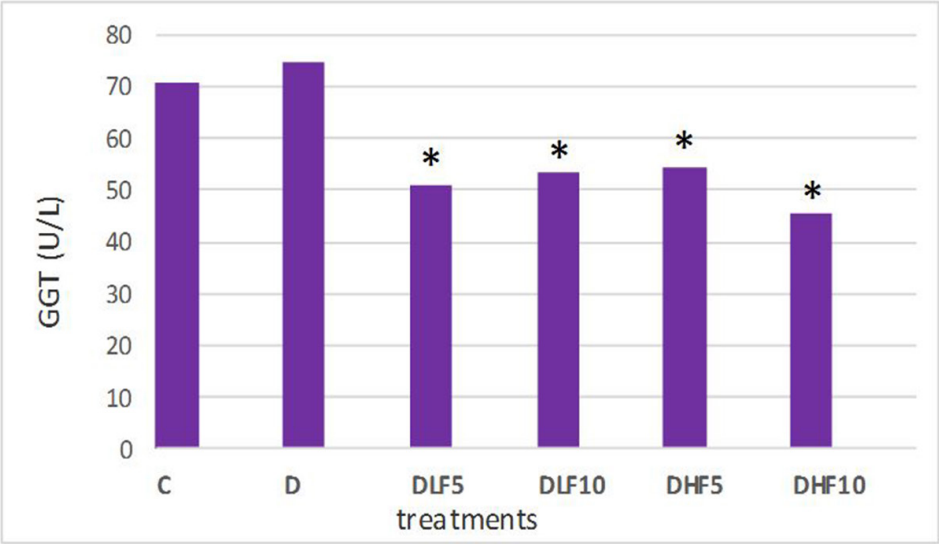
Horčík v krvi

Obrázok 5 zobrazuje hladiny horčíka v krvi v experimentálnych skupinách. Skupiny DLF10, DHF10 a DHF5 vykazovali významný nárast hladín horčíka po

rozvoj cukrovky v porovnaní s kontrolnou (C) a diabetickou (D) skupinou (*P*-hodnota < 0,01).

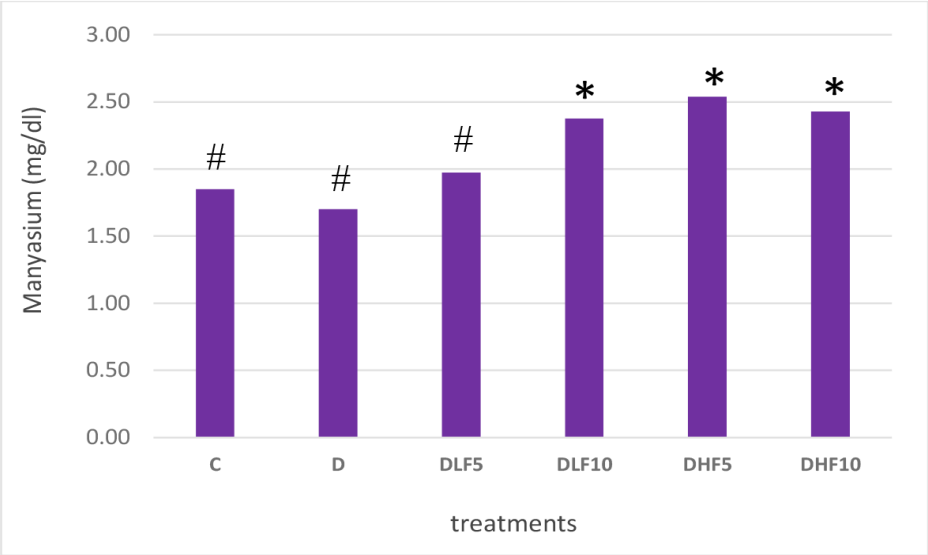
Krvný proteín

Celkové hladiny bielkovín v krvi v skúmaných skupinách sú znázornené na obrázku 6. Všetky diabetické skupiny vykazovali významný pokles



Obrázok 4: Porovnanie aktivity gama-glutamyltransferázy (GGT) v krvi v experimentálnych skupinách.

* Označuje významný rozdiel v porovnaní s inými skupinami (**P**-hodnota < 0,01). Kontrolná skupina (c), vystavená cukrovke (D), vystavená cukrovke a elektromagnetickému poľu s intenzitou 0,0005 tesla počas 5 dní (DLF5), vystavená cukrovke a elektromagnetickému poľu s intenzitou 0,0005 tesla počas 10 dní (DLF10), vystavená cukrovke a elektromagnetickému poľu s intenzitou 0,005 tesla počas 5 dní (DHF5), vystavená cukrovke a elektromagnetickému poľu s intenzitou 0,005 tesla počas 10 dní (DHF10).

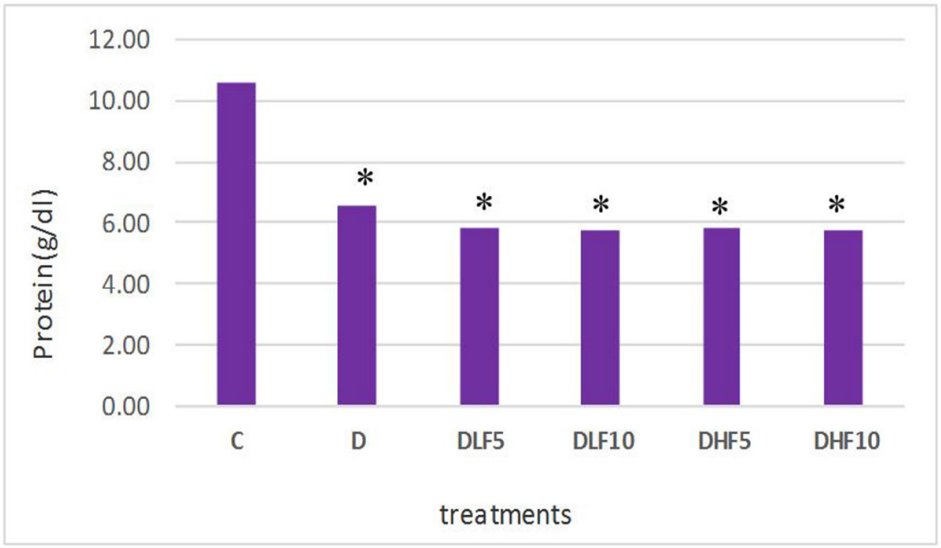


Obrázok 5: Porovnanie hladín horčíka v krvi v experimentálnych skupinách.

* Označuje významný rozdiel v porovnaní s inými skupinami (**P**-hodnota < 0,01).

označuje významný rozdiel v porovnaní s inými skupinami (**P**-hodnota < 0,01).

Kontrolná skupina (c), vystavená cukrovke (D), vystavená cukrovke a elektromagnetickému poľu s intenzitou 0,0005 tesla počas 5 dní (DLF5), vystavená cukrovke a elektromagnetickému poľu s intenzitou 0,0005 tesla počas 10 dní (DLF10), vystavená cukrovke a elektromagnetickému poľu s intenzitou 0,005 tesla počas 5 dní (DHF5), vystavená cukrovke a elektromagnetickému poľu s intenzitou 0,005 tesla počas 10 dní (DHF10).



Obrázok 6: Porovnanie množstva celkových krvných bielkovín v experimentálnych skupinách.
* Čo naznačuje významný rozdiel oproti skupine C (**P**-hodnota < 0,05).
Kontrolná skupina (c), vystavená cukrovke (D), vystavená cukrovke a elektromagnetickému poľu s intenzitou 0,0005 tesla počas 5 dní (DLF5), vystavená cukrovke a elektromagnetickému poľu s intenzitou 0,0005 tesla počas 10 dní (DLF10), vystavená cukrovke a elektromagnetickému poľu s intenzitou 0,005 tesla počas 5 dní (DHF5), vystavená cukrovke a elektromagnetickému poľu s intenzitou 0,005 tesla počas 10 dní (DHF10).

v krvi celkových bielkovín v porovnaní s kontrolnou skupinou (*P*-hodnota < 0,05) a magnetické polia nemali tento pokles vplyv.

Krvný albumín

Hladiny albumínu v krvi v experimentálnych skupinách sú uvedené na obrázku 7. V prítomnosti cukrovky došlo k významnému poklesu hladín albumínu v krvi v porovnaní s kontrolnou skupinou (*P*-hodnota < 0,01). V diabetických skupinách liečených DHF5, FLF10 a DHF10 došlo k významnému zvýšeniu hladín albumínu v porovnaní s diabetickou skupinou (*P*-hodnota < 0,01), podobne ako v kontrolnej skupine. Hladiny albumínu v skupine DLF5 sa však nelíšili od hladín v diabetickej skupine.

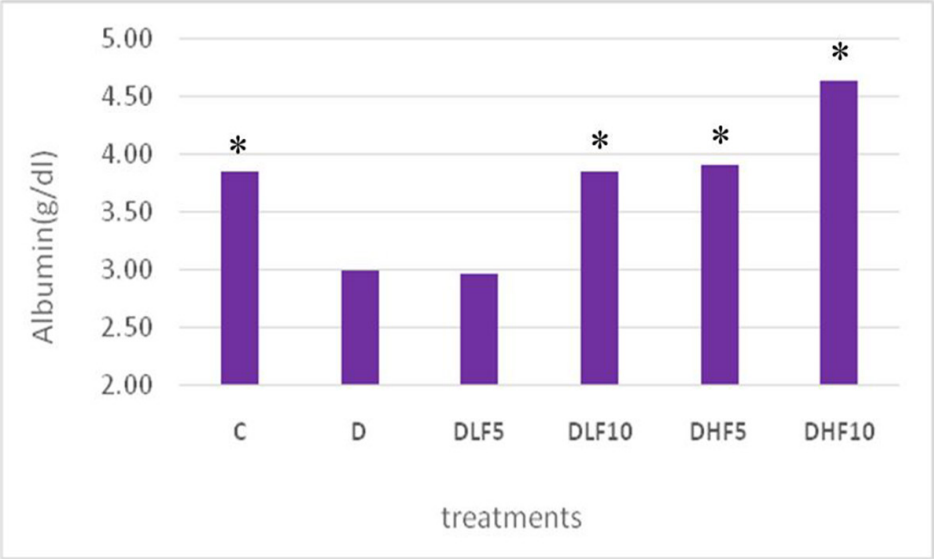
Ďalšie krvné parametre

Tento výskum nezistil žiadne významné rozdiely (*P*-hodnota > 0,05) pri terapeutických intervenciách pre ALP, ALT, AST, LDH, kreatínfosfokinázu (CPK) a LDL a HDL, ako aj ako kyselina močová, močovina, železo, kreatinín, fosfor, vápnik, triglyceridy a cholesterol v testovaných skupinách.

Diskusia

Štúdia zistila, že STZ spôsobuje hyperglykémiu, experimentálny model diabetu 1. typu, u myší poškodením β-buniek. Podľa správ STZ vstupuje do pankreatických β-buniek prostredníctvom glukózového transportéra-2 (GLUT2) a poškodzuje bunkovú membránu v priebehu 1-2 dní, čo vedie k prerušeniu reťazca DNA. Tento proces znižuje bunkovú hladinu NAD+ a spôsobuje nekrózu β-buniek. Keďže GLUT2 je prítomný aj v obličkách hlodavcov, vychytávanie STZ obličkovými bunkami ich môže vystaviť podobnej nekróze ako β-bunky. Iné štúdie ukázali, že STZ indukuje diabetes a závažný nedostatok inzulínu u myší a iných hlodavcov [15-17].

Vzhľadom na to zostáva diskusia o účinkoch elektromagnetických polí s rôznou intenzitou na živé bytosti, najmä na ľudí, náročnou otázkou.



Obrázok 7: Porovnanie hladín albumínu v krvi v experimentálnych skupinách.
* Označuje významný rozdiel v porovnaní so skupinami D a FLF5 (**P**-hodnota < 0,01).
Kontrolná skupina (c), vystavená cukrovke (D), vystavená cukrovke a elektromagnetickému poľu s intenzitou 0,0005 tesla počas 5 dní (DLF5), vystavená cukrovke a elektromagnetickému poľu s intenzitou 0,0005 tesla počas 10 dní (DLF10), vystavená cukrovke a elektromagnetickému poľu s intenzitou 0,005 tesla počas 5 dní (DHF5), vystavená cukrovke a elektromagnetickému poľu s intenzitou 0,005 tesla počas 10 dní (DHF10).

vedecká komunita [17]. Fyzikálna podstata elektrických polí ovplyvňuje statické náboje a riadi sa Coulombovým zákonom, zatiaľ čo magnetické polia sú založené na Lorentzovom zákone a pôsobia na pohybujúce sa náboje. Vzhľadom na elektrickú podstatu a prítomnosť pohybujúcich sa nábojov ako prenášačov nervových signálov môžu magnetické polia tieto signály ovplyvňovať. Preto sa predpokladá, že primárny vplyv magnetických polí z fyzikálneho hľadiska sa prejaví prostredníctvom narušenia nervových impulzov a ich vplyvu na systémy závislé od týchto signálov inde v tele [15].

V tejto štúdii boli myši BAlb/c vystavené magnetickému poľu s intenzitou 0,005 Tesla a frekvenciou 0,0005 Tesla. Výskum preukázal, že intenzita a trvanie magnetického poľa neovplyvnili hladinu glukózy v krvi. Je však dôležité poznamenať, že potenciálne účinky poľa sa môžu líšiť v závislosti od faktorov, ako sú typy impulzov, intenzita poľa a frekvencia. Napríklad rôzne štúdie priniesli rôzne výsledky. V jednej...

V jednej štúdii boli samce myší liečené streptozotocínom rozdelené do šiestich skupín: zdravé kontrolné skupiny, skupiny s inzulínom, skupiny s metformínom a skupiny vystavené elektromagnetickým poliam s frekvenciou 50, 25 a 100 Hz s intenzitou 250 mikroteslas počas 45 minút denne.

Výsledky ukázali, že zdravá kontrolná skupina mala hladinu glukózy v krvi 130 ± 4,7, zatiaľ čo priemerné hladiny glukózy v sére pre ostatné skupiny pred liečbou boli 181 ± 10. Po liečbe boli hladiny glukózy v sére pre skupiny 2 až 6 162 ± 3,14, 165 ± 3,7, 141 ± 13,6, 165 ± 14,2 a 169 ± 9,5. Štatistická analýza ukázala, že magnetické pole s frekvenciou 25 Hz a intenzitou 250 mikroteslas znížilo hladinu glukózy v krvi diabetických myší [18].

V samostatnej štúdii bol hlavný rozdiel oproti súčasnej štúdii frekvencia a typ magnetického poľa. Testovaná skupina s 22 mladými myšami BALB/C bola umiestnená do konštantného rovnomerného magnetického poľa s magnetickou indukciou 0,05 tesla vytvoreného permanentným...

magnetom počas 10 dní, najmenej 10 hodín denne. Kontrolná skupina bola vystavená podobným podmienkam, ale bez magnetického poľa. Obe skupiny boli monitorované 10 dní pred experimentom, počas neho a 10 dní po ňom a boli denne vážené. Následne bola testovaná skupina umiestnená do magnetického poľa na 15 dní. Na pätnásty deň boli obom skupinám odobraté vzorky krvi. Hladiny glukózy v krvi v testovanej skupine boli 114,36 ± 8,18 mg/dl a v kontrolnej skupine 113,81 ± 4,46 mg/dl. Podobne ako výsledky tohto výskumu, nebol pozorovaný žiadny významný rozdiel [24-25]. Počas tohto obdobia magnetické pole a čas viedli k významným zmenám indexu GGT v krvi v ožiarenej a diabetickej skupine v porovnaní s neožiarenou diabetickou skupinou, čo viedlo k poklesu. Okrem toho bol v ožiarenej a diabetickej kontrolnej skupine pozorovaný nárast hladiny horčíka v krvi. Magnetické pole zobrazovacích zariadení MRI ovplyvnilo hladinu glukózy v krvi potkanov, čo spôsobilo pokles v porovnaní s kontrolnou skupinou [26-27]. Podobné zistenia boli zaznamenané v inej štúdii [28]. Naopak, štúdia s fotografickými dôkazmi preukázala zvýšenie hladiny glukózy v krvi po vystavení slabému magnetickému poľu [29].

Súčasné výskumné zistenia naznačujú, že koncentrácia kortizolu v krvi sa počas dňa mení, pričom najvyššie hladiny sa pozorujú ráno. Rôzne faktory vrátane stresu môžu zmeniť jeho hladiny až 17-krát. Dôvody kolísania hladiny glukózy v krvi v dôsledku magnetických polí boli rôzne. Niektoré štúdie pripisujú pokles hladiny glukózy v krvi zmenám kortizolu a melatonínu, ako aj dlhodobým účinkom na os hypofýza-hypotalamus alebo vplyvu na hypofýzu, ktorá sa považuje za primárnu príčinu zvýšeného kortizolu a jeho vplyvu na hladinu glukózy v krvi. Táto situácia sa nedá jednoducho interpretovať. Reakcia na stimul však závisí od mnohých faktorov vrátane parametrov poľa, frekvencie, indukcie, polarizácia, žiarenie, tvar impulzu, čas ožarovania a fyzikálne a fyziologické podmienky tela počas ožarovania. Rôzne štúdie založené na podmienkach priniesli rôzne výsledky. Všetky štúdie však ukazujú, že magnetické polia majú podobný účinok ako pôsobenie stresu na telo a môžu meniť hladinu kortizolu na základe tejto závislosti. Niektoré ďalšie štúdie zaznamenali pokles hladiny týchto hormónov po aplikácii magnetického poľa [30].

Hoci výsledky tejto štúdie nepreukázali významný vplyv na hladinu glukózy v krvi, iné štúdie zamerané na vplyv magnetických polí na hladinu glukózy preukázali zmeny v štruktúre beta buniek v pankrease a v množstve syntézy a sekrécie inzulínu. Tieto vlny tiež naznačujú zvýšenie hypoglykémie, ovplyvňujú absorpciu glukózy v tkanive uľahčením prechodu glukózy cez bunkovú stenu, čo pravdepodobne ovplyvňuje aktivitu inzulínu v tkanivách závislých od inzulínu. Preto tieto vlny nielen zvyšujú absorpciu glukózy v dôsledku zvýšenej sekrécie inzulínu, ale tiež zvyšujú sekréciu inzulínových receptorov a signálov vstupujúcich do cieľových buniek [31-32]. V tejto súvislosti iná štúdia ukázala, že krátkodobé vystavenie RF-EMF generovaným rušičkami mobilných telefónov môže znížiť hladinu glukózy v krvi nalačno u dospelých samcov potkanov [33].

Záver

Výsledkom je, že intenzita a trvanie elektromagnetického poľa použitého v tomto výskume neovplyvnili proces vyvolania cukrovky a hladiny glukózy v krvi. Hoci sa celkový obsah bielkovín pod vplyvom cukrovky znížil, hladiny albumínu sa v dôsledku magnetického žiarenia zvýšili. Okrem toho elektromagnetická indukcia viedla k zvýšeným hladinám horčíka a zníženiu gama-glutamyltransferázy v krvi. Magnetické účinky na bunky môžu ovplyvniť rôzne faktory, ako je frekvencia, intenzita, trvanie žiarenia, typ odberu vzoriek, načasovanie testu a fyziologické podmienky.

telesných systémov. Preto sa na dokončenie záveru navrhuje ďalší výskum s dôrazom na dlhšie obdobie a silnejšiu elektromagnetickú intenzitu.

Poďakovanie

Tento článok je výňatkom z diplomovej práce (Ali Dehghan: Vyštudoval medicínske inžinierstvo – bioelektrika). Autori ďakujú za podporu Univerzity lekárskych vied v Tabrize (Centrum aplikovaného výskumu liečiv) a Islamskej univerzity Azad, pobočky Shabestar.

Príspevok autorov

A. Dehghan ako študent magisterského štúdia realizoval implementačné fázy, najmä návrh a konštrukciu elektromagnetických generátorov. T. Vahdatpour ako školiteľ, profesor, predstavil myšlienku výskumu, viedol implementačné kroky a napísal článok. M. Mesgari A. ako konzultant, profesor, riadil implementačné kroky vo výskumnom centre a vykonával hematologické testy. Všetci autori schválili konečnú verziu článku.

Etické schválenie

Postupy na zvieratách boli schválené (13. januára 2021) v súlade s príslušnými usmerneniami etickou komisiou pre výskum zvierat Islamskej univerzity Azad (číslo schválenia: 162330414) a boli implementované. na Lekárskej univerzite v Tabrize.

Financovanie

Tento výskum sa uskutočnil na osobné náklady študenta magisterského štúdia (Ali Dehghan).

Konflikt záujmov

Žiadne

Referencie

1. Gye MC, Park CJ. Vplyv vystavenia elektromagnetickému poľu na reprodukčný systém. *Clin Exp Reprod Med.*2012;**39**(1):1-9. doi: 10.5653/cerm.2012.39.1.1. PubMed PMID: 22563544. PubMed PMCID: PMC3341445.
2. Jabbari Vesal N, Rostampour N, Abbasali Pourkabir R, Nikzad S. Skúmanie vplyvu magnetického poľa na kortizol, hladinu cukru v krvi, trijódtyronín a tyroxín u potkanov. Pajouhan Scientific Journal. 2018;**16**(3): 67-74. doi: 10.18869/psj.16.3.67.
3. Dämvik M, Johansson O. Posúdenie zdravotných rizík elektromagnetických polí: konflikt medzi zásadou preventívnej opatrnosti a metodológiou environmentálnej medicíny.*Rev. Environ Health.*2010; **25**(4):325-33. doi: 10.1515/reveh.2010.25.4.325. PubMed PMID: 21268445.
4. Khurana VG, Teo C, Kundi M, Hardell L, Carlberg M. Mobilné telefóny a mozgové nádory: prehľad vrátane dlhodobých epidemiologických údajov. *Chirurgický neurológ.*2009;**72**(3): 205-14. doi: 10.1016/j.surneu.2009.01.019. PubMed PMID: 19328536.
5. Teepen JC, van Dijck JA. Vplyv vysokých úrovní elektromagnetického poľa na výskyt detskej leukémie. *Medzinárodný časopis pre rakovinu.*2012;**131**(4): 769-78. doi: 10.1002/ijc.27542. PubMed PMID: 22437882.
6. Wertheimer N, Leeper E. Konfigurácie elektrického vedenia a rakovina u detí.*Am J Epidemiol.* 1979;**109** (3):273-84. doi: 10.1093/oxfordjournals.aje.a112681. PubMed PMID: 453167.
7. Frazier ME, Reese JA, Morris JE, Jostes RF, Miller DL. Vystavenie cicavčích buniek magnetickým alebo elektrickým poliam s frekvenciou 60 Hz: analýza opravy DNA indukovaných jednovláknových zlomov. *Bioelektromagnetika*1990;**11**(3): 229-34. doi: 10.1002/bem.2250110304. PubMed PMID: 2268378.
8. Focke F, Schuermann D, Kuster N, Schär P. Fragmentácia DNA v ľudských fibroblastoch pri vystavení elektromagnetickému poľu extrémne nízkej frekvencie.*Mutat Res*2010;**683**(1-2):74-83. doi: 10.1016/j.mrfmmm.2009.10.012. PubMed PMID: 19896957.
9. Franzellitti S, Valbonesi P, Ciancaglini N, Biondi C, Contin A, Bersani F, Fabbri E. Prechodné poškodenie DNA vyvolané vysokofrekvenčnými elektromagnetickými poľami (GSM 1,8 GHz) v bunkovej línii ľudského trofoblastu HTR-8/SVneo hodnotené pomocou alkalického kometového testu. *Mutat Res.*2010;**683**(1-2):35-42. doi: 10.1016/j.mrfmmm.2009.10.004. PubMed PMID: 19822160.
10. SierosA, Cieślar G. Zastosowanie zmiennych pól magnetycznych w medycynie--15-letnie badania wŁAplikácia premenných magnetických polí v medicíne – 15 rokov skúseností.*Wiad Lek.* 2003; **56**(9-10):434-41. PubMed PMID: 15049208.
11. Hassan BF. SUB Chronické účinky vystavenia dospelých samíc potkanov elektromagnetickému poľu na niektorých

hormonálne, biochemické a hematologické parametre. *Diyala J. Poľnohospodárske vedy.*2011;**3**(1):47-53.

12. Volkow ND, Tomasi D, Wang GJ, Fowler JS, Telang F, Wang R a kol. Účinky magnetickej stimulácie s nízkym poľom na metabolizmus glukózy v mozgu. *Neuroimage.*2010;**51**(2):623-8. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.02.015. PubMed PMID: 20156571. PubMed PMCID: PMC2862488.
13. Hussein AM, Hatem AE, Abbas MK, Abdalla GE, Rady KE, Abdel-Samad SS, Eweis MA. Vplyv magnetického poľa na metabolizmus a aktivitu enzýmov u niektorých druhov škodlivého hmyzu.*Minufiya J z Agric Res.*2015;**40**(4): 999-1009. doi: 10.21608/mjapam.2015.331947.
14. Beck B, JĆdrzejowska-Szypuáka H, Cholewka A, Król W, Drzazga Z. Vplyv extrémne nízkofrekvenčného magnetického poľa na koncentráciu imunoglobulínu G v sére.*Pol J Envir Stud.* 2005;**14**:439-45.
15. Koh EK, Ryu BK, Jeong DY, Bang IS, Nam MH, Chae KS. 60 Hz sínusové magnetické pole indukuje apoptózu buniek rakoviny prostaty prostredníctvom reaktívnych foriem kyslíka.*Medzinárodný časopis Radiat Biol.*2008;**84**(11):945-55. doi: 10.1080/09553000802460206. PubMed PMID: 19016143.
16. Kundi M, Hardell L, Sage C, Sobel E. Elektromagnetické polia a zásada predbežnej opatrnosti.*Perspektíva environmentálneho zdravia.*2009;**117**(11):484-5. doi: 10.1289/ehp.0901111. PubMed PMID: 20049098. PubMed PMCID: PMC2801197.
17. Ahlbom A, Feychting M, Green A, Kheifets L, Savitz DA, Swerdlow AJ. Stály výbor pre epidemiológiu ICNIRP (Medzinárodná komisia pre ochranu pred neionizujúcim žiarením). Epidemiologické dôkazy o mobilných telefónoch a riziku nádorov: prehľad. *Epidemiológia*2009;**20**(5):639-52. doi: 10.1097/EDE.0b013e3181b0927d. PubMed PMID: 19593153.
18. Calvente I, Fernandez MF, Villalba J, Olea N, Nuñez MI. Vystavenie elektromagnetickým poliam (neionizujúce žiarenie) a jeho vzťah k detskej leukémii: systematický prehľad.*Sci Total Environ.* 2010;**408**(16): 3062-9. doi: 10.1016/j.scitotenv.2010.03.039. PubMed PMID: 20451240.
19. Wertheimer N, Leeper E. Rakovina u dospelých súvisiaca s elektrickými vodičmi v blízkosti domu.*Medzinárodný časopis Epidemiol.* 1982;**11**(4): 345-55. doi: 10.1093/ije/11.4.345. PubMed PMID: 7152787.
20. Reese JA, Jostes RF, Frazier ME. Vystavenie cicavčích buniek magnetickým alebo elektrickým poliam s frekvenciou 60 Hz: analýza jednovláknových zlomov DNA.*Bioelektromagnetika.*1988;**9**(3): 237-47. doi: 10.1002/ bem.2250090305. PubMed PMID: 3178898.
21. Ivancsits S, Diem E, Pilger A, Rüdiger HW, Jahn O. Indukcia zlomov reťazca DNA prerušovaným vystavením extrémne nízkofrekvenčným elektromagnetickým poliam v ľudských diploidných fibroblastoch.*Mutat Res.*2002;**519**(1-2):1-13. doi: 10.1016/s1383-5718(02)00109-2. PubMed PMID: 12160887.
22. Duan W, Liu C, Zhang L, He M, Xu S, Chen C a kol. Porovnanie genotoxických účinkov vyvolaných extrémne nízkofrekvenčnými elektromagnetickými poľami s frekvenciou 50 Hz a rádiofrekvenčnými elektromagnetickými poľami s frekvenciou 1800 MHz v bunkách GC-2.*Radiat Res.* 2015;**183**(3):367-74. doi: 10.1667/RR13851.1. PubMed PMID: 25688995.
23. Reiter RJ. Prehľad neuroendokrinných a neurochemických zmien spojených s vystavením statickému a extrémne nízkofrekvenčnému elektromagnetickému poľu.*Integrálna fyziológia a správanie.*1993;**28**(1):57-75. doi: 10.1007/BF02691200. PubMed PMID: 8476743.
24. Lewczuk B, Redlarski G, Zak A, Ziółkowska N, Przybylska-Gornowicz B, Krawczuk M. Vplyv elektrických, magnetických a elektromagnetických polí na cirkadiánny systém: súčasný stav poznania. *Medzinárodný výskumný ústav Biomed*2014;**2014**:169459. doi: 10.1155/2014/169459. PubMed PMID: 25136557. PubMed PMCID: PMC4130204.
25. Haghnegahdar A, Khosrovpanah H, Andisheh-Tadbir A, Mortazavi G, Saeedi Moghadam M, Mortazavi SMJ a kol. Návrh a výroba Helmholtzových cievok na štúdium účinkov pulzných elektromagnetických polí na proces hojenia pri parodontitíde: predbežné výsledky na zvieratách.*J Biomed Phys. Eng.*2014;**4**(3):83-90. PMID v PubMed: 25505775. PMCID v PubMed: PMC4258865.
26. Bonhomme-Faivre L, Marion S, Forestier F, Santini R, Auclair H. Účinky elektromagnetických polí na imunitný systém ľudí a myší vystavených žiareniu v práci.*Arch Environ Health.*2003;**58**(11):712-7. doi: 10.3200/AEOH.58.11.712-717. PubMed PMID: 15702897.
27. Carrubba S, Marino AA. Účinky nízkofrekvenčných elektromagnetických polí environmentálnej intenzity na elektrickú aktivitu mozgu: kritický prehľad literatúry.*Elektromagnetická biológia a medicína.* 2008;**27**(2):83-101. doi: 10.1080/15368370802088758. PubMed PMID: 18568928.
28. Bonhomme-Faivre L, Macé A, Bezie Y, Marion S, Bindoula G, Szekely AM a kol. Zmeny biologických parametrov u myší chronicky vystavených nízkofrekvenčným (50 Hz) elektromagnetickým poliam.*Vedy o živote.*1998;**62**(14):1271-80. doi: 10.1016/s0024-3205(98)00057-5. PubMed PMID: 9570342.
29. Woldasska-Okosska M, Czernicki J, Karásek M.

Vplyv nízkofrekvenčných magnetických polí rôznych parametrov na sekréciu kortizolu u mužov.*Int J Occup Med Environment Health.* 2013;**26**(1):92-101. doi: 10.2478/s13382-013-0090-6. PubMed PMID: 23576151.

30. Mohamed DA, Elnegris HM. Histologická štúdia štítnej žľazy po experimentálnom vystavení nízkofrekvenčným elektromagnetickým poliam u dospelého samca albínskych potkanov a možná ochranná úloha vitamínu E. *J Cytol Histol.*2015;**6**(6):1-8. doi; 10.4172/2157-7099.1000374.
31. Mesgari-Abbasi M, Valizadeh H, Mirzakhani N, Vahdatpour T. Ochranné účinky di- a tripeptidov obsahujúcich prolín, glycín a leucín na enzymológiu pečene a histopatológiu diabetu myši.*Arch Physiol Biochem.*2022;**128**(1):59-68. doi: 10.1080/13813455.2019.1662453. PubMed PMID: 31496300.
32. Sieron A, Konencki J, Ciesar G, Szkilnik R, Nowak P, Norasl L a kol. Vplyv nízkofrekvenčných elektromagnetických polí na príjem (3H) glukózy v tkanivách potkanov.*Poľský J of Environ stud.*2007;**10** (2):309-12.
33. Shekoohi Shooli F, Mortazavi SA, Jarideh S, Nematollahii S, Yousefi F, Haghani M a kol. Krátkodobé vystavenie elektromagnetickým poliam generovaným rušičkami mobilných telefónov znižuje hladinu cukru v krvi nalačno u dospelých samcov potkanov.*J Biomed Phys. Eng.*2016;**6**(1):27-32. PMID v PubMed: 27026952. PMCID v PubMed: PMC4795326.