

Actualizado al 5 de abril de 2022

Literatura sobre los efectos neurológicos de la electricidad estática y de frecuencias extremadamente bajas Campos electromagnéticos (2007-2022)

De un total de 311 estudios:

E = 283 (91%)

NE = 28 (9%)

(E = efecto reportado NE = no se reportó ningún efecto significativo)

Claves: AS- estudio animal; CS- estudio celular/in vitro; CE- exposición crónica/repetida; AE- exposición aguda; HU- estudio humano; MC- cambios morfológicos; CC- cambios químicos; FC- cambios funcionales; EE- cambios electrofisiológicos; BE- efecto conductual; OX- cambios oxidativos; DE- desarrollo; MA- posible aplicación médica; ND- enfermedad neurodegenerativa; EF- campo eléctrico; IX- interactúa con otras entidades.

(E) Acikgoz B, Ersoy N, Aksu I, Kiray A, Bagriyanik HA, Kiray M. DIFERENCIAS DE GÉNERO EN LOS EFECTOS DE LA EXPOSICIÓN PRENATAL Y POSNATAL AL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO Y AL ZINC PRENATAL EN EL COMPORTAMIENTO Y LAS PROTEÍNAS SINÁPTICAS EN RATAS. J Chem Neuroanat 29 de marzo de 2022;102092. doi: 10.1016/j.jchemneu.2022.102092. En línea antes de su publicación impresa. (AS, CE, BE, CC, DE)

Los seres humanos están expuestos a campos electromagnéticos (CEM) de diversas fuentes a lo largo de la vida. Debido a que los humanos se ven fácilmente afectados por factores ambientales durante el desarrollo temprano, se cree que los campos electromagnéticos pueden causar cambios estructurales y funcionales en el cerebro en desarrollo que pueden conducir a cambios de comportamiento. Este artículo investiga el impacto de la exposición a campos electromagnéticos y la suplementación con zinc durante los períodos prenatal y posnatal en los cambios de comportamiento y las proteínas sinápticas de una manera dependiente del género. Se utilizaron crías de cuatro grupos de ratas preñadas: Sham, CEM (5 días/semana, 4 h/día de exposición a CEM aplicada), Sham + Zinc (5 días/semana, 5 mg/kg/día de zinc aplicado) y CEM + Zinc (5 días/semana, 4 h/día de exposición a CEM y 5 mg/kg/día de zinc aplicado). La exposición a CEM y la suplementación con zinc se iniciaron desde el primer día de embarazo hasta el 42.º día posnatal. Se examinaron los niveles de zinc en sangre, los niveles de NLGN3 y SHANK3 en el hipocampo y la amígdala, y las estructuras sinápticas en la amígdala. Las pruebas de comportamiento mostraron que la exposición a los campos electromagnéticos no tuvo efecto sobre el comportamiento social, pero afectó negativamente a la actividad y al comportamiento exploratorio, y condujo a un aumento de la formación de ansiedad. La suplementación con zinc tuvo un efecto parcialmente positivo en las crías femeninas, pero no en los machos. Las proteínas SHANK3 y NLGN3 fueron significativamente más bajas en los grupos de campos electromagnéticos, sin embargo, no se encontró ningún efecto positivo de la suplementación con zinc. En conclusión, la exposición a los campos electromagnéticos puede alterar los niveles de proteínas sinápticas en el cerebro en desarrollo, lo que conduce a cambios de comportamiento de una manera dependiente del género. La evaluación de la suplementación con zinc en diferentes dosis podría ser beneficiosa para prevenir o reducir los efectos conductuales y estructurales de los campos electromagnéticos.

(F) (E) Afrasiabi A, Riazi GH, Abbasi S, Dadras A, Ghalandari B, Seidkhani H, Modaresi SM, Masoudian N, Amani A, Ahmadian S. Patrón de variación de la actividad de la acetilcolinesterasa sinaptosómica en presencia de campos electromagnéticos. *Int J Biol Macromol.* 65:8-15, 2014. (CS, AE, CC, MA)

La acetilcolinesterasa (AChE) es la enzima que controla las concentraciones de acetilcolina (ACh) en las hendiduras sinápticas colinérgicas mediante la hidrólisis de la ACh a colina y acetato. Las sinapsis colinérgicas están involucradas en funciones importantes como el aprendizaje, la memoria y la cognición. En este estudio, investigamos los efectos de una amplia gama de campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) en las concentraciones de ACh sináptica a través del ensayo de actividad enzimática de AChE. Las suspensiones de sinaptosomas se prepararon como un terminal neural de la corteza cerebral del cerebro de oveja. Los sinaptosomas preparados se expusieron a ELF-EMF con una frecuencia que oscilaba entre 50 Hz y 230 Hz durante una duración de entre 15 y 120 min y una intensidad de flujo de entre 0,1 mT y 1,7 mT. En consecuencia, la actividad de AChE se midió mediante el método de Ellman. Los datos brutos se analizaron mediante el software basado en redes neuronales Inform 4.02 para predecir el patrón de actividad de la AChE a través de nueve curvas 3D. Estas curvas mostraron que la actividad de la AChE disminuye cuando se expone a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF) de una intensidad de 1,2 mT a 1,7 mT y una frecuencia de 50 Hz a 90 Hz. Por lo tanto, se propone que la exposición a campos en este rango de frecuencia-intensidad sería eficaz en tratamientos clínicos de trastornos colinérgicos para aumentar la concentración de ACh sináptica. Sin embargo, se necesitan más experimentos in vivo para desarrollar este tratamiento sugerido.

(F) (E) Ahmed Z, Wieraszko A. El mecanismo del aumento de la excitabilidad inducido por el campo magnético en las neuronas del hipocampo. *Brain Res.* 1221:30-40, 2008. (CS, AE, EE)

Se ha investigado in vitro la influencia de un campo magnético pulsado (PMF) en los potenciales evocados del hipocampo. La exposición a PMF (0,16 Hz, 15 mT) aplicada durante 30 min amplificó el pico de población y la pendiente de los EPSP registrados en el estrato piramidal y el estrato radiatum respectivamente. Esta amplificación fue aditiva a la LTP inducida previamente y se produjo de forma independiente de NMDA. El aumento de la actividad de las sinapsis eléctricas acompañó la amplificación de los potenciales evocados inducida por PMF. Dado que la exposición a PMF modificó la facilitación y la inhibición de pulsos pareados, se concluyó que modifica los procesos excitatorios e inhibidores en el hipocampo. Los experimentos de control revelaron que los efectos observados estaban relacionados exclusivamente con la exposición a PMF. Los resultados respaldan y amplían nuestra investigación previa que indica una influencia significativa de los campos magnéticos en la fisiología del hipocampo.

(B) (MA) (E) Akbarnejad Z, Esmaeilpour K, Shabani M, Asadi-Shekaari M, Saeedi-Goragani M, Ahmadi M. Recuperación de la memoria espacial en un modelo de rata con Alzheimer mediante exposición a campos electromagnéticos. *Int J Neurosci.* 128(8):691-696, 2018. (COMO, CE, BE, CC, ND, MA)

INTRODUCCIÓN: Aunque los estudios han demostrado una asociación potencial entre la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) y la enfermedad de Alzheimer (EA), se han realizado pocos estudios para investigar los efectos de los campos magnéticos débiles en las funciones cerebrales, como las funciones cognitivas, en modelos animales.

Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo investigar el efecto de la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF) (50 Hz, 10

mT) sobre el aprendizaje espacial y los cambios en la memoria en ratas con EA. MÉTODOS: Amiloide- β ($A\beta$) 1-Se inyectó 42 (5 μ l/bilateral, dosis única) en el ventrículo lateral para establecer un modelo de rata con EA. Las ratas se dividieron en seis grupos: Grupo I (control); Grupo II (simulación quirúrgica); Grupo III (EA) modelo de rata con Alzheimer; Grupo IV (MF) ratas expuestas a ELF-MF durante 14 días consecutivos; Grupo V (inyección de $A\beta$ +M) ratas expuestas a un campo magnético durante 14 días consecutivos desde el día 0 hasta el día 14 después de la inyección del péptido $A\beta$; Grupo VI (EA+M) ratas expuestas a un campo magnético durante 14 días consecutivos después de 2 semanas de inyección del péptido $A\beta$ desde el día 14 al 28. Se implementó la investigación del laberinto acuático de Morris y se realizó 24 h después de la finalización de ELF-MF, respectivamente. RESULTADOS: Las ratas con EA mostraron un deterioro significativo en el aprendizaje y la memoria en comparación con las ratas de control. Los resultados mostraron que ELF-MF mejoró los deterioros en el aprendizaje y la memoria en los grupos de inyección de $A\beta$ +M y EA+M. CONCLUSIÓN: Nuestros resultados mostraron que la aplicación de ELF-MF no solo tiene un efecto de mejora en diferentes signos de trastornos cognitivos de los animales con EA, sino que también altera los procesos de formación del modelo de rata con EA.

(F) (E) Akdag MZ, Dasdag S, Ulukaya E, Uzunlar AK, Kurt MA, Taşkin A. Efectos del campo magnético de frecuencia extremadamente baja en las actividades de la caspasa y los valores de estrés oxidativo en el cerebro de ratas. Biol Trace Elem Res. 138(1-3):238-249, 2010. (OX, AS, CC, CE)

Este estudio tuvo como objetivo investigar el efecto del campo magnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) sobre la apoptosis y los valores de estrés oxidativo en el cerebro de ratas. Las ratas fueron expuestas a 100 y 500 μ T ELF-MF, que son los estándares de seguridad de la exposición pública y ocupacional durante 2 h/día durante 10 meses. Los tejidos cerebrales se tiñeron inmunohistoquímicamente para la caspasa-3 activa (escindida) con el fin de medir el índice apoptótico mediante un sistema de puntuación semicuantitativo. Además, se midieron los niveles de catalasa (CAT), malondialdehído (MDA), mieloperoxidasa (MPO), capacidad antioxidante total (TAC), estado oxidante total (TOS) e índice de estrés oxidativo (OSI) en el cerebro de ratas. La puntuación final de apoptosis y actividad de MPO no fue significativamente diferente entre los grupos. La actividad de CAT disminuyó en ambos grupos de exposición ($p < 0,05$), mientras que se encontró que el TAC era menor en el grupo ELF 500 que en los grupos ELF-100 y placebo ($p < 0,05$). Se encontró que los valores de MDA, TOS y OSI eran mayores en el grupo ELF-500 que en los grupos ELF-100 y placebo. grupos ($p < 0,05$). En conclusión, la apoptosis no se modificó con la exposición a ELF-MF a largo plazo, mientras que la exposición a ELF-MF de 100 y 500 μ T indujo un efecto tóxico en el cerebro de la rata al aumentar el estrés oxidativo y disminuir el sistema de defensa antioxidante.

(F) (OX) (MA) (E) Akdag MZ, Dasdag S, Cakir DU, Yokus B, Kizil G, Kizil M. ¿Los campos magnéticos de 100 y 500 μ T ELF alteran la proteína beta-amiloide, el carbonilo proteico y el malondialdehído en cerebros de ratas? Electromagn Biol Med. 32(3):363-372, 2013. (AS, CE, CC, OX)

Varios estudios aún afirman que las normas de seguridad actualmente aceptadas para los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) no proporcionan una protección adecuada y, por lo tanto, las normas aún están abiertas a discusión. Para ayudar a resolver esta pregunta, el objetivo de este estudio fue arrojar luz sobre la interacción entre las biomoléculas y los ELF-MF investigando el efecto de los ELF-MF sobre la proteína beta-amiloide (BAP), el carbonilo proteico (PC) y el malondialdehído (MDA) en el cerebro de ratas. Para este estudio, se utilizaron 30 ratas Sprague-Dawley macho adultas, que se dividieron en dos grupos experimentales y un grupo de exposición simulada. Las ratas de dos grupos experimentales fueron expuestas a 100 y

500- μ T ELF-MFs (50 Hz) durante 2 h/día durante 10 meses, que son los estándares de seguridad generalmente aceptados para exposiciones públicas y ocupacionales. Los mismos procedimientos se aplicaron a las ratas en el grupo de simulación, pero con el generador apagado. Los resultados de este estudio mostraron que ninguno de los ELF-MFs utilizados en este estudio alteró el nivel de BAP significativamente ($p > 0,05$). Sin embargo, los niveles de PC y MDA aumentaron con la exposición a 100 y 500- μ T ELF-MFs ($p < 0,0001$). En conclusión, tanto los niveles de PC como de MDA se alteraron con la exposición a largo plazo a 100 o 500 μ T ELF-MFs. Sin embargo, se requerirán muchos estudios adicionales y más completos para dilucidar los mecanismos de interacción entre la exposición a ELF-MFs y los organismos vivos.

(F) (OX) (E) Akpinar D, Ozturk N, Ozen S, Agar A, Yargicoglu P. El efecto de diferentes intensidades de campos eléctricos de frecuencia extremadamente baja sobre el estado antioxidante, la peroxidación lipídica y los potenciales evocados visuales. *Electromagn Biol Med.* 31(4):436-448, 2012. (AS, CE, OX, EE)

El objetivo del estudio fue investigar los efectos del campo eléctrico de frecuencia extremadamente baja (FEB) sobre el potencial evocado visual (PEV), las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (SBARS), el estado antioxidante total (SAT), el estado oxidante total (SOT) y el índice de estrés oxidativo (IEO). Treinta ratas Wistar hembras, de 3 meses de edad, se dividieron en tres grupos iguales: Control (C), el grupo expuesto al FE a una intensidad de 12 kV/m (E12) y el grupo expuesto al FE a una intensidad de 18 kV/m (E18). Se aplicó un campo eléctrico a los grupos E12 y E18 durante 14 días (1 h/día). Los SBARS, el SOT y el IEO del cerebro y la retina aumentaron significativamente en los grupos E12 y E18 con respecto al grupo control. Además, los niveles de SBARS aumentaron significativamente en el grupo E18 en comparación con el grupo E12. Los campos eléctricos redujeron significativamente los niveles de TAS tanto en el cerebro como en la retina en los grupos E12 y E18 con respecto al grupo de control. Todos los componentes de los VEP se prolongaron significativamente en las ratas expuestas a campos eléctricos en comparación con el grupo de control. Además, todas las latencias de los componentes de los VEP aumentaron en el grupo E18 con respecto al grupo E12. Es concebible sugerir que la peroxidación lipídica inducida por EF puede desempeñar un papel importante en los cambios de los parámetros de los VEP.

(E) Albert L, Olivier F, Jolivet A, Chauvaud L, Chauvaud S. Perspectivas sobre las respuestas conductuales de las rayas juveniles Raja clavata a los campos magnéticos de corriente alterna y continua. *J Fish Biol* 2021 18 de diciembre. doi: 10.1111/jfb.14978. En línea antes de su publicación impresa. (AS, AE, BE)

Como parte de la transición energética, los dispositivos de energía renovable marina (MRED) se están expandiendo actualmente en los países desarrollados, lo que induce el despliegue de densas redes de cables eléctricos submarinos. Por lo tanto, ha surgido preocupación sobre las emisiones magnéticas del cable (corriente continua o alterna) debido a la posible interferencia con el entorno sensorial de especies magnetosensibles, como tiburones y rayas. Este estudio buscó evaluar las respuestas conductuales a corto plazo de las rayas espinosas juveniles (Raja clavata) ($n = 15$) a campos magnéticos artificiales directos y alternos (50 Hz) uniformes de 450 μ T utilizando un diseño de muestreo focal de 1 h basado en un etograma detallado. Se obtuvo un control cuidadoso de las escalas temporales y espaciales de los campos magnéticos en condiciones de laboratorio a través de un dispositivo de bobina de Helmholtz hecho a medida. En general, las respuestas conductuales cualitativas o cuantitativas de las rayas juveniles no variaron significativamente entre los individuos de control y los expuestos durante el período de la mañana. No obstante, las rayas bajo un campo magnético de corriente continua aumentaron su actividad durante el período del mediodía. También se observaron patrones de sincronización para los individuos que recibieron

Exposición a corriente alterna (similitudes cronológicas y cualitativas) junto con una alta varianza interindividual. Estudios futuros deberían considerar grupos más grandes de ejemplares jóvenes para abordar el efecto de la exposición a largo plazo y explorar el rango de sensibilidad de los rayos con diseños de dosis-respuesta.

(F) (NE) Aldinucci C, Carretta A, Maiorca SM, Leoncini S, Signorini C, Ciccoli L, Pessina GP. Efectos de los campos electromagnéticos de 50 Hz en los sinaptosomas corticales de rata. *Toxicol Ind Salud*. 25(4-5):249-252, 2009. (CS, CC, AE)

Las células nerviosas son muy sensibles a los campos electromagnéticos pulsados débiles (CEM). Esta radiación no ionizante, con frecuencias de 0-300 Hz y 0,1-100 mT, puede afectar a varias actividades celulares, con características dosis-respuesta inusuales. El presente estudio examinó el efecto de una exposición de 2 horas de los sinaptosomas en un sistema que genera un campo magnético pico de 2 mT. Evaluamos los cambios en la tasa de respiración mitocondrial sinaptosómica y la producción de ATP, el potencial de membrana, la concentración intrasinaptosomal de Ca^{2+} y la liberación de hierro libre y F2-isoprostanos. El consumo de O_2 y la producción de ATP se mantuvieron sin cambios en los sinaptosomas expuestos. La concentración intrasinaptosomal de Ca^{2+} disminuyó lentamente y no se detectó despolarización de la membrana sinaptosómica. Finalmente, la liberación de hierro libre y F2-isoprostanos por suspensiones sinaptosómicas también se mantuvo sin cambios después de la exposición a los CEM. Estos resultados indican que el comportamiento fisiológico de los sinaptosomas corticales no se vio afectado por los campos electromagnéticos pulsados débiles.

(B) (E) Alizadeh MAM, Abrari K, Blouki TL, Ghorbanian MT, Jadidi M. El campo electromagnético pulsado atenuó la falla inducida por el TEPT en la extinción del miedo condicionado. *Iran J Basic Med Sci* 22(6):650-659, 2019. (AS, CE, BE, MA)

Objetivos: Este estudio tuvo como objetivo determinar si la exposición a campos electromagnéticos pulsados (PEMF) puede afectar el comportamiento deficiente inducido por el TEPT, y también sus posibles efectos sobre la neurogénesis hipocámpal. Los PEMF se utilizaron como una herramienta terapéutica no invasiva en psiquiatría. Materiales y métodos: Las ratas macho se dividieron en grupos de exposición simulada de control, control-PEMF, exposición simulada de TEPT y TEPT-PEMF. Las ratas con TEPT fueron sometidas a procedimientos de estrés prolongado único y luego condicionadas mediante el aparato de condicionamiento del miedo contextual. Las ratas de control solo fueron condicionadas. Las ratas experimentales fueron sometidas a PEMF diario (7 mT, 30 Hz durante 16 min/día, 14 días). Los grupos expuestos a Sham fueron sometidos al aparato PEMF apagado. Se evaluaron la extinción del miedo, el miedo y la ansiedad sensibilizados, la densidad celular en el hipocampo y la tasa de proliferación y supervivencia de las células marcadas con BrdU. Resultados: La congelación de las ratas TEPT-PEMF fue significativamente menor que la de las expuestas a TEPT-Sham. En el TEPT-PEMF, el centro y el cruce total en campo abierto, también el porcentaje de entrada de brazos abiertos y el tiempo en el laberinto en cruz elevado, aumentaron significativamente en comparación con la exposición a TEPT-Sham ($P < 0,001$). Los números de células CA1, CA3 y DG en los grupos expuestos a TEPT-PEMF y Control-Sham fueron significativamente mayores que en los expuestos a TEPT-Sham ($P < 0,001$). Hubo más células BrdU-positivas en el DG del PTSD-PEMF en comparación con el PTSD-Sham expuesto. Las observaciones cualitativas mostraron un mayor número de células BrdU-positivas supervivientes en el PTSD-PEMF en comparación con el PTSD-Sham expuesto. Conclusión: El uso de PEM de 14 días atenúa el fracaso inducido por el TEPT de

extinción del miedo condicionado y miedo sensibilizado exagerado, y esto podría estar relacionado con los efectos neuroprotectores de los campos magnéticos en el hipocampo.

(B) (E) Alsaeed I, Al-Somali F, Sakhnini L, Aljarallah OS, Hamdan RM, Bubishate SA, Sarfaraz ZK, Kamal A. Anormalidades sociales relacionadas con el autismo en ratones expuestos perinatalmente a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja. *Int J Dev Neurosci.* 37:58-64, 2014. (AS, CE, BE, DE)

La incidencia de los trastornos del espectro autista (TEA) ha aumentado, pero las causas de los TEA siguen sin identificarse en gran medida. Los datos colectivos han implicado la mayor exposición humana a los campos electromagnéticos (CEM) en la creciente incidencia de TEA. Se han establecido efectos biológicos de los CEM de frecuencia extremadamente baja (ELF), pero la relación con el TEA no se ha investigado lo suficiente. En este estudio examinamos los efectos de la exposición perinatal a los CEM de ELF en algunos parámetros de comportamiento relevantes para el TEA en ratones. El CEM se administró a través de un par de bobinas de Helmholtz. Se utilizaron ratones BALB/C machos y se dividieron en grupos expuestos y de control ($n = 8$ y $n = 9$, respectivamente). Se utilizaron pruebas para evaluar la sociabilidad, la preferencia por la novedad social, la locomoción, la ansiedad, el comportamiento exploratorio, la coordinación motora y el olfato. Los ratones examinados eran todos machos y estuvieron expuestos a CEM durante la última semana de gestación y durante 7 días después del parto. Los ratones expuestos demostraron una falta de sociabilidad normal y preferencia por la novedad social mientras mantenían un comportamiento normal parecido a la ansiedad, locomoción, coordinación motora y olfacción. Los ratones expuestos también demostraron una actividad exploratoria reducida. Concluimos que estos resultados respaldan la hipótesis de un vínculo causal entre la exposición a campos electromagnéticos de baja frecuencia y el TEA; Sin embargo, se recomiendan replicar el estudio con pruebas adicionales.

(F) (E) Amara S, Douki T, Gareil C, Favier A, Sakly M, Rhouma KB, Abdelmelek H.

Efectos de la exposición a campos magnéticos estáticos sobre la actividad de enzimas antioxidantes y el ADN en el cerebro de ratas. *Gen Physiol Biophys.* 28(3):260-265, 2009. (AS, CE, OX)

El presente estudio se realizó con el fin de investigar los efectos de la exposición a campos magnéticos estáticos (SMF) sobre la actividad de enzimas antioxidantes, la concentración de malondialdehído (MDA) y la oxidación del ADN en el cerebro de ratas macho. La exposición de ratas a SMF (128 mT, 1 h/día durante 30 días consecutivos) disminuyó la glutatión peroxidasa (GPx; -39%, $p < 0,05$), superóxido dismutasa CuZn (CuZn-SOD; -35%, $p < 0,05$) y catalasa (-59%, $p < 0,05$) en la corteza frontal. El mismo tratamiento disminuyó las actividades de CuZn-SOD (-51%, $p < 0,05$) y Mn-SOD (-13%, $p < 0,05$) en el hipocampo.

Sin embargo, los niveles de glutatión se mantuvieron sin cambios en ambas estructuras cerebrales. En el hipocampo, la exposición a SMF aumentó la concentración de MDA (+32%, $p < 0,05$).

Curiosamente, las ratas expuestas a SMF mostraron un aumento significativo del nivel de metalotioneínas en la corteza frontal (+100%, $p < 0,05$), mientras que la concentración de 8-oxo-7,8-dihidro-2'-desoxiguanosina (8-oxodGuo) permaneció inalterada, lo que indica la ausencia de oxidación del ADN. Nuestros resultados indicaron que la exposición subcrónica a SMF indujo estrés oxidativo en el hipocampo y la corteza frontal de la rata. La inducción de metalotioneínas probablemente protegió al ADN contra el daño oxidativo.

(F, OX) (E) Amara S, Douki T, Garrel C, Favier A, Ben Rhouma K, Sakly M, Abdelmelek H.

Efectos del campo magnético estático y del cadmio sobre el estrés oxidativo y el daño del ADN en la corteza cerebral y el hipocampo de ratas. *Toxicol Ind Health*. 27(2):99-106, 2011. (AS, CE, OX)

El presente estudio se realizó para determinar el efecto de la coexposición al campo magnético estático (SMF) y al cadmio (Cd) sobre la actividad de las enzimas antioxidantes y la integridad del ADN en el cerebro de ratas. La exposición subcrónica a CdCl₂ (CdCl₂, 40 mg/L, por vía oral) durante 30 días resultó en una reducción significativa de la actividad de las enzimas antioxidantes, como la glutatión peroxidasa (GPx), la catalasa (CAT) y la superóxido dismutasa (SOD) en la corteza frontal y el hipocampo. El GSH total disminuyó en la corteza frontal del grupo expuesto a Cd. La exposición a Cd indujo un aumento de la concentración de malondialdehído (MDA) en la corteza frontal y el hipocampo. Además, la misma exposición aumentó el nivel de 8-oxo-7,8-dihidro-2-desoxiguanosina (8-oxodGuo) en el cerebro de ratas.

Curiosamente, el efecto combinado de SMF (128 mT, 1 hora/día durante 30 días consecutivos) y CdCl₂ (40 mg/L, por vía oral) disminuyó la actividad de SOD y el nivel de glutatión en la corteza frontal en comparación con el grupo Cd. Además, la asociación entre SMF y Cd aumentó la concentración de MDA en la corteza frontal en comparación con las ratas expuestas a Cd. El análisis de ADN reveló que la exposición a SMF no alteró la concentración de 8-oxodGuo en ratas expuestas a Cd. Nuestros datos mostraron que la exposición a Cd alteró la actividad de las enzimas antioxidantes e indujo lesiones oxidativas del ADN en el cerebro de la rata. El efecto combinado de SMF y Cd aumentó el daño oxidativo en el cerebro de la rata en comparación con las ratas expuestas a Cd.

(B, MA) (E) Ambalayam S, Jain S, Mathur R. La conducta alimentaria anormal en ratas espinalizadas está mediada por el hipotálamo: efecto restaurador de la exposición a un campo magnético de frecuencia extremadamente baja. *Spinal Cord*. 54:1076-1087, 2016. (AS, CE, BE, MA)

DISEÑO DEL ESTUDIO: Estudio experimental. OBJETIVOS: Investigar el papel del hipotálamo en la conducta alimentaria anormal después de una lesión de la médula espinal (LME) y el efecto de la exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) sobre dicho comportamiento. ÁMBITO: India. MÉTODOS: Se dividieron ratas Wistar macho (n=44) en grupos Sham (laminectomía), SCI (transección completa de la médula espinal T13), SCI+MF (exposición ELF-MF a ratas SCI), VMHL (lesión del hipotálamo ventromedial; VMH), SCI+VMHL (VMHL después de SCI) y SCI+VMHL+MF (exposición ELF-MF a ratas SCI+VMHL). Se estudiaron la ingesta de alimento (FI), la ingesta de agua (WI), la ingesta de calorías (CI), el peso corporal (BWT), la preferencia gustativa y la respuesta bifásica inducida por sacarosa (SIB) al estímulo nocivo antes y después de la cirugía.

La actividad neuronal en el VMH se evaluó mediante inmunohistoquímica con c-Fos. El grado de degeneración y regeneración neuronal en la médula espinal se evaluó microscópicamente.

RESULTADOS: Los datos revelaron una disminución posterior a la lesión medular en FI, WI, CI y BWT, preferencia por cloruro de sodio y ácido cítrico, fase analgésica prolongada de SIB y aumento de la inmunorreactividad de c-Fos en VMH de ratas con LME en comparación con ratas simuladas. La lesión de VMH aumentó FI, WI, CI, BW, preferencia por saborizantes dulces y eliminó SIB, mientras que en ratas con LME + VMHL eliminó los efectos de la LME en estos parámetros, lo que indica una probable participación de

VMH en la alteración de la conducta alimentaria inducida por LME. La exposición a MF mejoró los parámetros del estudio en ratas con LME y redujo la inmunorreactividad de c-Fos en VMH, además de reducir el volumen de la lesión, aumentar la mielinización y la regeneración neuronal en el sitio de la LME.

CONCLUSIÓN: La LME influye en el VMH, provocando una alteración del comportamiento alimentario, que mejora con la exposición a ELF-MF.

(F, MA) (E) Amirifalah Z, Firoozabadi SM, Shafiei SA. Exposición local de áreas centrales del cerebro a un campo magnético ELF pulsado para un cambio intencional en el EEG. Clin EEG Neurosci. 44(1):44-52, 2013. (HU, EE)

Este estudio examina la exposición simultánea de dos áreas cerebrales en la ubicación de los electrodos centrales (C3 y C4) a un campo magnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) débil y pulsado en el electroencefalograma (EEG). La intención es cambiar el EEG para una aplicación terapéutica, como el neurofeedback, induciendo el "efecto de resonancia". Un total de 10 mujeres sanas recibieron 9 minutos de ELF-MF (intensidad 200 μ T) y simulación en un diseño contrabalanceado.

Las frecuencias de exposición a ELF-MF fueron de 10, 14 y 18 Hz. La prueba t pareada reveló que la ELF-MF pulsada local disminuye significativamente las potencias beta (15-25 Hz), del ritmo sensoriomotor (13-15 Hz) y theta (4-8 Hz) a una frecuencia de 10 Hz en las regiones C3 y C4 (12,0%-26,6%) después de la exposición, en comparación con la alcanzada durante la exposición ($P < .05$). Las variaciones durante la exposición fueron transitorias y diferentes de las posteriores. El efecto de resonancia no se observó en ninguna parte alrededor de las regiones. El estudio sugiere que esta técnica puede aplicarse en el tratamiento de la ansiedad; sin embargo, se necesita más investigación.

(E) Ammari M, Jeljeli M, Maaroufi K, Roy V, Sakly M, Hafedh Abdelmelek H. La exposición a campos magnéticos estáticos afecta el comportamiento y el aprendizaje en ratas. Electromagn Biol Med 27(2):185-196, 2008.(AS, CE, BE)

El presente trabajo investigó los efectos conductuales de una exposición moderada (1 h por día durante 5 días consecutivos) a un campo magnético estático (SMF, 128 mT) en ratas macho. Los efectos del SMF se evaluaron en dos grupos de ratas de control y expuestas al SMF. Un grupo de animales se utilizó para evaluar los efectos potenciales del SMF sobre los comportamientos emocionales en el laberinto elevado y en campo abierto. El otro grupo de animales se evaluó en cuanto a las capacidades de aprendizaje y memoria en diferentes procedimientos de la tarea del laberinto acuático de Morris. No encontramos diferencias significativas entre las ratas de control y las expuestas al SMF en las pruebas de ansiedad. Sin embargo, la proporción de tiempo de brazos abiertos en el laberinto en cruz se redujo a la mitad en las ratas expuestas al SMF. En el laberinto acuático de Morris, las ratas expuestas al SMF se vieron parcialmente afectadas durante la tarea de aprendizaje inicial, así como en la tarea de retención a la semana. Concluimos que la exposición al campo magnético estático alteró los comportamientos emocionales en el laberinto en cruz y condujo a deterioros cognitivos, o al menos a trastornos de atención importantes, en el laberinto acuático.

(B) (NE) Andrianome S, Hugueville L, de Seze R, Hanot-Roy M, Blazy K, Gamez C, Selmaoui B. Trastornos del sueño en personas con intolerancia ambiental idiopática atribuida a campos electromagnéticos (IEI-EMF): evaluación de la melatonina como marcador biológico. Bioelectromagnetics. 37:175-182, 2016. (HU, CC)

Las personas que sufren de intolerancia ambiental idiopática atribuida a campos electromagnéticos (IEI-EMF) se quejan de una variedad de efectos adversos para la salud. El sueño alterado sigue siendo un síntoma recurrente y común en las personas con IEI-EMF. La melatonina, una hormona circadiana, desempeña un papel importante en el proceso del sueño. En este estudio, comparamos los niveles de melatonina entre un grupo sensible (IEI-EMF, $n = 30$) y un grupo de control no sensible (no IEI-EMF, $n = 25$) sin exposición a fuentes electromagnéticas. Se utilizaron tres cuestionarios para evaluar la calidad subjetiva y la cantidad de sueño: la Escala de somnolencia de Epworth, el Índice de calidad del sueño de Pittsburgh y el Inventario de sueño de Spiegel. La melatonina se cuantificó en la saliva y su principal metabolito 6-sulfatoximelatonina (aMT6s) en la orina. Los niveles de melatonina se compararon mediante un análisis de varianza de dos vías en varios momentos entre el grupo de control y el grupo IEI-EMF. A pesar de que las puntuaciones de sueño fueron significativamente diferentes entre los dos grupos, con una puntuación más baja en el grupo IEI-EMF ($P < 0,001$), no se encontraron diferencias estadísticas entre los dos grupos para la melatonina en la saliva ($P > 0,05$) y la aMT6s en la orina ($P > 0,05$).

(F, B, MA, OX) (E) Ansari AM, Farzampour S, Sadr A, Shekarchi B, Majidzadeh-A K.

Efectos de un campo magnético de frecuencia extremadamente baja a corto y largo plazo sobre el trastorno depresivo en ratones: participación de la vía del óxido nítrico. Life Sci. 146:52-57, 2016. (AS, AE, CE, BE, OX)

OBJETIVOS: Los informes previos sobre los posibles efectos de los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF MF) en el estado de ánimo han sido paradójicos en diferentes entornos, mientras que aún no se ha realizado ningún estudio sobre el comportamiento animal. Además, se demostró que la exposición a ELF MF produce un aumento en el nivel de óxido nítrico en el cerebro. Por lo tanto, en el estudio actual, nos propusimos evaluar el posible efecto(s) de la exposición a ELF MF en ratones de prueba de natación forzada (FST) y evaluar el papel probable del aumento del nivel de óxido nítrico en el comportamiento observado. MÉTODOS PRINCIPALES: Se reclutaron ratones adultos machos NMRI para investigar la exposición a ELF MF a corto y largo plazo (0,5 mT y 50 Hz, una sola 2 h y 2 semanas 2 h al día). El comportamiento locomotor se evaluó utilizando la prueba de campo abierto (OFT) seguida de FST para evaluar el tiempo de inmovilidad. En consecuencia, se utilizó N Ω -nitro-L-arginina metil éster 30 mg/kg para ejercer un efecto similar al antidepressivo. RESULTADOS CLAVE: Según los resultados, la exposición a corto plazo no alteró el tiempo de inmovilidad, mientras que la exposición a largo plazo reduce significativamente el tiempo de inmovilidad ($p < 0,01$). Sin embargo, se reveló que la locomoción no difirió entre todos los grupos experimentales. La exposición a corto plazo revirtió el efecto antidepressivo resultante de 30 mg/kg de N Ω -nitro-L-arginina metil éster ($p < 0,01$). SIGNIFICADO: Se ha concluido que la exposición a largo plazo podría alterar el trastorno depresivo en ratones, mientras que la exposición a corto plazo no tiene un efecto significativo. Además, la reversión de la actividad antidepressiva de L-NAME indica un probable aumento del óxido nítrico cerebral.

(B) (E) Ayoobi F, Shamsizadeh A, Shafiei SA. El efecto del campo magnético local de frecuencia extremadamente baja en la somnolencia de los estudiantes. Neurol Res. 39:1080-1085, 2017. (HU, AE, BE)

Objetivos: La falta de sueño de calidad provoca efectos secundarios graves. El presente estudio tuvo como objetivo investigar el impacto del campo magnético local de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) en el sueño y la somnolencia en adultos jóvenes sanos. Métodos: Sesenta y cinco adultos jóvenes (32 hombres y 31 mujeres, de 18 a 24 años de edad) participaron voluntariamente en este ensayo clínico cruzado aleatorizado. Se aplicaron 200 microTesla MF (3 minutos de duración) a tres frecuencias (10, 14 y 18 Hz) en el cráneo en las áreas C3, Cz y C4, respectivamente. Se utilizaron la Escala de somnolencia de Stanford (SSS) o la Prueba de conciencia (CT), la Escala de somnolencia de Epworth (ESS) y la Prueba de vocabulario en imágenes de Peabody para evaluar la somnolencia, el sueño y el tiempo de reacción. Estas pruebas se realizaron tanto antes como después de la aplicación de ELF-MF o la operación simulada. Resultados: El tiempo de reacción mínimo después de la exposición a ELF-MF aumentó en comparación con el anterior a la exposición ($P = 0,03$), mientras que no fue significativo para el grupo simulado ($P = 0,63$). A partir del cuestionario ESS, los resultados indicaron que no hubo diferencias significativas para hombres o mujeres entre los grupos de exposición y simulación. La media de las puntuaciones de la escala SSS no fueron diferentes en comparación con las obtenidas antes de la exposición. Conclusión: Los resultados de este estudio demostraron que la exposición a ELF-MF puede influir en el tiempo de reacción en personas jóvenes sanas. Sin embargo, como los resultados de la escala ESS y la escala SSS no fueron diferentes entre los grupos de exposición y los de no exposición, se recomiendan estudios adicionales con muestras de mayor tamaño para llegar a mejores interpretaciones de los efectos de la ELF-MF sobre la somnolencia.

(F) (NE) Azanza MJ, del Moral A, Calvo AC, Pérez-Bruzón RN, Junquera C.

Dinámica de sincronización inducida en pares de neuronas bajo la aplicación de campos magnéticos alternos débiles. Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol. 166(4):603-618, 2013.(CS, AE, EE, MC)

Pares de neuronas de *Helix aspersa* muestran una sincronización de frecuencia dependiente del campo magnético alterno (AMFS) cuando se exponen a un campo magnético alterno (AMF) débil (amplitud B_0 entre 0,2 y 150 Gauss (G)) de frecuencia extremadamente baja (ELF, $f_M = 50$ Hz). Hemos comparado los patrones de descarga de AMFS con: i) la actividad sináptica promovida por glutamato y acetilcolina; ii) la actividad inducida por cafeína; iii) la actividad bioeléctrica inducida en neuronas interconectadas por sinapsis eléctricas. La actividad de AMFS revela varias características específicas: i) una estrecha coincidencia en el tiempo del patrón y la frecuencia, f , de descarga; ii) se induce en el intervalo de tiempo de aplicación del campo; iii) depende de la intensidad del campo magnético sinusoidal aplicado; iv) las respuestas bifásicas provocadas (excitación seguida de inhibición) se ejecutan en paralelo para el par de neuronas; y v) algunos pares de neuronas sincronizados espontáneamente o con AMF pueden desincronizarse bajo la aplicación de un AMF más alto. Nuestros estudios de microscopía electrónica revelan uniones en hendidura que confirman nuestros resultados de inmunocitoquímica sobre la expresión de conexina 26 (Cx26) en el 4,7 % de las neuronas *Helix*. AMF y carbenoxolona no indujeron ningún efecto significativo sobre la sincronización espontánea a través de sinapsis eléctricas.

(E) Baaken D, Dechent D, Blettner M, Merzenich H, Hesse S. Exposición ocupacional a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja y riesgo de esclerosis lateral amiotrófica: resultados de un estudio de viabilidad para un análisis agrupado de datos originales. Bioelectromagnetics 42:271-283, 2021.(ND)

Metanálisis anteriores han sugerido un mayor riesgo de esclerosis lateral amiotrófica (ELA) asociada con la exposición ocupacional a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF).

Sin embargo, los resultados deben interpretarse con cautela, ya que los estudios fueron metodológicamente heterogéneos. Aquí, evaluamos la viabilidad de un estudio de agrupación para armonizar y volver a analizar los datos originales disponibles. Se realizó una búsqueda sistemática de la literatura. Se identificaron estudios epidemiológicos publicados en PubMed y EMF-Portal a partir de las fechas de inicio de las bases de datos de literatura hasta enero de 2019. Se describieron las características de todos los estudios, incluidas las métricas de exposición, las categorías de exposición y los factores de confusión. Se realizó una encuesta entre los investigadores principales (IP) para evaluar su disposición a proporcionar sus datos originales. Se evaluó el poder estadístico de un estudio de agrupación. Identificamos 15 artículos publicados entre 1997 y 2019.

Los estudios diferían en términos de resultado, población de estudio, evaluación de la exposición y exposición. Métricas. La mayoría de los estudios evaluaron la ELF-MF como densidad de flujo magnético promedio por día laboral; sin embargo, las categorías de exposición variaron ampliamente. El patrón de ajuste de los factores de confusión fue heterogéneo entre los estudios, siendo la edad, el sexo y el nivel socioeconómico los más frecuentes. Ocho investigadores principales expresaron su disposición a proporcionar datos originales. Se puede detectar un riesgo relativo de $\geq 1,14$ para ELA y exposición ocupacional a ELF-MF con una potencia de más del 80 % en un estudio agrupado. Se recomienda la agrupación de datos originales y podría contribuir a una mejor comprensión de ELF-MF en la etiología de la ELA sobre la base de una gran base de datos y una heterogeneidad reducida debido a un protocolo de análisis estandarizado con métricas de exposición y categorías de exposición armonizadas.

(E) Bademoğlu G, Erdal N, Uzun C, Taşdelen B Los efectos del campo electromagnético pulsado en la lesión del nervio ciático inducida experimentalmente en ratas. Electromagn Biol Med 2021;1-

12. doi: 10.1080/15368378.2021.1907403. En línea antes de **su publicación impresa.** (AS, CE, BE, MA)

Algunas investigaciones experimentales indican que la estimulación con campos electromagnéticos pulsados (PEMF) de baja frecuencia puede acelerar la regeneración en la lesión del nervio ciático. Sin embargo, pocas investigaciones han examinado las propiedades electrofisiológicas y funcionales de la regeneración de los nervios periféricos bajo PEMF. El objetivo principal del presente estudio es investigar los efectos de los PEMF en la regeneración del nervio ciático en procesos a corto y largo plazo con daño electrofisiológico y funcional después del aplastamiento. Las lesiones por aplastamiento se realizaron utilizando pinzas de joyería durante 30 s. Después de la lesión por aplastamiento de los nervios ciáticos, 24 ratas Wistar-Albino hembras se dividieron en 3 grupos con 8 ratas en cada grupo: SH (simulado), SNI (lesión del nervio ciático), SNI + PEMF (lesión del nervio ciático + campo electromagnético pulsado). El grupo SNI + PEMF estuvo expuesto a PEMF (4 h/día, intensidad; 0,3 mT, baja frecuencia; 2 Hz) durante 40 días. Se midieron los registros electrofisiológicos (al inicio y en la 1.^a, 2.^a, 4.^a y 6.^a semana después del aplastamiento) y las huellas funcionales (en la 1.^a, 2.^a, 3.^a, 4.^a, 5.^a y 6.^a semana después del aplastamiento) de todos los grupos durante el experimento. Los resultados se compararon con los grupos SNI y SNI+PEMF, se encontró que los parámetros de amplitud y área en la primera semana fueron significativamente más altos y la latencia fue menor en el grupo SNI+PEMF que en el grupo SNI ($p < 0,05$). Sin embargo, el efecto de PEMF no fue significativo en la 2.^a, 4.^a y 6.^a semanas. Además, en la 1.^a y 2.^a semana, los parámetros SSI fueron significativamente más altos en el grupo SNI+PMF que en el grupo SNI ($p < .05$). Estos resultados indican que el PEMF de baja frecuencia no es efectivo durante largos períodos de tiempo de aplicación, mientras que el PEMF puede ser útil durante el período de recuperación a corto plazo.

(F, MA) (E) Bai WF, Xu WC, Feng Y, Huang H, Li XP, Deng CY, Zhang MS. Los campos electromagnéticos de cincuenta hercios facilitan la inducción de la diferenciación de células estromales mesenquimales de huesos de rata en neuronas funcionales. *Citoterapia*. 15(8):961-970, 2013. (CS, CE, MC, MA, ND)

OBJETIVOS: Los resultados de la investigación han demostrado que las células estromales mesenquimales óseas (BMSC) pueden diferenciarse en células neuronales. Los campos electromagnéticos (CEM) desempeñan un papel en la regulación de la proliferación y diferenciación celular, pero se desconocen los mecanismos detrás de esto. En el presente estudio, exploramos la eficacia de los CEM en la inducción de la diferenciación de BMSC de rata en neuronas in vitro. **MÉTODOS:** En primer lugar, se indujeron BMSC de rata en un entorno de cultivo de células nerviosas y se dividieron en tres grupos: un grupo de tratamiento de inducción de CEM (frecuencia de 50 Hz, inducción magnética de 5 mT, 60 min por día durante 12 días), un grupo de solo inducción y un grupo de control. En segundo lugar, observamos los fenotipos celulares en un microscopio confocal, probamos la expresión génica mediante el uso de la reacción en cadena de la polimerasa con transcriptasa inversa y detectamos corrientes postsinápticas por medio de un parche de fijación celular. Analizamos los ciclos celulares y la proporción de células que expresan marcadores neuronales mediante citometría de flujo. **RESULTADOS:** Los resultados indicaron que los campos electromagnéticos pueden facilitar la diferenciación de las células madre neuronales en células neuronales, que expresan marcadores y genes neuronales específicos, forman uniones sinápticas y pulsan corrientes postsinápticas excitatorias. Al mismo tiempo, la relación de fase G0-G1 registrada por medio de citometría de flujo disminuyó gradualmente bajo el tratamiento EMF, mientras que hubo un aumento de la relación de fase S y aumentó la porción de células que expresaban marcadores neuronales específicos. **CONCLUSIONES:** Dado que un tratamiento no invasivo de EMF de 50 Hz podría facilitar significativamente la diferenciación de BMSC en neuronas funcionales, EMF parece ser una opción clínica prometedora para las terapias de trasplante de células madre para combatir enfermedades del sistema nervioso central.

(F, MA) (E) BaiW, Li M, XuW, Zhang M. Comparación de los efectos de los campos electromagnéticos de alta y baja frecuencia en la proliferación y diferenciación de células madre neurales.

Neurosci Lett 741:135463, 2021. (Licenciatura en Ciencias, Maestría en Ingeniería, Maestría en Ingeniería)

Comparar los efectos de los campos electromagnéticos de alta frecuencia (HF-EMF) y baja frecuencia (LF-EMF) en la proliferación y diferenciación de células madre neuronales (NSC). Las NSC se obtuvieron del hipocampo de ratas SD y se cultivaron en suspensión y medios de diferenciación adherentes. Las NSC se expusieron a LF-EMF (5 m T, 50 Hz, 30 min diarios), HF-EMF (inducción magnética máxima 2,5 T, 40% MO, 50 Hz, 10 min diarios) y ningún campo electromagnético. A los 3 días, se detectó la viabilidad celular y la cantidad de NSC en suspensión mediante el ensayo CCK-8 y la placa de recuento celular.

Se realizó tinción de inmunofluorescencia y qRT-PCR para detectar el porcentaje de NSC positivas para Tuj-1 y GFAP y la expresión de ARNm de Tuj-1 y GFAP. Las NSC P3 fueron positivas con Nestin y las NSC inducidas expresaron Tuj-1, GFAP y marcadores de oligodendrocitos (MBP). El ensayo CCK-8 y el recuento celular mostraron que el valor de OD y la cantidad del grupo LF-EMF fueron significativamente más altos que los de los otros dos grupos (ambos $P < 0,05$). En comparación con el grupo de control, el valor de OD y la cantidad fueron significativamente más altos en el grupo HF-EMF ($P < 0,05$). La tinción de inmunofluorescencia y qRT-PCR revelaron que el porcentaje de células positivas para Tuj-1 y la expresión de ARNm de Tuj-1 de las NSC expuestas a LF-EMF fueron los más altos (ambos $P < 0,05$). La proporción de células madre neurales positivas para GFAP y la expresión del ARNm de GFAP

No hubo diferencias significativas entre los tres grupos (todos $P > 0,05$). Tanto los campos electromagnéticos de baja frecuencia de 50 Hz como los campos electromagnéticos de alta frecuencia pueden promover la proliferación de células madre neurales in vitro y los campos electromagnéticos de baja frecuencia pueden acelerar la diferenciación de las células madre neurales en neuronas.

(B) (E) Balassa T, Szemerszky R, Bárdos G. Efecto de la exposición a corto plazo a un campo electromagnético de 50 Hz en el comportamiento de las ratas. Acta Physiol Hung. 96(4):437-448, 2009. (AS, BE, AE)

Se ha sospechado que los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja generados por las estaciones transformadoras ubicadas dentro de los edificios pueden iniciar problemas de salud no específicos. Esta posibilidad se examinó en experimentos modelo en ratas. Después de una exposición de corto plazo (50 Hz, 500 microT, 20 min), se examinaron la ansiedad situacional y social, así como el patrón de actividad locomotora mediante varias pruebas diferentes (laberinto en cruz elevado, exploración de objetos nuevos, interacción social y territorialidad). Según nuestros resultados obtenidos hasta ahora, parece que estos parámetros de campo (que equivalen al límite de referencia oficial para los trabajadores) pueden causar algún tipo de malestar, pueden influir en el comportamiento, aumentar la pasividad y la ansiedad situacional, pero no tienen un efecto verificado en el comportamiento social y territorial.

(F) (E) Balassa T, Varró P, Elek S, Drozdovszky O, Szemerszky R, Világi I, Bárdos G.

Cambios en la eficacia sináptica en cortes cerebrales de ratas tras la exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja en la edad embrionaria y postnatal temprana. Int J Dev Neurosci. 31(8):724-730, 2013. (AS, CE, EE, DE)

Un estudio anterior demostró cambios en la eficacia sináptica y la susceptibilidad a las convulsiones en cortes cerebrales de ratas adultas tras la exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF). El cerebro embrionario en desarrollo y el cerebro postnatal temprano pueden ser incluso más sensibles a la exposición a MF. El objetivo del presente estudio fue determinar los efectos de una exposición prolongada a ELF-MF (0,5 y 3 mT, 50 Hz) sobre las funciones sinápticas en el cerebro en desarrollo. Las ratas fueron tratadas con exposición crónica a MF durante dos períodos críticos del desarrollo cerebral, es decir, en el útero durante la segunda semana de gestación o como recién nacidas durante 7 días a partir de los 3 días posteriores al nacimiento, respectivamente. La excitabilidad y plasticidad de las áreas neocorticales e hipocámpales se probaron en cortes cerebrales analizando los potenciales de campo evocados extracelulares. Demostramos que la excitabilidad básica de los cortes hipocámpales (medida como amplitud de los picos de población) aumentó con ambos tipos de tratamiento (fetal 0,5 mT, recién nacido 3 mT). Los cortes neocorticales parecieron responder principalmente al tratamiento del recién nacido, la amplitud de los potenciales postsinápticos excitatorios aumentó.

La exposición fetal a ELF-MF inhibió significativamente la depresión de pulsos emparejados (PPD) y hubo una disminución significativa en la eficacia de LTP (inducción de potenciación a largo plazo) en el neocórtex, pero no en el hipocampo. Por otro lado, el tratamiento neonatal no tuvo un efecto significativo en los fenómenos de plasticidad. Los resultados demostraron que ELF-MF tiene efectos significativos en las funciones neuronales básicas y la plasticidad sináptica en preparaciones de cortes cerebrales originarios de ratas expuestas ya sea en el período fetal o en el recién nacido.

(E) Barassi G, Pokorski M, Pellegrino R, Supplizi M, Prosperi L, Marinucci C, Di Simone E, Mariani C, Younes A, Di Iorio A. Medicina cuántica: un papel de extremadamente

Campos magnéticos de baja frecuencia en el tratamiento del dolor crónico. Adv Exp Med Biol 2022 18 de enero. doi: 10.1007/5584_2021_697. En línea antes de su impresión. (HU, CE, FC, MA)

La terapia con campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) es un tratamiento prometedor para el dolor crónico, dada su capacidad de interactuar con la homeostasis corporal mediante mecanismos de transmisión mediados por agua típicos de la medicina cuántica. El presente estudio tiene como objetivo evaluar los efectos de la terapia ELF-MF en el dolor crónico en 49 pacientes que sufren diversos trastornos musculoesqueléticos. La terapia se aplicó a través de una configuración Quec Phisis que genera el campo electromagnético como resonancia ciclotrónica iónica. Los pacientes se sometieron a ocho sesiones de terapia de 45 minutos cada una realizadas cada dos días. La evaluación de la bioimpedancia se basó en la comparación de la resistencia corporal ajustada a la altura (R/h) y la reactancia (Xc/h) medidas durante la primera y la última sesión del tratamiento de ocho sesiones. La percepción del dolor se cuantificó utilizando la escala visual analógica estándar. Encontramos aumentos significativos en los parámetros R/h y Xc/h de la bioimpedancia corporal después de la terapia electromagnética que se corresponden con reducciones en la percepción del dolor. Concluimos que la terapia ELF-MF puede restaurar el estado de salud del cuerpo y, por lo tanto, parece un enfoque terapéutico válido para el tratamiento del dolor de origen musculoesquelético.

(F, MA) (E) Ben Yakir-Blumkin M, Loboda Y, Schächter L, Finberg JP. Efecto neuroprotector de campos magnéticos estáticos débiles en cultivos neuronales primarios. Neuroscience. 278:313-326, 2014. (, CS, CE, CC, MA, ND)

Los campos magnéticos estáticos de baja intensidad (SMF) interactúan con varios tejidos biológicos, incluido el SNC, afectando así a procesos biológicos clave como la expresión génica, la proliferación y diferenciación celular, así como la apoptosis. Estudios previos que describen el efecto de los SMF sobre la muerte celular apoptótica en varias líneas celulares no neuronales, enfatizan la importancia de dicha modulación potencial en el caso de trastornos neurodegenerativos, donde la apoptosis constituye una ruta principal a través de la cual las neuronas se degeneran y mueren. En este estudio, examinamos el efecto de los SMF sobre la supervivencia neuronal en neuronas corticales e hipocampales primarias que constituyen un sistema experimental adecuado para modelar el estado neurodegenerativo in vitro. Mostramos que la exposición débil a SMF interfiere con la programación apoptótica en neuronas corticales e hipocampales primarias de rata, brindando así protección contra la apoptosis inducida por etopósido de una manera dependiente de la dosis y el tiempo. Las neuronas corticales primarias expuestas a SMF (50 G) durante 7 días exhibieron una disminución del $57,1 \pm 6,3\%$ en el porcentaje de células que experimentaron apoptosis inducida por etopósido ($12 \mu\text{M}$), acompañada de una marcada disminución en la expresión de los marcadores proapoptóticos: poli ADP ribosa polimerasa-1 escindida, caspasa-3 escindida, caspasa-9 activa y la variante de fosfohistona H2A (Ser 139) en un $41,0 \pm 5,0\%$, $81,2 \pm 5,0\%$, $72,9 \pm 6,4\%$, $42,75 \pm 2,9\%$, respectivamente, y por una disminución del $57,2 \pm 1,0\%$ en la extensión del colapso del potencial de membrana mitocondrial. Utilizando el inhibidor de los canales de Ca^{2+} dependientes de voltaje de tipo L, nifedipina, que es selectivo para la entrada de Ca^{2+} a través de Cav1.2, descubrimos que el efecto antiapoptótico de los SMF estaba mediado por la entrada de Ca^{2+} a través de estos canales. Nuestros hallazgos, que demuestran una entrada de Ca^{2+} alterada en respuesta a la estimulación con tapsigargina en neuronas corticales expuestas a SMF, junto con una mayor inhibición de la entrada de Ca^{2+} inducida por KCl a través de los canales Cav1.2 y una mayor expresión de los canales Cav1.2 y Cav1.3, aluden a la participación de los canales de Ca^{2+} operados por voltaje y por depósito en varios aspectos del efecto protector ejercido por los SMF. Estos hallazgos muestran el potencial

susceptibilidad del SNC a la exposición a SMF débiles y tienen implicaciones para el diseño de nuevas estrategias para el tratamiento y/o prevención de enfermedades neurodegenerativas.

(F, MA) (E) Benassi B, Filomeni G, Montagna C, Merla C, Lopresto V, Pinto R, Marino C, Consales C. La exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) sensibiliza a las células SH-SY5Y a la toxina MPP, que favorece la enfermedad de Parkinson. Mol Neurobiol. 53:4247-4260, 2016. (CS, OX, ND)

La enfermedad de Parkinson (EP) es un trastorno neurodegenerativo caracterizado por la pérdida de neuronas dopaminérgicas, con una etiopatogenia que involucra tanto factores genéticos como ambientales. La exposición ocupacional/residencial a los campos electromagnéticos se ha asociado recientemente con un mayor riesgo de enfermedades neurodegenerativas; por ello, se ha propuesto que el campo magnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) puede contribuir a la etiopatogenia neurodegenerativa, ya que su interacción con los sistemas biológicos altera directamente la homeostasis redox en áreas específicas del cerebro. Los mecanismos moleculares desencadenados por ELF-MF y su posible participación en la aparición de la EP aún no están claros. Para ello, configuramos un generador de ELF-MF capaz de reproducir de forma estable y homogénea la exposición ambiental prolongada a ELF-MF (50 Hz, 1 mT). Los resultados obtenidos indican que la exposición a ELF-MF altera la respuesta celular de las células SH-SY5Y a MPP+.

Demostremos que ELF-MF no afecta per se la supervivencia, la forma y la morfología de las células SH-SY5Y tanto proliferantes como diferenciadas, pero altera significativamente la homeostasis redox y el contenido de tiol, lo que desencadena un aumento en la carbonilación de proteínas. Como resultado, la toxicidad de MPP+, Incluso en dosis bajas, está altamente potenciado en las células expuestas a ELF-MF debido a un aumento significativo en los niveles de ROS, la potenciación del daño oxidativo y la inducción de una apoptosis dependiente de caspasa. La preincubación con los antioxidantes tioles N-acetil-L-cisteína y éster etílico de GSH reduce significativamente el grado de daño oxidativo y protege a las células de la muerte inducida por el tratamiento combinado ELF-MF/MPP+. En general, nuestros resultados demuestran la interacción molecular basada en redox entre ELF-MF y las neurotoxinas de la EP in vitro, y abren un nuevo escenario para definir la sinergia de los factores ambientales en la aparición de la EP.

(E) Bentwich J, [Dobronevsky E](#), [Aichenbaum S](#), [Shorer R](#), [Peretz R](#), [Khaigrekht M](#), [Marton RG](#), [Rabey JM](#). Efecto beneficioso de la estimulación magnética transcraneal repetitiva combinada con entrenamiento cognitivo para el tratamiento de la enfermedad de Alzheimer: un estudio de prueba de concepto. J Neural Transm (Viena). 118(3):463-471, 2011.

(Humanidad, China, Bélgica, Francia, Italia, Malta y Dakota del Norte)

El tratamiento farmacológico actual para la enfermedad de Alzheimer (EA) es sólo parcialmente y temporalmente efectivo. La estimulación magnética transcraneal (TMS) es una técnica no invasiva que genera una corriente eléctrica que induce la modulación de la excitabilidad cortical. Además, el entrenamiento cognitivo (COG) puede mejorar las funciones cognitivas en la EA. Nuestro objetivo fue tratar a pacientes con EA combinando TMS repetitiva de alta frecuencia entrelazada con COG (rTMS-COG). Ocho pacientes con probable EA, tratados durante más de 2 meses con inhibidores de la colinesterasa, fueron sometidos a sesiones diarias de rTMS-COG (5/ semana) durante 6 semanas, seguidas de sesiones de mantenimiento (2/semana) durante 3 meses adicionales. Se estimularon seis regiones cerebrales, localizadas individualmente por resonancia magnética. Las tareas de COG se desarrollaron para adaptarse a estas regiones. Los objetivos principales fueron la mejora promedio de la Escala de evaluación de la enfermedad de Alzheimer-Cognitiva (ADAS-cog) y la Impresión clínica global de cambio.

(CGIC) (después de 6 semanas y 4,5 meses, en comparación con el valor inicial). Los objetivos secundarios fueron la mejora media del MMSE, ADAS-ADL, Hamilton Depression Scale (HAMILTON) y Neuropsychiatric Inventory (NPI). Un paciente abandonó el estudio después de 2 meses (sepsis urinaria grave). ADAS-cog (promedio) mejoró aproximadamente 4 puntos después de 6 semanas y 4,5 meses de tratamiento ($P < 0,01$ y $P < 0,05$) y el CGIC en 1,0 y 1,6 puntos, respectivamente. MMSE, ADAS-ADL y HAMILTON mejoraron, pero sin significación estadística. NPI no cambió. No se registraron efectos secundarios. En este estudio, rTMS-COG (proporcionado por Neuronix Ltd., Yokneam, Israel) parece una modalidad prometedora, efectiva y segura para el tratamiento de la EA, posiblemente tan buena como los inhibidores de la colinesterasa. Se está realizando un estudio doble ciego europeo.

Bertagna F, Lewis R, Silva SRP, McFadden J, Jeevaratnam K. Efectos de los campos electromagnéticos en los canales iónicos neuronales: una revisión sistemática. Ann NY Acad Sci 2021 4 de mayo. doi: 10.1111/nyas.14597. En línea antes de su publicación impresa. (Revisión)

Muchos aspectos de la química y la biología están mediados por interacciones de campos electromagnéticos (CEM). El sistema nervioso central (SNC) es particularmente sensible a los estímulos de los CEM. Los estudios han explorado el efecto directo de diferentes CEM en las propiedades eléctricas de las neuronas en las últimas dos décadas, centrándose particularmente en el papel de los canales iónicos dependientes de voltaje (CVG). Este trabajo tiene como objetivo revisar sistemáticamente la evidencia publicada en las últimas dos décadas que detalla los efectos de los CEM en los canales iónicos neuronales según las pautas PRISM. Siguiendo un criterio de exclusión e inclusión predeterminado, se incluyeron 22 artículos después de búsquedas en tres bases de datos en línea. Se encontró que los cambios en la homeostasis del calcio, atribuibles a los canales de calcio dependientes de voltaje, eran el resultado informado con mayor frecuencia de la exposición a CEM. Los efectos de los CEM en el paisaje neuronal parecen ser diversos y muy dependientes de parámetros, como la frecuencia del campo, el tiempo de exposición y las propiedades intrínsecas del tejido irradiado, como la expresión de CVG. En este artículo, aclaramos sistemáticamente cómo los canales iónicos neuronales se ven particularmente afectados y modulados de manera diferencial por los campos electromagnéticos en múltiples niveles, como la dinámica de activación, la conductancia iónica, la concentración en la membrana y la expresión de genes y proteínas. Los canales iónicos representan un transductor importante de los efectos relacionados con los campos electromagnéticos en el sistema nervioso central.

(F, MA) (E) Bertolino G, Dutra Souza HC, de Araujo JE. Neuropatología y alteraciones del comportamiento en ratas Wistar con una lesión de 6-OHDA en la sustancia negra compacta y exposición a un campo magnético estático. Electromagn Biol Med. 32(4):527-535, 2013. (AS, CE, BE, MC, ND, MA)

Los estudios han buscado evaluar varias terapias neuroprotectoras potenciales en la enfermedad de Parkinson. El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de la estimulación del campo magnético estático 14 días después de una lesión de la sustancia negra compacta (SNc) por 6-hidroxidopamina (6-OHDA) sobre el comportamiento motor, evaluado mediante la prueba de rotarod (RR) y la morfología del tejido cerebral. Se utilizaron cuarenta ratas Wistar macho y se dividieron en cinco grupos: grupo de control, grupo simulado (SG), grupo de lesión (LG), grupo de polo norte de lesión (LNPG) y grupo de polo sur de lesión (LSPG). En los grupos con estimulación magnética, se fijó un imán de 3200 gauss al cráneo. Después de los experimentos, los animales fueron anestesiados para la perfusión cerebral. Las secciones coronales de la SNc se tiñeron con Nissl.

La prueba RR mostró una disminución en el tiempo empleado en el aparato en el LG en comparación con todos los grupos. El LNPG y LSPG tuvieron aumentos significativos en el tiempo empleado en comparación con el LG. Un análisis morfométrico reveló una reducción significativa en el número de neuronas en el LG, LNPG y LSPG en relación con el SG. Hubo un mayor número de neuronas en el LNPG y LSPG que en el LG, y un mayor número de neuronas en el LSPG que en el LNPG. Observamos que el LG, LNPG y LSPG mostraron un mayor número de células gliales que el SG, y el LNPG y LSPG mostraron un menor número de células gliales que el LG. Nuestros resultados demuestran un uso terapéutico potencial de los campos magnéticos estáticos para la preservación del comportamiento motor y la morfología cerebral en el SNc después de 14 días con lesión de 6-OHDA.

(F, MA) (E) Bobkova NV, Novikov VV, Medvinskaya NI, Aleksandrova IY, Nesterova IV, Fesenko EE. Efecto de campos magnéticos estáticos débiles y alternantes de frecuencia extremadamente baja combinados sobre la memoria espacial y la amiloide- β cerebral en dos modelos animales de enfermedad de Alzheimer. *Electromagn Biol Med.* 37(3):127-137, 2018. (AS, CE, BE, CC, MA, ND)

Se estudió el efecto subcrónico de un campo magnético combinado débil (CM), producido por la superposición de un componente constante, 42 μ T y un CM alterno de 0,08 μ T, que era la suma de dos frecuencias de 4,38 y 4,88 Hz, en ratones bulbectomizados olfativos (OBE) y Tg transgénicos (APP^{swe}, PSEN1), que se utilizaron como modelos animales de enfermedad de Alzheimer (EA) esporádica y hereditaria, respectivamente. La memoria espacial se probó en un laberinto acuático de Morris al día siguiente de completar los ensayos de entrenamiento con la plataforma oculta eliminada. El nivel de amiloide- β (A β) se determinó en extractos de la corteza y el hipocampo de ratones utilizando un análisis DOT específico, mientras que el número y las dimensiones de las placas amiloides se detectaron después de su tinción con tioflavina S en animales transgénicos. La exposición a los MF (4 h/día durante 10 días) indujo la disminución del nivel de A β en el cerebro de ratones OBE y redujo el número de placas de A β en la corteza y el hipocampo de animales Tg. Sin embargo, la mejora de la memoria se reveló solo en ratones Tg, pero no en los animales OBE. Aquí, sugerimos que para prevenir la acumulación de A β , los MF podrían usarse en la etapa temprana de la degeneración neuronal en caso de EA y otras enfermedades con deposición de proteína amiloide en otros tejidos.

(F) (E) Brouwer M, Koeman T, van den Brandt PA, Kromhout H, Schouten LJ, Peters S, Huss A, Vermeulen R. Exposiciones ocupacionales y mortalidad por enfermedad de Parkinson en una cohorte holandesa prospectiva. *Ocupar Environ Med.* 23 de febrero de 2015. pii:oemed-2014-102209. doi: 10.1136/oemed-2014-102209. [Epub antes de la impresión](HU, CE, ND)

OBJETIVOS: Investigamos la asociación entre seis exposiciones ocupacionales (es decir, pesticidas, solventes, metales, emisiones de motores diésel (EMD), campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) y descargas eléctricas) y la mortalidad por enfermedad de Parkinson (EP) en un gran estudio de cohorte prospectivo de base poblacional. **MÉTODOS:** El estudio de cohorte de los Países Bajos sobre dieta y cáncer inscribió a 58 279 hombres y 62 573 mujeres de 55 a 69 años en 1986. Se hizo un seguimiento de los participantes para determinar la mortalidad por causa específica durante 17,3 años, hasta diciembre de 2003, lo que resultó en 402 muertes por EP de hombres y 207 de mujeres. Siguiendo un diseño de cohorte de casos, se seleccionó aleatoriamente una subcohorte de 5000 participantes de la cohorte completa. Se recopiló información sobre la historia ocupacional y los posibles factores de confusión al inicio. Se aplicaron matrices de exposición laboral.

para asignar exposiciones ocupacionales. Las asociaciones con mortalidad por EP se evaluaron utilizando regresión de Cox. RESULTADOS: Entre los hombres, se observaron HR elevados para la exposición a pesticidas (p. ej., siempre muy expuesto, HR 1,27, IC del 95%: 0,86 a 1,88) y siempre muy expuesto a ELF-MF (HR 1,54, IC del 95%: 1,00 a 2,36). No se observó asociación con la duración de la exposición o la tendencia en la exposición acumulada para ninguna de las exposiciones ocupacionales. Los resultados entre las mujeres fueron inestables debido al pequeño número de mujeres altamente expuestas. CONCLUSIONES: Se observaron asociaciones con mortalidad por EP para la exposición ocupacional a pesticidas y ELF-MF. Sin embargo, el peso dado a estos hallazgos está limitado por la ausencia de una tendencia monótona con la duración o la exposición acumulada. No se encontraron asociaciones entre la mortalidad por EP y la exposición ocupacional a solventes, metales, DME o descargas eléctricas.

(F, MA) (E) Bukia N, Butskhrikidze M, Machavariani L, Kekelia G, Svanidze M.

POSIBLE IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS GABAÉRGICOS Y GLUTAMATÉRGICOS EN LA REALIZACIÓN DE EFECTOS ANTIEPILÉPTICOS DE RANGO ACÚSTICO ELECTRO -

CAMPOS MAGNÉTICOS. Georgian Med News. 280-281:112-116, 2018. (Licenciatura en ciencias, ingeniería, química, ND, MA)

La convulsión es una manifestación clínica de una red neuronal hiperexcitable, en la que el equilibrio eléctrico subyacente a la actividad neuronal normal se altera patológicamente: la excitación (actividad glutamatérgica) predomina sobre la inhibición (actividad GABAérgica).

La detención de la actividad convulsiva se lleva a cabo mediante el restablecimiento del equilibrio de los neurotransmisores. Este proceso tiene una relación directa con la permeabilidad del canal iónico en la célula y el movimiento transmembrana de iones. La EMS de baja frecuencia puede tener un efecto neuroestimulante y neuromodulador que se basa en la inducción electromagnética del campo eléctrico en el cerebro. Bajo las condiciones de cierta amplitud, frecuencia y tiempo de relajación, el campo electromagnético (EMF) de baja frecuencia induce la despolarización de neuronas separadas y cambia la excitabilidad cortical total en caso de procedimientos realizados repetidamente. Se demostró que la exposición a la EMS de rango acústico en GEPR tratados con antagonistas de los receptores GABA-A o GABA-B disminuyó la actividad convulsiva de comportamiento en respuesta a estímulos audiogénicos. La inyección de agonista del receptor de glutamato en EMS de fondo causa actividad convulsiva, pero las manifestaciones convulsivas tienen un grado menor en comparación con ratas no estimuladas. Por lo tanto, en respuesta a la estimulación electromagnética, la reducción o calambres completos de las convulsiones se puede explicar por un cambio en la actividad de los sistemas de neurotransmisores.

(F) (E) Calabrò E. Competencia entre enlaces de hidrógeno y agregación de proteínas en células neuronales bajo exposición a un campo magnético de 50 Hz. Int J Radiat Biol. 92:395-402, 2016. (CS, AE, CC)

OBJETIVO: Investigar el papel de los enlaces de hidrógeno y el desdoblamiento de proteínas en células neuronales humanas SH-SY5Y expuestas a un campo magnético (CM) de 50 Hz a una intensidad de 1 mT. MATERIALES Y MÉTODOS: Las células neuronales se colocaron en una incubadora en un 5% de CO₂/95% de aire humidificado a una temperatura de 37,1 °C y se expusieron durante 4 h a un CM de 50 Hz a 1 mT. El sistema de exposición consistió en dos bobinas de Helmholtz accionadas por voltaje de CA a 50 Hz. Las muestras expuestas y de control se estudiaron utilizando espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). RESULTADOS: Las bandas de vibración del grupo metileno aumentaron significativamente después de 4 h de exposición. Un cambio significativo hacia el bajo

Se observaron energías de la banda Amide I y un aumento en la intensidad de las estructuras de láminas β paralelas y antiparalelas con respecto al componente de hélice α después de la exposición. La frecuencia Amide II no cambió significativamente, mientras que se produjo un aumento relativo de su área integrada con respecto al modo Amide I después de la exposición.

CONCLUSIONES: Estos resultados pueden explicarse asumiendo que tanto los mecanismos de agregación de proteínas como el aumento de los enlaces de hidrógeno ocurrieron en células de tipo neuronal bajo exposición a una frecuencia modulada de 50 Hz.

(F, MA) (E) Calabrò E, Condello S, Magazù S, Ientile R. Efectos de los campos electromagnéticos estáticos y de 50 Hz en las bandas de vibración de células neuronales humanas en la región del infrarrojo medio. J Electromagnetic Analysis and Applications 3(2) 69-78, 2011. (CS, AE, CC)

Se expusieron células neuronales humanas a campos electromagnéticos estáticos y de 50 Hz a intensidades de 2 mT y 1 mT, respectivamente. Se investigaron los efectos de la exposición en la región del infrarrojo medio mediante análisis espectroscópico de autodeconvolución de Fourier. Después de una exposición de 3 horas a campos electromagnéticos estáticos y de 50 Hz, las bandas de vibración del grupo metileno CH₂ aumentaron significativamente después de ambas exposiciones, lo que sugiere un aumento relativo de lípidos relacionado con cambios conformacionales en la membrana celular debido a los campos electromagnéticos. Además, PO₂-

Las bandas de fosfato de estiramiento disminuyeron después de ambas exposiciones, lo que sugiere que puede ocurrir una alteración en el ADN/ARN. En particular, la exposición de 3 horas a campos electromagnéticos de 50 Hz produjo aumentos significativos en los contenidos de lámina β en la amida I, y alrededor de la banda de 1740 cm⁻¹ asignada al modo de estiramiento de carbonilo de éster no unido por hidrógeno, que puede estar relacionada con procesos de desdoblamiento de la estructura de las proteínas y la muerte celular. Una exposición adicional de hasta 18 horas al campo magnético estático produjo un aumento en los contenidos de lámina β como también en los componentes de la hélice α de la región de la amida I.

(F) (E) Calabrò E, Condello S, Currò M, Ferlazzo N, Vecchio M, Caccamo D, Magazù S, Ientile R. Cambios producidos por el campo electromagnético de 50 Hz en la espectroscopia FTIR asociados con la reducción del potencial transmembrana mitocondrial en células SH-SY5Y de tipo neuronal.

Óxido Med Cell Longev. 2013;2013:414393. doi: 10.1155/2013/414393. Publicación electrónica del 16 de julio de 2013. (CS, AE, EE)

Las células de neuroblastoma SH-SY5Y se utilizaron como modelo experimental para estudiar los efectos del campo electromagnético de 50 Hz, en el rango de 50 μ T a 1,4 mT. El análisis de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier evidenció una reducción en la intensidad de la banda de amida A y un ligero aumento de las bandas de vibración a 2921 cm⁻¹ y 2853 cm⁻¹ correspondientes a los grupos metileno. Un aumento adicional de la intensidad del campo magnético de la exposición hasta 0,8 mT y 1,4 mT produjo un claro aumento en la intensidad de las bandas de vibración CH₂. Además, se ha observado

Algunas alteraciones en la región amida I, como un pico desplazado de la banda amida I a un número de onda más pequeño, probablemente debido a cambios conformacionales de la proteína. Estos resultados sugirieron que la exposición a campos electromagnéticos extremadamente bajos influyó en los componentes lipídicos de la membrana celular y las vibraciones de flexión en el plano NH y estiramiento CN de los enlaces peptídicos, modificando las estructuras secundarias de los contenidos de la hélice α y la hoja β y produciendo un proceso de desdoblamiento en las proteínas de la membrana celular. Los cambios observados después de la exposición a 50 Hz

Un campo electromagnético superior a 0,8 mT se asoció con una reducción significativa de la viabilidad celular y una reducción del potencial transmembrana mitocondrial.

(F, MA)(NE) Canseven AG, Keskil ZA, Keskil S, Seyhan N. Las convulsiones inducidas por pentilenetetrazol no se alteran por la exposición previa o posterior al fármaco a un campo magnético de 50 Hz. Radiat Biol. 83(4):231-235, 2007. (AS, AE, BE)

OBJETIVO: Investigar si la exposición a un campo magnético (MF) de 50 Hz, 0,2 mT antes y después de la administración del fármaco tiene algún efecto significativo sobre las convulsiones inducidas por pentilentetrazol (PTZ) en ratones. MATERIAL Y MÉTODOS: El MF se generó mediante un par de bobinas de Helmholtz. Las convulsiones se indujeron mediante una inyección intraperitoneal (ip) de PTZ a una dosis de 60 mg/kg. Se utilizó un total de 48 ratones hembra adultos criados localmente de 25 a 35 g de peso. Se registraron la latencia hasta la convulsión, la duración total de la convulsión y la mortalidad de cada ratón. RESULTADOS: No se encontró que la exposición a un MF de 50 Hz, 0,2 mT antes o después de la administración del fármaco tuviera algún efecto sobre las convulsiones epilépticas inducidas por PTZ o las tasas de mortalidad en ratones. CONCLUSIÓN: El presente estudio no logró respaldar el potencial terapéutico de un MF de 50 Hz y 0,2 mT para la epilepsia.

(F) (E) Capone F, Dileone M, Profice P, Pilato F, Musumeci G, Minicuci G, Ranieri F, Cadossi R, Setti S, Tonali PA, Di Lazzaro V. ¿La exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja produce cambios funcionales en el cerebro humano? J Transmisión neuronal. 116(3):257-265, 2009. (HU, FC)

Se han descrito cambios conductuales y neurofisiológicos tras la exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) tanto en animales como en humanos. Las bases fisiológicas de estos efectos aún son poco conocidas. Estudios in vitro analizaron el efecto de los ELF-MF aplicados en modo pulsado (PEMF) sobre cultivos neuronales mostrando un aumento en la neurotransmisión excitatoria. Utilizando estimulación cerebral transcraneal, estudiamos de forma no invasiva el efecto de los PEMF sobre varias medidas de excitabilidad cortical en 22 voluntarios sanos, en 14 de los sujetos también evaluamos los efectos de la exposición al campo simulado. Después de 45 min de exposición a PEMF, la facilitación intracortical producida por la estimulación cerebral con pulsos pareados mejoró significativamente con un aumento de alrededor del 20%, mientras que otros parámetros de excitabilidad cortical permanecieron sin cambios. La exposición al campo simulado no produjo efectos. El aumento de la facilitación con pulsos pareados, un parámetro fisiológico relacionado con la actividad glutamatérgica cortical, sugiere que la exposición a PEMF puede producir una mejora en la neurotransmisión excitatoria cortical. Este estudio sugiere que los PEMF pueden producir cambios funcionales en el cerebro humano.

(F) (E) Carrasco-López C, Soto-León V, Céspedes V, Profice P, Strange BA, Foffani G, Oliviero A. La estimulación del campo magnético estático sobre la corteza parietal mejora la detección somatosensorial en humanos. J Neurosci. 37(14):3840-3847, 2017. (HU, AE, EE, BE)

Actualmente no está claro el papel de las oscilaciones neuronales en la percepción somatosensorial humana. Para abordar este tema, aquí utilizamos estimulación cerebral no invasiva para modular artificialmente la dinámica de la red cortical en el contexto de registros neurofisiológicos y conductuales. Demostramos que la estimulación transcraneal con campo magnético estático (tSMS) sobre la corteza parietal somatosensorial aumenta la potencia oscilatoria específicamente en el rango alfa, sin afectar significativamente las entradas talamocorticales ascendentes indexadas por el componente cortical temprano de los potenciales evocados somatosensoriales. De manera crítica, a continuación demostramos que la tSMS parietal mejora la detección de estímulos somatosensoriales cercanos al umbral. Curiosamente, esta mejora conductual refleja una disminución de la habituación a la somatosensibilidad. Por lo tanto, nuestros datos proporcionan evidencia causal de que la percepción somatosensorial depende de la actividad alfa parietal. DECLARACIÓN DE SIGNIFICADO El aumento artificial de la potencia alfa mediante la colocación de un potente campo magnético sobre la corteza somatosensorial supera la disminución natural en la probabilidad de detección de un estímulo sensorial repetido cercano al umbral.

(F) (E) Carrubba S, Frilot C 2nd, Chesson AL Jr, Marino AA. El pulso del teléfono móvil desencadena potenciales evocados. *Neurosci Lett.* 469(1):164-168, 2010. (HU, EE)

Si los campos electromagnéticos (CEM) de los teléfonos móviles son peligrosos, como se sugiere en la literatura, deben existir procesos o mecanismos que permitan al cuerpo detectar los campos. Planteamos la hipótesis de que los pulsos de baja frecuencia producidos por los teléfonos móviles (217 Hz) se detectaban mediante transducción sensorial, como lo demuestra la capacidad de los pulsos para desencadenar potenciales evocados (PE). Se registraron electroencefalogramas (EEG) de seis ubicaciones estándar en 20 voluntarios y se analizaron para detectar potenciales cerebrales desencadenados por un pulso del tipo producido por los teléfonos móviles. Se encontraron potenciales evocados con la latencia esperada en el 90% de los voluntarios, según se evaluó utilizando un método no lineal de análisis de EEG. No se detectaron potenciales evocados cuando se analizó el EEG utilizando el promedio de tiempo. La posibilidad de error sistemático se excluyó mediante análisis de exposición simulada. Los resultados implicaron que los teléfonos móviles activan el electroencefalograma a una frecuencia de 217 Hz durante el uso normal del teléfono. La producción crónica de cambios en la actividad cerebral podría ser pertinente para los informes de riesgos para la salud entre los usuarios de teléfonos móviles.

(E) Carrubba S, Frilot C, Chesson AL, Marino AA. Activación no lineal del EEG provocada por campos magnéticos de baja intensidad y baja frecuencia. *Neurosci Lett.* 417(2):212-216, 2007. (HU, AE, EE)

Evidencias electrofisiológicas recientes sugirieron la existencia de un sentido magnético humano, pero no se estableció el tipo de ley dinámica que gobernaba la relación estímulo-respuesta. Probamos la hipótesis de que los potenciales cerebrales evocados por el inicio de un campo magnético débil de baja frecuencia estaban relacionados de manera no lineal con el estímulo. Se aplicó un campo de 1G, 60 Hz durante 2 s, con un período entre estímulos de 5 s, y se registraron los potenciales cerebrales de electrodos occipitales en ocho sujetos, cada uno de los cuales fue medido dos veces, con al menos 1 semana entre mediciones. Las señales registradas se sometieron a análisis no lineales (análisis de recurrencia) y lineales (promedio de tiempo). Utilizando el análisis de recurrencia, se detectaron potenciales evocados magnetosensoriales (MEP) en cada sujeto tanto en el estudio inicial como en el de réplica, con una excepción. Todos los MEP exhibieron la latencia esperada pero diferían en características dinámicas, lo que indica que estaban relacionados de manera no lineal con el estímulo. Los MEP no fueron

Se detectaron mediante el uso de promedios temporales, lo que confirma aún más su no linealidad. Las estructuras condicionadas evolutivamente que ayudan a mediar la transducción de campos lineales en formas de vida inferiores pueden expresarse y utilizarse funcionalmente en los seres humanos, pero en un papel en el que facilitan la vulnerabilidad a los campos ambientales creados por el hombre.

(E) Cason AM, Denbleyker M, Ferrence K, Smith JC, Houpt TA. Diferencias en el sexo y el ciclo estral en los efectos conductuales de los campos magnéticos estáticos de alta intensidad: papel de los esteroides ováricos. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 290(3):R659-67, 2006. (AS, AE, BE)

Los avances en la resonancia magnética están impulsando el desarrollo de máquinas de mayor resolución equipadas con campos magnéticos estáticos (MF) de alta intensidad. Los efectos conductuales de los MF de alta intensidad no están caracterizados en gran medida, aunque en ratas macho, la exposición a 7 T o más induce un movimiento locomotor en círculos y conduce a una evitación condicionada del sabor (CTA) si se combina con un sabor nuevo. Aquí, se compararon los efectos de los MF en ratas macho y hembra para determinar si existen diferencias sexuales en las respuestas conductuales y si estas pueden explicarse por el estado de los esteroides ováricos. Se les dio a las ratas acceso durante 10 minutos a una nueva solución de sacarina y luego se las inmovilizó dentro de un imán de 14 T durante 30 minutos. La actividad locomotora después de la exposición se puntuó para el movimiento en círculos y el encabritado. La extinción de CTA se midió con pruebas de preferencia de dos botellas. En el experimento 1, se compararon los machos con las hembras a lo largo del ciclo estral después de una única exposición a MF. Las hembras dieron más vueltas y adquirieron una CTA más persistente que los machos; El movimiento en círculos fue más intenso el día del estro. En el experimento 2, se compararon los efectos de tres exposiciones a MF entre ratas intactas, hembras ovariectomizadas y hembras ovariectomizadas con reemplazo de esteroides. En comparación con las ratas intactas, la ovariectomía aumentó el movimiento en círculos; el reemplazo de estrógeno bloqueó el aumento. Los machos adquirieron un CTA inicial más fuerte, pero se extinguió más rápido que las hembras intactas u ovariectomizadas. Por lo tanto, el movimiento en círculos locomotor inducido por la exposición a MF aumentó en las hembras y fue modulado por los esteroides ováricos a lo largo del ciclo estral y por el reemplazo hormonal. Además, las ratas hembras adquirieron un CTA más persistente que las ratas macho, lo que no dependía de la fase estral ni de los esteroides ováricos endógenos.

(E) Cason AM, Kwon B, Smith JC, Houpt TA. La laberintectomía elimina la respuesta conductual y neural de las ratas a un campo magnético estático de alta intensidad. *Physiol Behav* 97(1):36-43, 2009. (AS, AE, BE)

El vértigo es un efecto secundario comúnmente reportado de la exposición a los campos magnéticos altos que se encuentran en las máquinas de imágenes por resonancia magnética. Aunque se ha planteado la hipótesis de que los campos magnéticos altos interactúan con el aparato vestibular del oído interno, no ha habido evidencia directa que establezca su papel en el vértigo inducido por imanes. Nuestro laboratorio ha demostrado que después de la exposición a campos magnéticos altos, las ratas caminan en círculos, adquieren una aversión condicionada al gusto (CTA) y expresan c-Fos en relés vestibulares y viscerales del tronco encefálico, en consonancia con la estimulación vestibular y el vértigo o el mareo por movimiento. Para determinar si el oído interno es necesario para estos efectos, las ratas fueron laberintectomizadas químicamente con arsanilato de sodio y se analizaron para determinar la capacidad locomotora en círculos, la adquisición de CTA y la inducción de c-Fos después de la exposición dentro de un imán de 14,1 T. Las ratas intactas dieron vueltas en sentido contrario a las agujas del reloj después de 30 minutos de exposición a 14,1 T, pero las ratas laberintectomizadas no mostraron ningún aumento en la velocidad de dar vueltas después de la exposición al campo magnético. Después de 3 emparejamientos de sacarina al 0,125 % con exposición a 14,1 T durante 30 minutos, las ratas intactas adquirieron una CTA profunda que persistió durante 14 días de prueba de extinción; las ratas laberintectomizadas, sin embargo, no adquirieron una CTA y

Los autores mostraron una alta preferencia por la sacarina similar a la de las ratas expuestas a la exposición simulada. Finalmente, se indujo una cantidad significativa de c-Fos en el tronco encefálico de ratas intactas mediante una exposición de 30 minutos a 14,1 T, pero la exposición al campo magnético no elevó el c-Fos en ratas laberintectomizadas por encima de los niveles de exposición simulada. Estos resultados demuestran que un oído interno intacto es necesario para todos los efectos observados de la exposición a campos magnéticos elevados en ratas.

(E) Celik MS, Guven K, Akpolat V, Akdag MZ, Naziroglu M, Gul-Guven R, Celik MY, Erdogan S. Un campo magnético de frecuencia extremadamente baja induce la acumulación de manganeso en el cerebro, los riñones y el hígado de ratas. *Toxicol Ind Health*. 28 de febrero de 2013. [Publicado electrónicamente antes de la impresión] (AS, CE, CC)

El objetivo del presente estudio fue determinar los efectos del campo magnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) en la acumulación de manganeso (Mn) en el riñón, hígado y cerebro de ratas. Un total de 40 ratas fueron divididas aleatoriamente en ocho grupos. Cuatro grupos de control recibieron 0, 3,75, 15 y 60 mg de Mn por kg de peso corporal por vía oral cada 2 días durante 45 días, respectivamente. Los cuatro grupos restantes recibieron las mismas concentraciones de Mn y también fueron expuestos a ELF-MF (1,5 mT; 50 Hz) durante 4 h durante 5 días a la semana durante 45 días. Después de la última exposición, se tomaron riñones, hígado y cerebro de todas las ratas y se analizaron para los niveles de acumulación de Mn utilizando un espectrómetro de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente. Como resultado del estudio actual, observamos que los niveles de Mn en el cerebro, los riñones y el hígado fueron más altos en los grupos de Mn que en los grupos de control. Los niveles de Mn en el cerebro, los riñones y el hígado también fueron más altos en los grupos de Mn más ELF-MF que en los grupos de Mn. En conclusión, el resultado del estudio actual mostró que el ELF-MF indujo la acumulación de manganeso en los riñones, el hígado y el cerebro de las ratas.

(E) Che Y, Sun H, Cui Y, Zhou D, Ma Y. Efectos de la exposición a un campo magnético de 50 Hz de 1 mT en el rendimiento de los polluelos en la tarea de aprendizaje de desvíos. *Brain Res Bull*. 74(1-3):178-182, 2007. (AS, CE, BER)

En el presente estudio, examinamos los efectos de la exposición a un campo magnético de frecuencia extremadamente baja de 1 mT de intensidad sobre el aprendizaje y la memoria en polluelos domésticos de la raza Lohmann utilizando una tarea de aprendizaje de desvíos. Estos resultados muestran que la exposición de 20 h/día a un campo magnético de baja frecuencia induce un deterioro significativo en el aprendizaje de desvíos, pero la exposición de 50 min/día no tiene ningún efecto.

(E) [Cheng L](#), [Yang B](#), [Du H](#), [Zhou T](#), [Li Y](#), [Wu J](#), [Cao Z](#), [Xu A](#). La intensidad moderada de los campos magnéticos estáticos puede alterar el comportamiento de evitación y el almacenamiento de grasa de *Caenorhabditis elegans* a través de la serotonina. *Environ Sci Pollut Res Int* 29 de enero de 2022. doi: 10.1007/s11356-022-18898-5. En línea antes de su impresión. (AS, AE, BE, CC)

Los campos magnéticos estáticos (CME) creados por el hombre están ampliamente presentes en la vida humana como un factor ambiental físico. Sin embargo, las respuestas biológicas a la exposición moderada a los CME y sus mecanismos subyacentes son en gran medida desconocidos. El presente estudio se centró en explorar las respuestas nerviosas a los CME de intensidad moderada a 0,5 T y 1 T en *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*).

Descubrimos que los SMF a 0,5 T o 1 T no tenían efectos estadísticamente significativos en las conductas locomotoras, mientras que el campo magnético de 1 T aumentó el bombeo faríngeo.

El comportamiento de la *Pseudomonas aeruginosa* patógena disminuyó considerablemente en los nematodos expuestos a 0,5 T o 1 T de SMF, y el índice de aprendizaje se redujo de $0,52 \pm 0,11$ a $0,23 \pm 0,17$ y $0,16 \pm 0,11$, respectivamente. El nivel total de serotonina aumentó en un 17,08% y un 16,45% con el tratamiento de 0,5 T y 1 T de SMF, en comparación con el grupo de control; sin embargo, hubo efectos mínimos de los SMF en otros tres neurotransmisores, entre ellos la colina, el ácido γ -aminobutírico (GABA) y la dopamina. Se utilizó RT-qPCR para investigar más a fondo la expresión de genes relacionados con la serotonina, incluidas las enzimas limitantes de la velocidad, los factores de transcripción y los receptores de transporte. Los niveles de expresión de los genes *tph-1* y *unc-86* aumentaron con la exposición a SMF, mientras que los de los genes *ocr-2*, *osm-9*, *ser-1* y *mod-1* disminuyeron. Con la tinción de lípidos en mutantes N2 de tipo salvaje o *tph-1*, descubrimos que 0,5 T y 1 T de SMF redujeron el almacenamiento de grasa en *C. elegans* a través de la vía de la serotonina. Nuestro estudio demostró que los SMF de intensidad moderada indujeron un trastorno neuroconductual y la reducción del almacenamiento de grasa al alterar la secreción de serotonina en *C. elegans*, lo que proporcionó nuevos conocimientos para dilucidar las respuestas nerviosas de *C. elegans* a los SMF de intensidad moderada.

(E) Cheng Y, Dai Y, Zhu X, Xu H, Cai P, Xia R, Mao L, Zhao BQ, Fan W. Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja mejoran la proliferación y diferenciación de células progenitoras neuronales cultivadas a partir de cerebros isquémicos. *Neuroreport*. 26(15):896-

902, 2015. (Curso de Ciencias, Ingeniería, Ingeniería Civil, Maestría)

En el cerebro de los mamíferos, la neurogénesis persiste durante todo el período embrionario y la edad adulta en la zona subventricular del ventrículo lateral y la zona granular (giro dentado) del hipocampo. Las células progenitoras neuronales (CPN) recién nacidas en las dos regiones desempeñan un papel fundamental en la plasticidad estructural y funcional y la regeneración neuronal después de una lesión cerebral. Estudios previos han informado que los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (CEM-ELF) podrían promover la osteogénesis, la angiogénesis y la diferenciación de células madre cardíacas, lo que indica que los CEM-ELF podrían ser una herramienta eficaz para la terapia regenerativa. Los estudios actuales se llevaron a cabo para examinar los efectos de los CEM-ELF en las CPN hipocámpales cultivadas a partir de cerebros isquémicos embrionarios y adultos. Descubrimos que la exposición a los CEM-ELF (50 Hz, 0,4 mT) mejoró significativamente la capacidad de proliferación tanto en las CPN embrionarias como en las isquémicas. La diferenciación neuronal también mejoró después de 7 días de exposición acumulada a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF), mientras que la diferenciación glial no se vio afectada de forma notable. La expresión de Akt fosforilada aumentó durante el proceso de proliferación cuando las células madre neuronales isquémicas se expusieron a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF). Sin embargo, el bloqueo de la vía Akt eliminó la proliferación inducida por los campos electromagnéticos de alta frecuencia de las células madre neuronales isquémicas. Estos datos muestran que los campos electromagnéticos de alta frecuencia (ELF-EMF) promueven la neurogénesis de las células madre neuronales isquémicas y sugieren que este efecto puede producirse a través de la vía Akt.

(E) Chicas-Mosier AM, Radi M, Lafferrandre J, O'Hara JF, Vora HD, Abramson CI.

Los campos magnéticos de baja intensidad sirven como una señal para que las abejas busquen alimento, pero la experiencia previa es más indicativa de la elección. *Bioelectromagnetism* 2020 41(6):458-470. (AS, AE, BE)

Las especies de insectos migratorios utilizan campos magnéticos como herramienta de navegación que es independiente de las condiciones climáticas actuales y se ha demostrado que las especies no migratorias discriminan

Anomalías en el campo magnético con respecto a la línea base de la Tierra. La discriminación del campo magnético por parte de las abejas melíferas se ha estudiado en el contexto del aprendizaje asociativo, la fisiología y las respuestas de toda la colmena. Este artículo utiliza una combinación de estudios de vuelo libre y de laboratorio para determinar cómo las pequeñas fluctuaciones del campo magnético de la Tierra afectan la toma de decisiones de las abejas melíferas (*Apis mellifera* L.). Se probaron las abejas melíferas en tres experimentos: (i) reclutamiento a un comedero acuoso de sacarosa, (ii) un parche de flores artificial de vuelo libre con una intensidad de campo magnético floral dependiente del color, y (iii) un laberinto en Y con colores alternados en un campo magnético más fuerte. En los experimentos de comederos de vuelo libre, el campo magnético sirvió como una señal temporal, pero cuando se les ofreció una alternativa calórica igual con un campo magnético menor, se prefirió este último. Los experimentos de parches de flores mostraron sesgos de color iniciales que se abandonaron como respuesta a la inducción del campo magnético. En experimentos de laboratorio, las abejas mostraron una respuesta conductual dependiente del color al campo magnético. Los resultados de este estudio indican que las abejas pueden utilizar pequeñas fluctuaciones en los campos magnéticos como señal, pero que es probable que tengan poco valor en comparación con otros estímulos.

(E) Cho H, Seo YK, Yoon HH, Kim SC, Kim SM, Song KY, Park JK. Estimulación neuronal en células madre mesenquimales derivadas de médula ósea humana mediante campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF). *Biotechnol Prog.* 28:1329-1335, 2012. (CS, CE, MC, DE, MA)

Se considera que las células madre adultas son multipotentes. En particular, las células madre mesenquimales derivadas de la médula ósea humana (hBM-MSC) tienen el potencial de diferenciarse en células de tipo nervioso. Los campos electromagnéticos (CEM) están ampliamente distribuidos en el medio ambiente y recientemente ha habido muchos informes sobre los efectos biológicos de los CEM. Las hBM-MSC son células madre pluripotentes débiles y sensibles, por lo tanto, los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (CEM-ELF) podrían afectar los cambios de las funciones biológicas dentro de las células. En nuestros experimentos, los CEM-ELF inhibieron el crecimiento de las hBM-MSC en 12 días de exposición. Su nivel genético se modificó y la expresión del marcador de células madre neuronales como nestina disminuyó, pero se indujeron los marcadores de células neuronales como MAP2, NEUROD1, NF-L y Tau. En el estudio de inmunofluorescencia, confirmamos la expresión de cada proteína de las células neuronales. Y también las proteínas relacionadas con los oligodendrocitos y astrocitos como O4 y GFAP fueron expresadas por los CEM-ELF. Sugerimos que los CEM pueden inducir la diferenciación neuronal en las BM-MSC sin ningún producto químico o factor de diferenciación.

(E) Cho SI, Nam YS, Chu LY, Lee JH, Bang JS, Kim HR, Kim HC, Lee YJ, Kim HD, Sul JD, Kim D, Chung YH, Jeong JH. Los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja modulan la señalización del óxido nítrico en el cerebro de ratas. *Bioelectromagnetism.* 33(7):568-574, 2012. (AS, CE, CC, OX)

Nuestro estudio previo ha demostrado que un campo magnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) induce la síntesis de óxido nítrico (NO) por la NO sintasa (NOS) dependiente de Ca^{2+} en el cerebro de ratas. El presente estudio fue diseñado para confirmar que ELF-MF afecta a la NOS neuronal (nNOS) en varias regiones cerebrales e investigar la correlación entre la activación de NO y nNOS. La exposición de ratas a un ELF-MF de 2 mT, 60 Hz durante 5 días resultó en aumentos de los niveles de NO en paralelo con elevaciones de cGMP en la corteza cerebral, el cuerpo estriado y el hipocampo. La tinción con violeta de cresilo y la evaluación microscópica electrónica revelaron que no hubo diferencias significativas en la morfología y el número de neuronas en la corteza cerebral, el cuerpo estriado y el hipocampo. Por el contrario, el número de neuronas inmunorreactivas (IR) a nNOS aumentó significativamente en aquellas neuronas

áreas en ratas expuestas a ELF-MF. Estos datos sugieren que el aumento de NO podría deberse a la mayor expresión y activación de nNOS en las células. Basándose en la señalización de NO en estados fisiológicos y patológicos, el ELF-MF creado por sistemas de energía eléctrica puede inducir varios cambios fisiológicos en la vida moderna.

Choi EH, Nwakalor C, Brown NJ, Lee J, Oh MY, Yang IH. Potencial terapéutico de la neuromodulación para enfermedades desmielinizantes. *Neural Regen Res* 2021 Feb;16(2):214-217.

(Revisar)

La neuromodulación representa una clase de vanguardia de métodos terapéuticos tanto invasivos como no invasivos que alteran la actividad de las neuronas. Actualmente, se han desarrollado varias técnicas diferentes (o se están investigando actualmente) para tratar una amplia variedad de trastornos neurológicos y neuropsiquiátricos. Recientemente, estudios in vivo e in vitro han revelado que la neuromodulación también puede inducir la mielinización, lo que significa que podría tener potencial como terapia para varias enfermedades desmielinizantes, incluida la esclerosis múltiple y la leucoencefalopatía multifocal progresiva. Estos hallazgos surgen de un cambio de paradigma en la visión del papel de la mielina dentro del sistema nervioso, desde una estructura estática a un corregulador activo de la plasticidad del sistema nervioso central y participante en la modulación mediada por neuronas. En la presente revisión, destacamos varios de los hallazgos recientes sobre el papel de la actividad neuronal en la alteración de la mielinización, incluidos varios factores solubles y dependientes del contacto que parecen mediar la mielinización dependiente de la actividad neuronal. También destacamos varias consideraciones para las técnicas neuromoduladoras, incluida la necesidad de más investigaciones sobre la precisión espaciotemporal, la dosis y la seguridad y eficacia de la estimulación ultrasónica focalizada transcraneal, una tecnología de neuromodulación emergente. A medida que el campo de la neuromodulación continúa evolucionando, podría generar métodos para el tratamiento de enfermedades desmielinizantes y, como tal, se justifica una mayor investigación sobre los mecanismos de mielinización dependiente de las neuronas, así como sobre las modalidades de neuroimagen que pueden monitorear la actividad de la mielinización.

(E) Choi YK, Lee DH, Seo YK, Jung H, Park JK, Cho H. Estimulación de la diferenciación neuronal en células madre mesenquimales de médula ósea humana mediante campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja incorporados con MNP. *Appl Biochem Biotechnol*. 174:1q33-1245, 2014. (CS, AE, MC, MA)

Las células madre mesenquimales derivadas de la médula ósea humana (hBM-MSC) se han investigado como una nueva solución terapéutica celular debido a su capacidad de diferenciarse en células similares a las neuronales. La terapia con campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) ha surgido como una técnica novedosa que utiliza estímulos mecánicos para diferenciar las hBM-MSC y mejorar significativamente la diferenciación neuronal para afectar las reacciones celulares y moleculares. Las nanopartículas magnéticas de óxido de hierro (Fe₃O₄) (MNP) han logrado recientemente un uso generalizado para aplicaciones biomédicas y las nanopartículas marcadas con polietilenglicol (PEG) se utilizan para aumentar su tiempo de circulación, solubilidad acuosa, biocompatibilidad y captación celular no específica, así como para disminuir la inmunogenicidad. Muchos estudios han utilizado células marcadas con MNP para la diferenciación, pero no ha habido informes de diferenciación neuronal marcada con MNP combinada con EMF. En este estudio,

Las nanopartículas de magnetita (Fe_3O_4) encapsuladas en fosfolípidos de PEG sintetizadas se utilizan en hBM-MSC para mejorar su captación intracelular. Las nanopartículas PEGiladas se expusieron a las células bajo 50 Hz de campos electromagnéticos para mejorar la diferenciación neuronal. En primer lugar, medimos la viabilidad celular y el contenido de hierro intracelular en hBM-MSC después del tratamiento con MNP. El análisis se realizó mediante RT-PCR y análisis inmunohistológico utilizando genes y anticuerpos específicos del tipo de célula neuronal después de la exposición a campos electromagnéticos de 50 Hz. Estos resultados sugieren que los campos electromagnéticos mejoran la diferenciación neuronal en hBM-MSC incorporadas con MNP y serían un método eficaz para diferenciar células neuronales.

(E) Choi YK, Urnukhsaikhan E, Yoon HH, Seo YK, Park JK. Efecto del trasplante de células madre mesenquimales humanas en el modelo de ratón fototrombótico controlado por volumen isquémico cerebral. *Biotechnol J* 2016 Nov;11(11):1397-1404. (AS, CE, MC FC, MA)

Se han desarrollado varios modelos animales de accidente cerebrovascular para simular el accidente cerebrovascular humano, y el desarrollo del método isquémico facilita la investigación preclínica del accidente cerebrovascular. El modelo de isquemia fototrombótica, basado en la reacción fotoquímica intravascular, se utiliza ampliamente para estudios in vivo. Sin embargo, este estudio tiene limitaciones, ya que generó un modelo de infarto de tamaño relativamente pequeño en la corteza superficial en comparación con el modelo de accidente cerebrovascular con OACM. En este estudio, se adapta el modelo de ratón de fototrombosis y se determinan las condiciones óptimas para la generación de muerte celular y déficits con alta reproducibilidad. La extensión del daño dentro de la corteza se evaluó mediante el volumen del infarto y los análisis celulares/conductuales. En este modelo, se detecta la muerte de células neuronales y las respuestas inflamatorias; además, el grado de deterioro conductual se correlaciona con el volumen del infarto cerebral. Además, para mejorar la comprensión de la reparación neuronal, se analiza el efecto de la diferenciación neuronal mediante el trasplante de células madre mesenquimales derivadas de la médula ósea humana (BM-MSC). Los autores demostraron que el trasplante de células madre mesenquimales de médula ósea promovía la diferenciación neuronal y el rendimiento conductual en su modelo de fototrombosis. Por lo tanto, esta investigación fue significativa para proporcionar un modelo animal estable de accidente cerebrovascular con baja variabilidad. Además, este modelo facilitará el desarrollo de nuevas terapias basadas en células madre mesenquimales para el accidente cerebrovascular.

(E) Choi YK, Urnukhsaikhan E, Yoon HH, Seo YK, Cho H, Jeong JS, Kim SC, Jung-Keug Park JK. Efecto combinado del campo electromagnético pulsado y la onda sonora en la diferenciación neuronal in vitro e in vivo de células madre mesenquimales humanas. *Biotechnol Prog* 2017 enero;33(1):201-211. (AS, CS, CE, AE, MC, MA)

El estímulo de ondas biofísicas se ha utilizado como una herramienta eficaz para promover la maduración y la diferenciación celular en la construcción de tejidos diseñados. Los campos electromagnéticos pulsados (PEMF) y las ondas sonoras se han seleccionado como estímulos eficaces que pueden promover la diferenciación neuronal. El objetivo de este estudio fue investigar el efecto sinérgico de los campos electromagnéticos pulsados (PEMF) y las ondas sonoras sobre el potencial de diferenciación neuronal in vitro e in vivo utilizando células madre mesenquimales de médula ósea humana (hBM-MSC). In vitro, los genes relacionados con las neuronas en las hBM-MSC se aceleraron por la exposición combinada a ambas ondas más que por la exposición individual a los PEMF o las ondas sonoras. La onda combinada también aumentó la expresión de proteínas relacionadas con las neuronas y las sinapsis en un sistema de cultivo tridimensional (3-D) a través de la fosforilación de señales extracelulares.

quinasa relacionada. En un modelo de ratón de isquemia inducida fotoquímicamente, la exposición a la onda combinada redujo el volumen del infarto y mejoró la actividad conductual posterior a la lesión. Estos resultados indican que un estímulo combinado de ondas biofísicas, campos electromagnéticos pulsados y sonido puede mejorar y posiblemente afectar la diferenciación de las células madre mesenquimales en células neuronales. Nuestro estudio es importante para destacar el potencial de las ondas combinadas para efectos neurogénicos y proporcionar nuevos enfoques terapéuticos para la terapia de células neuronales.

(A) Chu LY, Lee JH, Nam YS, Lee YJ, Park WH, Lee BC, Kim D, Chung YH, Jeong JH.

Un campo magnético de frecuencia extremadamente baja induce estrés oxidativo en el cerebelo del ratón. *Gen Physiol Biophys.* 30(4):415-421, 2011. (AS, CE, OX)

Hemos investigado si el campo magnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) induce la peroxidación lipídica y las especies reactivas de oxígeno en el cerebelo de ratón. Después de la exposición a 60 Hz ELF-MF a una intensidad de 2,3 mT durante 3 horas, hubo un aumento significativo en el nivel de malondialdehído y radical hidroxilo. ELF-MF indujo significativamente un aumento concomitante en la superóxido dismutasa sin alteración en la actividad de la glutatión peroxidasa. Si bien el contenido de glutatión no se alteró, los niveles de ácido ascórbico disminuyeron significativamente con la exposición a ELF-MF. Estos resultados indican que ELF-MF puede inducir estrés oxidativo en el cerebelo de ratón. Sin embargo, el mecanismo aún debe caracterizarse.

(E) Chung YH, Lee YJ, Lee HS, Chung SJ, Lim CH, Oh KW, Sohn UD, Park ES, Jeong JH.

Un campo magnético de frecuencia extremadamente baja modula el nivel de neurotransmisores. *Korean J Physiol Pharmacol.* 19(1):15-20, 2015. (AS, CE, CC, OX)

Este estudio se propuso observar que el campo magnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) puede ser relevante para los cambios de los principales neurotransmisores en el cerebro de ratas. Después de la exposición al ELF-MF (60 Hz, 2,0 mT) durante 2 o 5 días, medimos los niveles de aminas biógenas y sus metabolitos, neurotransmisores de aminoácidos y óxido nítrico (NO) en la corteza, el cuerpo estriado, el tálamo, el cerebelo y el hipocampo. La exposición al ELF-MF durante 2 o 5 días produjo diferencias significativas en la noradrenalina y el ácido vanililmandélico en el cuerpo estriado, el tálamo, el cerebelo y el hipocampo. También se observaron aumentos significativos en los niveles de serotonina y ácido 5-hidroxiindolacético en el cuerpo estriado, el tálamo o el hipocampo. El ELF-MF aumentó significativamente la concentración de dopamina en el tálamo. El ELF-MF tendió a aumentar los niveles de neurotransmisores de aminoácidos como glutamina, glicina y ácido γ -aminobutírico en el cuerpo estriado y el tálamo, mientras que disminuyó los niveles en la corteza, el cerebelo y el hipocampo. El ELF-MF aumentó significativamente la concentración de NO en el cuerpo estriado, el tálamo y el hipocampo. El presente estudio ha demostrado que la exposición a ELF-MF puede provocar cambios en los niveles de aminas biógenas, aminoácidos y NO en el cerebro, aunque el grado y la propiedad varían según las áreas cerebrales. Sin embargo, los mecanismos aún deben caracterizarse.

(E) Cichoń N, Bijak M, Miller E, Saluk J. Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) reducen el estrés oxidativo y mejoran el estado funcional y psicológico en pacientes con accidente cerebrovascular isquémico. *Bioelectromagnetism.* 38(5):386-396, 2017. (HU, CE, OX, BE, MA)

Como resultado de la isquemia/reperfusión, se produce una generación masiva de especies reactivas de oxígeno, seguida de una disminución de la actividad de las enzimas antioxidantes. Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) pueden modular el estrés oxidativo, pero no existen estudios clínicos antioxidantes en pacientes con accidente cerebrovascular cerebral. El objetivo de nuestro estudio fue investigar el efecto de los ELF-EMF en el estado clínico y antioxidante en pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular. Se dividió a cincuenta y siete pacientes en dos grupos: ELF-EMF y no ELF-EMF. Ambos grupos se sometieron al mismo programa de rehabilitación de 4 semanas. Además, el grupo ELF-EMF estuvo expuesto a un campo ELF-EMF de 40 Hz, 7 mT durante 15 min/día durante 4 semanas (5 días a la semana). Se midió la actividad de la catalasa y la superóxido dismutasa en hemolizados y se determinó el estado antioxidante total (TAS) en plasma. El estado funcional se evaluó antes y después de la serie de tratamientos utilizando las actividades de la vida diaria (AVD), el miniexamen del estado mental (MMSE) y la escala de depresión geriátrica (GDS). La aplicación de ELF-EMF aumentó significativamente la actividad antioxidante enzimática; sin embargo, los niveles de TAS no cambiaron en ninguno de los grupos. Los resultados muestran que ELF-EMF indujo una mejora significativa en el estado funcional (AVD) y mental (MMSE, GDS). Los parámetros clínicos tuvieron una correlación positiva con el nivel de protección antioxidante enzimática.

(E) Cichoń N, Czarny P, Bijak M, Miller E, Śliwiński T, Szemraj J, Saluk-Bijak J.

Efecto benigno del campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja sobre la plasticidad cerebral evaluada mediante el metabolismo del óxido nítrico durante la rehabilitación posterior a un accidente cerebrovascular. *Oxid Med Cell Longev*. 2017:2181942, 2017b. (HU, CE, OX, FC, MA)

El óxido nítrico (NO) es una de las moléculas señalizadoras más importantes, implicada tanto en procesos fisiológicos como patológicos. Como neurotransmisor del sistema nervioso central, el NO regula el flujo sanguíneo cerebral, la neurogénesis y la plasticidad sináptica. El objetivo de nuestro estudio fue investigar el efecto del campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) en la generación y el metabolismo del NO, como neurotransmisor, en la rehabilitación de pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular. Cuarenta y ocho pacientes se dividieron en dos grupos: ELF-EMF y no ELF-EMF. Ambos grupos se sometieron al mismo programa de rehabilitación de 4 semanas. Además, el grupo ELF-EMF estuvo expuesto a un campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja de 40 Hz, 7 mT, durante 15 min/día. Se midieron los niveles de 3-nitrotirosina, nitrato/nitrito y TNFα en muestras de plasma, y se determinó la expresión de NOS2 en muestras de sangre completa. Se evaluó el estado funcional antes y después de una serie de tratamientos, utilizando la Escala de Actividad de la Vida Diaria, la Escala de Depresión Geriátrica y el Mini-Examen del Estado Mental. Observamos que la aplicación de ELF-EMF aumentó significativamente los niveles de 3-nitrotirosina y nitrato/nitrito, mientras que la expresión de NOS2 disminuyó de manera insignificante en ambos grupos. Los resultados también muestran que los tratamientos con ELF-EMF mejoraron el estado funcional y mental. Concluimos que la terapia con ELF-EMF es capaz de promover la recuperación en pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular.

(E) Cichoń N, Bijak M, Czarny P, Miller E, Synowiec E, Sliwinski T, Saluk-Bijak J.

Aumento de los niveles sanguíneos de factores de crecimiento implicados en el proceso de neuroplasticidad mediante el uso de un campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja en pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular. *Front Aging Neurosci*. 10:294, 2018. (HU, CE, BE, CC, MA)

Antecedentes: La neuroplasticidad asegura la mejora del estado funcional en pacientes que han sufrido un ictus. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la neuroplasticidad en pacientes con ictus de frecuencia extremadamente baja.

Terapia con campos electromagnéticos (ELF-EMF) sobre la plasticidad cerebral en la rehabilitación de pacientes tras un accidente cerebrovascular. Métodos: Cuarenta y ocho pacientes se dividieron en dos grupos que se sometieron al mismo programa de rehabilitación, pero en el grupo de estudio, los pacientes también estuvieron expuestos a una serie estándar de 10 tratamientos ELF-EMF. Para determinar el nivel de neuroplasticidad, medimos el nivel plasmático del factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF), el factor de crecimiento vascular-endotelial, así como la expresión del ARNm del BDNF. Además, determinamos los niveles moleculares del factor de crecimiento de hepatocitos, factor de células madre, factor 1α derivado de células estromales, factor de crecimiento nervioso β y factor inhibidor de leucemia, utilizando un panel de citocinas 5plex en plasma. Después de 4 semanas, durante las cuales los pacientes se sometieron a neurorrehabilitación y exámenes neurológicos, evaluamos la recuperación funcional utilizando el Índice de Barthel, el Mini-Examen del Estado Mental (MMSE), la Escala de Depresión Geriátrica, la Escala de Accidentes Cerebrovasculares de los Institutos Nacionales de Salud (NIHSS) y la Escala de Rankin modificada (mRS). Resultados: Observamos que los CEM de frecuencia extremadamente baja aumentaron significativamente los factores de crecimiento y los niveles de citocinas involucrados en la neuroplasticidad, así como también promovieron una mejora de la recuperación funcional en pacientes post-ACV. Además, presentamos evidencia de que estos efectos podrían estar relacionados con el aumento de la expresión génica a nivel de ARNm. Además, un cambio en el nivel plasmático de BDNF se correlacionó positivamente con el Índice de Barthel, MMSE y negativamente con GDS. Conclusión: La terapia con campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja mejora la efectividad de la rehabilitación de pacientes post-ACV al mejorar los procesos de neuroplasticidad.

(E) Cichon N, Bijak M, Synowiec E, Miller E, Sliwinski T, Saluk-Bijak J. Modulaci3n de la expresi3n g3nica de enzimas antioxidantes mediante un campo electromagn3tico de frecuencia extremadamente baja en pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular. Scand J Clin Lab Invest. 78(7-8):626-631, 2018. (HU, CE, OX, MA)

El estr3s oxidativo desempeña el papel m3s importante en la patog3nesis del ictus. La terapia con campos electromagn3ticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) puede ser complementaria en la terapia posterior al ictus, ya que modula el estr3s oxidativo. El objetivo de este estudio fue evaluar los niveles de 3cido ribonucleico mensajero (ARNm) de ciertos genes antioxidantes en pacientes post ictus que recibieron terapia ELF-EMF. Cuarenta y ocho pacientes post ictus se dividieron en dos grupos: un grupo ELF-EMF y un grupo sin ELF-EMF. Todos los pacientes se sometieron al mismo programa de fisioterapia, pero el grupo ELF-EMF recibió adem3s tratamiento ELF-EMF. Para determinar el nivel de expresi3n g3nica, evaluamos el nivel de expresi3n de ARNm de catalasa, super3xido dismutasa y glutati3n peroxidasa. Observamos que despu3s de la terapia ELF-EMF, la expresi3n de ARNm de los genes estudiados (CAT, SOD1, SOD2, GPx1 y GPx4) aument3 significativamente, lo que mejor3 la defensa antioxidante del cuerpo. La terapia ELF-EMF intensifica el sistema antioxidante end3geno al aumentar la expresi3n de ARNm de los genes que codifican enzimas antioxidantes y mejora la eficacia de la terapia del paciente despu3s de un accidente cerebrovascular.

(E) Cichoń N, Rzeźnicka P, Bijak M, Miller E, Miller S, Saluk J. Un campo electromagn3tico de frecuencia extremadamente baja reduce el estr3s oxidativo durante la rehabilitaci3n de pacientes con accidente cerebrovascular postagudo. Adv Clin Exp Med. 27(9):1285-1293, 2018. (HU, CE, BE, OX, MA)

ANTECEDENTES: Uno de los m3todos terap3uticos utilizados en la rehabilitaci3n de pacientes con ACV es la magnetoterapia, que utiliza campos electromagn3ticos de frecuencia extremadamente baja y forma de pulso variable (ELF-EMF). OBJETIVOS: El objetivo de nuestro estudio fue investigar el efecto de la magnetoterapia en la condici3n de los pacientes con ACV postagudo, medido por marcadores de estr3s oxidativo plasm3tico y par3metros clínicos que muestran el progreso de la rehabilitaci3n. MATERIAL Y M3TODOS: Los 57 pacientes post ACV seleccionados se dividieron en 2 grupos, aquellos con ACV postagudo y aquellos con ACV postagudo.

Terapia con ELFEMF y sin ella. El nivel de estrés oxidativo en el plasma se estimó mediante marcadores típicos: sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS), grupos tiol y grupos carbonilo. El efecto de los ELF-EMF en el curso de la rehabilitación de los pacientes después de un accidente cerebrovascular isquémico se evaluó con el uso de escalas de actividad física y estado mental: Actividades de la vida diaria (AVD), Mini-Examen del estado mental (MMSE) y Escala de depresión geriátrica (GDS). RESULTADOS: Nuestro análisis comparativo mostró que todos los parámetros de estrés oxidativo se reducen significativamente durante la rehabilitación con ELF-EMF, en comparación con el grupo de control rehabilitado solo con kinesioterapia. También registramos beneficios terapéuticos mucho mayores con el uso de magnetoterapia, que reveló una mejora significativa de los parámetros clínicos.

CONCLUSIONES: La terapia ELF-EMF mejora significativamente el estado general de los pacientes a través de una disminución de los marcadores de estrés oxidativo y afecta significativamente las capacidades psicofísicas de los pacientes después de un accidente cerebrovascular. El cambio en el nivel de grupos carbonilo se correlaciona con el cambio en el grado de discapacidad física y mental; por lo tanto, podría ser un marcador de la eficacia de la rehabilitación.

(E) Cichon N, Synowiec E, Miller E, Sliwinski T, Ceremuga M, Saluk-Bijak J, Bijak M

Efecto de la rehabilitación con un campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja sobre el mecanismo molecular de la apoptosis en pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular. Brain Sci 2020 30 de abril;10(5):266. (HU, CE, CC, ND)

La apoptosis en el ictus agudo se asocia a un pronóstico negativo y se correlaciona con la gravedad del déficit neurológico. Sin embargo, no hay evidencia que indique que, en la fase subaguda del ictus, el proceso de apoptosis pueda activar la neuroplasticidad. Por lo tanto, en este estudio, investigamos el efecto de un campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) sobre el mecanismo molecular de la apoptosis, tal como se utiliza en la rehabilitación de pacientes que han sufrido un ictus. Se incluyeron en el análisis pacientes con ictus de gravedad moderada (n = 48), 3-4 semanas después del incidente, y se dividieron en grupos ELF-EMF y no ELF-EMF. El programa de rehabilitación en ambos grupos incluye lo siguiente: kinesioterapia-30 min; terapia psicológica-15 min; y rutinas neurofisiológicas-60 min. Además, el grupo ELF-EMF estuvo expuesto a un ELF-EMF (40 Hz, 5 mT). Para evaluar el nivel de expresión del gen de apoptosis, medimos la expresión del ARNm de BAX, BCL-2, CASP8, TNF α y TP53. Descubrimos que la exposición a ELF-EMF aumentó significativamente la expresión de BAX, CASP8, TNF α y TP53, mientras que la expresión del ARNm de BCL-2 después de la exposición a ELF-EMF se mantuvo en un nivel comparable en ambos grupos.

Por lo tanto, sugerimos que el aumento de la expresión de genes proapoptóticos en pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular promueve la activación de vías de señalización implicadas en los procesos de plasticidad cerebral. Sin embargo, se necesitan más investigaciones para aclarar este proceso.

(E) Ciejk E, Kleniewska P, Skibska B, Goraca A. Efectos de un campo magnético de frecuencia extremadamente baja sobre el equilibrio oxidativo en el cerebro de ratas. J Physiol Pharmacol. 62(6):657-661, 2011. (AS, CE, OX)

Los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) pueden provocar daño oxidativo del ADN y peroxidación lipídica con un efecto final sobre una serie de trastornos sistémicos y muerte celular. El objetivo del estudio es evaluar el efecto de los parámetros ELF-MF utilizados con más frecuencia en magnetoterapia sobre la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) en el tejido cerebral de pacientes experimentales.

animales en función del tiempo de exposición a este campo. El material de investigación incluyó ratas Sprague-Dawley macho adultas, de 3 a 4 meses de edad. Los animales se dividieron en 3 grupos: I - grupo de control (grupo de simulación); II - expuestos a los siguientes parámetros del campo magnético: 7 mT, 40 Hz, 30 min/día, 10 días; III - expuestos a los parámetros ELF-MF de 7 mT, 40 Hz, 60 min/día, 10 días.

Los parámetros seleccionados de estrés oxidativo: sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS), peróxido de hidrógeno (H_2O_2), grupos sulfhidrilo libres totales (grupos -SH) y proteína en homogeneizados cerebrales se midieron después de la exposición de ratas al campo magnético. Los parámetros ELF-MF de 7 mT, 40 Hz, 30 min/día durante 10 días provocaron un aumento significativo en la peroxidación lipídica y un aumento insignificante en H_2O_2 y grupos -SH libres. Los mismos parámetros ELF-MF pero aplicados durante 60 min/día provocaron un aumento significativo en los grupos -SH libres y la concentración de proteína en los homogeneizados cerebrales, lo que indica el mecanismo adaptativo. El estudio ha demostrado que el ELF-MF aplicado durante 30 min/día durante 10 días puede afectar la generación de radicales libres en el cerebro. La prolongación de la exposición al ELF-MF (60/min/día) provocó la adaptación a este campo. El efecto de la irradiación ELF-MF sobre los parámetros de estrés oxidativo depende del tiempo de exposición del animal al campo magnético.

(E) Clarke D, Penrose MA, Penstone T, Fuller-Carter PI, Hool LC, Harvey AR, Rodger J, Bates KA. Efectos específicos de frecuencia de la estimulación magnética repetitiva en cultivos primarios de astrocitos. *Restor Neurol Neurosci.* 35(6):557-569, 2017. (CS, AE, FC)

ANTECEDENTES: La estimulación magnética transcraneal repetitiva (EMTr) es una técnica no invasiva que utiliza pulsos magnéticos sobre el cráneo para inducir corrientes eléctricas en el tejido cortical subyacente. Aunque la EMTr ha demostrado ser útil clínicamente para una serie de afecciones neurológicas, solo tenemos un conocimiento limitado de cómo la EMTr influye en la función celular y las interacciones entre células. OBJETIVO: En este estudio, buscamos investigar si la estimulación magnética repetitiva (EMr) puede influir en la biología de los astrocitos in vitro. MÉTODO: Probamos cuatro frecuencias de EMTr diferentes y medimos la respuesta de calcio en cultivos primarios de astrocitos neonatales. También probamos el efecto de la EMTr en la migración y proliferación de astrocitos in vitro. Probamos de 3 a 4 réplicas de cultivo y de 17 a 34 células para cada frecuencia de EMTr (simulación, 1 Hz, cTBS, 10 Hz y estimulación biomimética de alta frecuencia - BHFS). RESULTADOS: De todas las frecuencias analizadas, la estimulación con 1 Hz produjo un aumento estadísticamente significativo del calcio intracelular en los compartimentos citoplasmático y nuclear de los astrocitos cultivados. Este aumento del calcio no afectó a la migración ni a la proliferación en el ensayo de rascado, aunque la hipertrofia de los astrocitos se redujo en respuesta a la estimulación electromagnética retrógrada de 1 Hz, 24 horas después de la lesión por rascado. CONCLUSIÓN: Nuestros resultados proporcionan evidencia preliminar de que la estimulación electromagnética retrógrada puede influir en la fisiología de los astrocitos, lo que indica la posibilidad de un nuevo mecanismo por el cual la estimulación electromagnética retrógrada puede influir en la actividad cerebral.

(E) Colciago A, Audano M, Bonalume V, Melfi V, Mohamed T, Reid AJ, Faroni A, Greer PA, Mitro N, Magnaghi V El perfil transcriptómico revela la desregulación de los genes relacionados con la pérdida auditiva en las células del schwannoma vestibular tras la exposición a un campo electromagnético. *Cells* 2021 Jul 20;10(7):1840. (CS, CE, CC, MA)

La pérdida auditiva (PA) es el trastorno sensorial más común en la población mundial. Una causa común de PA es la presencia de schwannoma vestibular (VS), un tumor benigno del VIII par craneal, que surge de la transformación de las células de Schwann (SC). En la última década, la creciente incidencia de VS se ha correlacionado con la exposición a campos electromagnéticos (CEM), que podrían considerarse una causa patogénica del desarrollo de VS y PA. Aquí, exploramos los mecanismos moleculares subyacentes a los cambios biológicos de las SC humanas y/o su transformación oncogénica después de la exposición a CEM. A través de la tecnología NGS y el análisis transcriptómico de ARN-Seq, investigamos el perfil genómico y la visualización diferencial de genes relacionados con PA después de CEM crónico. Descubrimos que la exposición crónica a CEM modificó la proliferación celular, en paralelo con cambios en la señalización intracelular y las vías metabólicas, principalmente relacionados con la traducción y las actividades mitocondriales. Es importante destacar que la expresión de genes relacionados con HL, como NEFL, TPRN, OTOGL, GJB2 y REST, parecía estar desregulada en la exposición crónica a los EMF. En conclusión, sugerimos que, en una etapa preclínica, la exposición a EMF podría promover la transformación de células VS y contribuir a la HL.

(E) Consales C, Cirotti C, Filomeni G, Panatta M, Butera A, Merla C, Lopresto V, Pinto R, Marino C, Benassi B. El campo magnético de cincuenta hercios afecta la modulación epigenética del miR-34b/c en las células neuronales. *Mol Neurobiol.* 55(7):5698-5718, 2018. (CS, AE, OX, CC, ND)

La exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) se ha asociado con un mayor riesgo de enfermedades neurodegenerativas, aunque los mecanismos moleculares subyacentes aún no están definidos. Dado que recientemente se ha descubierto que la modulación epigenética es uno de los eventos clave que conducen a la degeneración neuronal, nuestro objetivo aquí fue evaluar si el control de la expresión génica mediada por miRNAs, en concreto miRs-34, tiene algún papel en la conducción de la respuesta de las células neuronales a un campo magnético de 50 Hz (1 mT) in vitro. Demostramos que los ELF-MF impulsan una reducción temprana del nivel de expresión de miR-34b y miR-34c en células de neuroblastoma humano SH-SY5Y, así como en neuronas corticales primarias de ratón, al afectar la transcripción del pri-miR-34 común. Esta modulación no depende de p53, sino que es atribuible a la hipermetilación de la isla CpG mapeada dentro del promotor miR-34b/c. La incubación con N-acetil-L-cisteína o éster etílico de glutatión no logra restaurar la expresión de miR-34b/c, lo que sugiere que los miR-34 no responden al estrés oxidativo inducido por ELF-MF. Por el contrario, demostramos que los miR-34 controlan la producción de especies reactivas de oxígeno y afectan el estrés oxidativo mitocondrial desencadenado por los ELF-MF, probablemente modulando los objetivos de miR-34 relacionados con las mitocondrias identificados mediante análisis in silico. Finalmente, demostramos que los ELF-MF alteran la expresión de la α -sinucleína, que se estimula específicamente tras la exposición a los ELF-MF a través de la orientación directa de miR-34 y el estrés oxidativo. En conjunto, nuestros datos destacan el potencial de los ELF-MF para ajustar la homeostasis redox y el control epigenético de la expresión génica in vitro y arrojan luz sobre los posibles mecanismos que producen efectos perjudiciales y predisponen a las neuronas a la degeneración.

(E) Consales C, Merla C, Benassi B, Garcia-Sanchez T, Muscat A, André FM, Marino C, Lluís M Mir LM. Efectos biológicos de pulsos eléctricos ultracortos en una línea celular de neuroblastoma: el papel de la densidad energética. *Int J Radiat Biol* 2021 Oct 29;1-40. doi: 10.1080/09553002.2022.1998704. En línea antes de su publicación impresa. (CS, AE, CC)

Antecedentes: A pesar de los numerosos resultados de la literatura sobre los efectos biológicos de la exposición a campos electromagnéticos, los mecanismos de interacción de estos campos con los organismos aún son un tema de debate. Los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja pueden modular la homeostasis redox y demostramos que la exposición de 24 horas a 50 Hz-1 mT tiene un efecto prooxidante y efectos sobre el epigenoma de las células SH-SY5Y, disminuyendo la expresión de miR-34b/c a través de la hipermetilación de su promotor. Métodos: Aquí, investigamos el papel de la densidad de energía electromagnética depositada durante exposiciones de 24 horas a campos magnéticos de amplitud de 1 mT a una frecuencia de 50 Hz en la inducción de los efectos mencionados anteriormente. Para este fin, administramos pulsos eléctricos ultracortos, en el rango de duración de microsegundos y nanosegundos, con la misma densidad de energía de la exposición magnética realizada previamente a células SH-SY5Y. Además, exploramos el efecto de mayores densidades de energía depositadas. Se realizó un análisis de i) expresión de genes y microARN, ii) morfología celular, iii) generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) y iv) apoptosis. Resultados : Observamos cambios significativos en la expresión de *egr-1* y *c-fos* a niveles muy bajos de densidad de energía depositada, pero ningún cambio en la producción de ROS, la expresión de miR-34b/c ni la aparición de indicadores de apoptosis. Por lo tanto, buscamos investigar los cambios en la expresión de *egr-1* y *c-fos* causados por pulsos eléctricos ultracortos a niveles crecientes de densidad de energía depositada. Los pulsos con la mayor densidad de energía depositada causaron electroporación celular e incluso otros cambios morfológicos como la fusión celular. Los cambios en la expresión de *egr-1* y *c-fos* fueron más intensos, pero, nuevamente, no se observó ningún cambio en la producción de ROS, la expresión de miR-34b/c ni la inducción de apoptosis. Conclusión: Estos resultados, que muestran que niveles extremadamente bajos de estimulación eléctrica (nunca investigados hasta ahora) pueden causar cambios transcripcionales, también revelan la seguridad de los pulsos de electroporación utilizados en aplicaciones biomédicas y abren la posibilidad de otras aplicaciones terapéuticas de esta tecnología.

(E) Cook CM, Saucier DM, Thomas AW, Prato FS. Cambios en la actividad alfa del EEG humano tras la exposición a dos secuencias de campos magnéticos pulsados diferentes. *Bioelectromagnetismo*. 30(1):9-20, 2009. (AE, HU, EE)

El presente estudio investiga los efectos de un campo magnético de frecuencia extremadamente baja (ELF MF) débil (± 200 microT(pk)), pulsado, sobre el electroencefalograma (EEG) humano. Previamente hemos determinado que la exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF MF) pulsados puede afectar el EEG, en particular la frecuencia alfa (8-13 Hz) sobre la región occipital-parietal del cuero cabelludo. En el presente estudio, los sujetos ($n = 32$) fueron expuestos a dos secuencias de MF pulsadas diferentes (1 y 2, utilizadas previamente) que diferían en la tasa de presentación, con el fin de examinar los efectos sobre la frecuencia alfa del EEG humano. Los resultados sugieren que, en comparación con la exposición simulada, la actividad alfa se redujo en las regiones occipital-parietal del cerebro durante la exposición a la secuencia 1, mientras que la actividad alfa en las mismas regiones fue mayor después de la exposición a la secuencia 2. Estos efectos ocurrieron después de aproximadamente 5 minutos de exposición a MF pulsadas. Los resultados también sugieren que una exposición previa a la secuencia de MF pulsada determinó las respuestas de los sujetos en el presente experimento. Este estudio respalda nuestra observación previa de cambios en el EEG después de 5 minutos de exposición a MF pulsada de ELF.

Los resultados de este estudio también son consistentes con los experimentos de EEG existentes sobre los efectos de ELF MF y de los teléfonos móviles en el cerebro.

(E) Corbacio M, Brown S, Dubois S, Goulet D, Prato FS, Thomas AW, Legros A. Rendimiento cognitivo humano en un campo magnético de frecuencia de línea eléctrica de 3 mT. Bioelectromagnetismo. 32(8):620-633, 2011. (HU, AE, BE)

Se ha informado que los campos magnéticos (MF) de frecuencia extremadamente baja (ELF, <300 Hz) modulan el rendimiento cognitivo en humanos. Sin embargo, existen pocas investigaciones con exposiciones a MF comparables a los niveles más altos experimentados en ocupaciones como trabajadores de líneas eléctricas y soldadores industriales. Esta investigación tiene como objetivo evaluar el impacto de un MF de 60 Hz, 3 mT en el rendimiento cognitivo humano. Noventa y nueve participantes completaron el protocolo doble ciego, realizando una selección de pruebas psicométricas bajo dos condiciones consecutivas de exposición a MF dictadas por la asignación a uno de tres grupos (simulado/simulado, exposición a MF/simulado o simulación/exposición a MF). Los datos se analizaron utilizando un análisis de varianza de modelo mixto 3×2 . El rendimiento entre repeticiones mejoró en 11 de 15 parámetros psicométricos (efecto de la práctica). Un efecto de interacción significativo en la prueba de amplitud de dígitos hacia adelante ($F = 5,21$, $P < 0,05$) reveló una ausencia de efectos de la práctica para ambos grupos de exposición, pero no para el grupo de control. Esta prueba de memoria indica la abolición inducida por MF de la mejora asociada con la práctica. En general, este estudio no establece ningún efecto claro de MF en la cognición humana. Se especula que una MF ELF puede interferir con los procesos neuropsicológicos responsables de este efecto de aprendizaje a corto plazo respaldado por la plasticidad sináptica cerebral.

(E) Coşkun S, Balabanlı B, Canseven A, Seyhan N. Efectos de los campos magnéticos continuos e intermitentes sobre los parámetros oxidativos in vivo. Neurochem Res. 34(2):238-243, 2009. (AS, CE, CC, OX)

Se utilizó un campo magnético continuo e intermitente de 50 Hz, 1,5 mT con un período de exposición de 4 h/día durante 4 días para investigar su posible efecto en cobayos adultos. Se evaluaron los tejidos y las muestras de plasma mediante parámetros bioquímicos. Se examinaron los niveles de malondialdehído (MDA), glutatión (GSH), óxido nítrico (NO) y actividad de mieloperoxidasa (MPO) en plasma, hígado y tejidos cerebrales. Todos los parámetros se determinaron mediante espectrofotómetro. Si bien el campo magnético intermitente fue eficaz en la peroxidación lipídica plasmática, se encontró que el campo magnético continuo era eficaz en la actividad de MPO plasmática y los niveles de NO. También se observó un aumento de la peroxidación lipídica en el tejido hepático tanto con exposiciones intermitentes como continuas al campo magnético. Estos resultados indican que tanto la exposición intermitente como continua al campo magnético afecta a varios tejidos de manera distinta debido a que tienen diferentes estados y respuestas antioxidantes tisulares.

(E) Cuccurazzu B, Leone L, Podda MV, Piacentini R, Riccardi E, Ripoli C, Azzena GB, Grassi C. La exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (50 Hz) mejora la neurogénesis del hipocampo adulto en ratones C57BL/6. Exp Neurol. 226(1):173-182, 2010. (AS, CE, MC, MA)

A lo largo de la vida, se generan continuamente nuevas neuronas en el hipocampo, que es, por tanto, un importante lugar de plasticidad estructural en el cerebro adulto. Recientemente hemos demostrado que los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELFEF) promueven la diferenciación neuronal.

de células madre neuronales in vitro mediante la regulación positiva de la actividad del canal Ca(v)1. El objetivo del presente estudio fue determinar si la estimulación con ELFEF de 50 Hz/1 mT también afecta la neurogénesis hipocampal adulta in vivo y, de ser así, identificar los mecanismos moleculares subyacentes a esta acción y su impacto funcional en la plasticidad sináptica. La exposición a ELFEF (1 a 7 h/día durante 7 días) mejoró significativamente la neurogénesis en el giro dentado (DG) de ratones adultos, como lo documentó el aumento del número de células doblemente marcadas con 5-bromo-desoxiuridina (BrdU) y doble cortina.

El análisis cuantitativo de RT-PCR de extractos de hipocampo reveló aumentos significativos inducidos por la exposición a ELFEF en la transcripción de genes proneuronales (Mash1, NeuroD2, Hes1) y genes que codifican subunidades $\alpha(1C)$ del canal Ca(v)1.2. El aumento de la expresión de los canales NeuroD1, NeuroD2 y Ca(v)1 también se documentó mediante análisis de transferencia Western. Los experimentos de inmunofluorescencia mostraron que, 30 días después de la estimulación con ELFEF, aproximadamente la mitad de las neuronas inmaduras recién generadas habían sobrevivido y se habían convertido en células granulares dentadas maduras (como lo demuestra su inmunorreactividad tanto para BrdU como para NeuN) y se integraron en la capa de células granulares del DG. Los experimentos electrofisiológicos demostraron que las nuevas neuronas maduras influyeron en la plasticidad sináptica del hipocampo, como se reflejó en el aumento de la potenciación a largo plazo. Nuestros hallazgos muestran que la exposición a ELFEF puede ser una herramienta eficaz para aumentar la neurogénesis in vivo y podrían conducir al desarrollo de nuevos enfoques terapéuticos en medicina regenerativa.

(E) Cui Y, Ge Z, Rizak JD, Zhai C, Zhou Z, Gong S, Che Y. Déficits en el rendimiento en laberintos acuáticos y estrés oxidativo en el hipocampo y el cuerpo estriado inducidos por la exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja. PLoS One. 7(5):e32196, 2012. (AS, CE, BE, OX)

La exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) en nuestro entorno ha aumentado drásticamente. Los estudios epidemiológicos sugieren que existe una posible asociación entre la exposición a ELF-MF y un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares, cánceres y trastornos neurodegenerativos. Los estudios realizados en animales muestran que la exposición a ELF-MF puede interferir con la actividad de las células cerebrales, generar trastornos conductuales y cognitivos y producir déficits en la atención, la percepción y el aprendizaje espacial. Aunque muchos esfuerzos de investigación se han centrado en la interacción entre la exposición a ELF-MF y el sistema nervioso central, el mecanismo de interacción aún se desconoce. En este estudio, examinamos los efectos de la exposición a ELF-MF en el aprendizaje en ratones utilizando dos tareas de laberinto acuático y en algunos parámetros indicativos de estrés oxidativo en el hipocampo y el cuerpo estriado. Descubrimos que la exposición a ELF-MF (1 mT, 50 Hz) indujo un estrés oxidativo grave en el hipocampo y el cuerpo estriado y afectó el aprendizaje espacial dependiente del hipocampo y el aprendizaje de hábitos dependiente del cuerpo estriado. Este estudio proporciona evidencia de la asociación entre el deterioro del aprendizaje y el estrés oxidativo en el hipocampo y el cuerpo estriado inducido por la exposición a ELF-MF.

(E) Cvetkovic D, Cosic I. Alteraciones de la actividad electroencefalográfica humana causadas por múltiples exposiciones a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja. Med Biol Eng Comput. 47(10):1063-1073, 2009. (HU, AE, EE, MA)

En el pasado, muchos estudios han afirmado que la exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF) podría alterar la actividad electroencefalográfica (EEG) humana. Este estudio tiene como objetivo

Ampliación de nuestro estudio piloto de ELF para investigar si las exposiciones a MF en ELF en serie de 50, 16,66, 13, 10, 8,33 a 4 Hz podrían alterar la potencia relativa dentro de las bandas de EEG correspondientes. Se evaluó a 33 sujetos humanos en condiciones de doble ciego y contrabalanceadas. Se empleó el diseño mixto de análisis de varianza (ANOVA) de tres vías repetido múltiple (dentro y entre sujetos) seguido de pruebas t post-hoc y corrección alfa de Bonferroni.

Los resultados de este estudio han demostrado que las bandas estrechas alfa1 (7,5-9,5 Hz) y alfa2 (9-11 Hz), asociadas con exposiciones a MF de 8,33 y 10 Hz, fueron significativamente ($p < 0,0005$) más bajas que el control en las regiones temporal y parietal dentro de los 10-16 min de la primera sesión de exposición a MF y las exposiciones a MF fueron significativamente más altas que el control de la segunda sesión de exposición a MF (60-65 min desde el comienzo de la prueba). Además, se encontró que la banda beta1 (12-14 Hz) exhibió un aumento significativo desde antes hasta después de la primera sesión de exposición a MF de 13 Hz en la región frontal. El resultado final de nuestro estudio ha demostrado que es posible alterar la actividad EEG humana de las bandas alfa y beta cuando se expone a MF en frecuencias correspondientes a esas mismas bandas, dependiendo del orden y período de las condiciones de MF. Este tipo de sincronización EEG de conducción alfa y beta EEG mediante estimulación MF sinusoidal alfa y beta, demostrada en este estudio, posiblemente podría aplicarse como tratamiento terapéutico de anomalías neurofisiológicas particulares, como trastornos del sueño y psiquiátricos.

(E) Das S, Kumar S, Jain S, Avelev VD, Mathur R. La exposición al campo magnético ELF promueve la restauración de las funciones sensoriomotoras en ratas adultas con hemisección de la médula espinal torácica.

Electromagn Biol Med. 31(3):180-194, 2012. (Licenciatura, Ingeniería, Ingeniería mecánica, Ingeniería eléctrica y Maestría)

Las modalidades clínicamente efectivas de tratamiento para la lesión de la médula espinal (LME) aún siguen siendo insatisfactorias y son en gran parte de naturaleza invasiva. Existen informes de regeneración acelerada en nervios periféricos lesionados por campo electromagnético pulsado de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) en la rata. En el presente estudio, se investigó el efecto de la exposición a campo magnético (MF) de baja intensidad (17,96 μ T) (50 Hz) de ratas después de la hemisección de la médula espinal T13 (hSCI) sobre las funciones sensoriomotoras y locomotoras. Las ratas se dividieron en grupos hSCI (exposición simulada) y hSCI + MF (MF: 2 h/d X 6 semanas). Además de sus condiciones generales, se anotó la función locomotora por puntuación de Basso, Beattie y Brenahan (BBB); respuestas motoras a estímulos nocivos por umbral de movimiento de la cola (TTF), vocalización simple (TSV), latencia del movimiento de la cola (TFL) y excitabilidad neuronal por reflejo H. Se encontró que, en el grupo hSCI + MF, se observó una mejora estadísticamente significativa sobre el grupo de control hSCI en la puntuación BBB desde la semana 2 posterior a la hSCI y TFL y TTF en las semanas 1 y 3 posteriores a la hSCI, respectivamente. En consecuencia, la TSV se restableció gradualmente en la semana 5 posterior a la hSCI. El umbral del reflejo H se redujo en el lado ipsilateral frente al lado contralateral en el grupo hSCI y hSCI + MF. Se restableció drásticamente un control completo de la vejiga el día 4 posterior a la hSCI (frente al día 7 del grupo hSCI) y la tasa de supervivencia fue del 100 % en el grupo hSCI + MF (frente al 90 % del grupo hSCI). Los resultados de nuestro estudio sugieren que la exposición a MF de frecuencia extremadamente baja (50 Hz) y baja intensidad (17,96 μ T) durante 2 h/d X 6 semanas promueve la recuperación del comportamiento sensoriomotor, incluida la locomoción y el control de la vejiga, tanto en términos de patrón temporal como de magnitud en la lesión por hemisección de la médula espinal de ratas (T13).

(E) Davanipour Z, Tseng CC, Lee PJ, Markides KS, Sobel E. Disfunción cognitiva grave y exposición ocupacional a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja entre adultos mayores mexicano-estadounidenses. *Brit J Med Med Res* 4 (8): 1641-1662, 2014. (HU, BE)

Objetivos: Este informe es el primer estudio sobre la posible relación entre la exposición a campos magnéticos (CM) de frecuencia extremadamente baja (50-60 Hz, ELF) y disfunción cognitiva grave.

Estudios anteriores investigaron las relaciones entre la exposición ocupacional a MF y la enfermedad de Alzheimer (EA) o la demencia. Estos estudios tuvieron resultados mixtos, dependiendo de si el diagnóstico de EA o demencia fue realizado por expertos y de la metodología utilizada para clasificar la exposición a MF. Diseño del estudio: Caso-control basado en la población. Lugar y duración del estudio: Neurología y Medicina Preventiva, Facultad de Medicina Keck, Universidad del Sur de California, 2 años.

Metodología: La población del estudio consistió en 3050 mexicano-americanos, de 65 años o más, inscritos en la Fase 1 del estudio de Población Hispana Establecida para el Estudio Epidemiológico de los Ancianos (H-EPESE). Se recopilaron los resultados del Mini-Examen del Estado Mental (MMSE),

el historial ocupacional primario y otros datos. La disfunción cognitiva grave se definió como una puntuación en el MMSE por debajo de 10. Se utilizó la metodología de exposición a MF desarrollada y utilizada en estudios anteriores. Resultados: Los odds ratios (OR) univariados fueron 3,4 ($P < 0,03$; IC del 95 %: 1,3-8,9) para ocupaciones con MF alta y 1,7 ($P = 0,27$; IC del 95 %: 0,7-4,1) para ocupaciones con MF media o alta (M/H). En los modelos de efectos principales multivariados, los resultados fueron similares. Cuando se permitieron términos de interacción en los modelos, las interacciones entre la exposición ocupacional a MF M/H o alta y el historial de tabaquismo o el grupo de edad fueron estadísticamente significativas, dependiendo de si se consideraron dos (65-74, 75+) o tres (65-74, 75-84, 85+) grupos de edad, respectivamente. Cuando los análisis se limitaron a sujetos de 75+ años, las interacciones entre ocupaciones M/H o con MF alta y un historial de tabaquismo positivo fueron estadísticamente significativas.

Conclusión: Los resultados de este estudio indican que trabajar en una ocupación con exposición a MF alta o M/H puede aumentar el riesgo de disfunción cognitiva grave. El tabaquismo y la edad avanzada pueden aumentar el
exposición.

(E) Davarpanah Jazi S, Modolo J, Baker C, Villard S, Legros A. Efectos de un campo magnético de 60 Hz de hasta 50 miliTesla sobre el temblor humano y el EEG: un estudio piloto. *Int J Environ Res Salud Pública*. 14(12):1446, 2017. (HU, AE, EE)

Los seres humanos están rodeados de fuentes de exposición diaria a campos magnéticos de frecuencia industrial (60 Hz en América del Norte). Estos campos magnéticos variables en el tiempo inducen campos eléctricos y corrientes en las estructuras vivas que posiblemente produzcan efectos biológicos. El presente estudio piloto examinó los posibles efectos de los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF) en el control neuromotor humano en general, y en el temblor postural fisiológico y la electroencefalografía (EEG) en particular. Dado que el ritmo mu cortical del EEG (8-12 Hz) de la corteza motora primaria y el temblor fisiológico están relacionados, se planteó la hipótesis de que una exposición a campos magnéticos de 60 Hz centrada en esta región cortical podría modular de forma aguda el temblor fisiológico humano. Se colocó un gorro de EEG compatible con MRI a diez voluntarios sanos (edad: $23,8 \pm 4$ DE) mientras se los exponía a 11 condiciones de campos magnéticos (60 Hz, 0 a 50 mTrms, incrementos de 5 mTrms). Simultáneamente, temblor fisiológico (registrado del dedo índice contralateral) y EEG (del cerebro motor y somatosensorial asociado)

Se midieron las regiones de temblores mediales (MF). Los resultados no mostraron ningún efecto principal significativo de las condiciones de exposición a MF en ninguna de las características de temblor fisiológico analizadas. En términos de EEG, no se observaron efectos significativos de MF para los electrodos C1, C3, C5 y CP1.

Sin embargo, se encontró un efecto principal significativo para los electrodos CP3 y CP5, ambos sugiriendo una potencia espectral del ritmo mu reducida con el aumento de la densidad de flujo de MF. Sin embargo, esto no se confirma con las comparaciones por pares corregidas por Bonferroni. Teniendo en cuenta los hallazgos de EEG y temblor, no se observó ningún efecto de la exposición a MF en el control motor humano. Sin embargo, la exposición a MF tuvo un efecto sutil en la amplitud del ritmo mu en la región cerebral involucrada en la percepción táctil. Los hallazgos actuales deben considerarse con cautela debido al pequeño tamaño de este trabajo piloto, pero proporcionan información preliminar a las agencias internacionales que establecen pautas con respecto al campo electromagnético.

Exposición con nuevos datos experimentales adquiridos en humanos expuestos a MF de alto rango mT.

(E) de Kleijn S, G. Ferwerda, M. Wiese, J. Trentelman, J. Cuppen, T. Kozicz, L. de Jager, PWM Hermans, BML Verburg-van Kemenade. Una exposición a corto plazo a un campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja aumenta el número de leucocitos circulantes y afecta la señalización del eje HPA en ratones Bioelectromagnetics 2016 Oct;37(7):433-443.(AS, CE, CC)

Artículo gratuito de PMC

Todavía no se sabe con certeza si los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) pueden inducir efectos sobre la salud como la inmunomodulación. A pesar de la evidencia obtenida in vitro, aún no se ha establecido una asociación inequívoca in vivo. En este estudio, se expuso a ratones a ELF-EMF durante 1, 4 y 24 h/día en un entorno de corto plazo (1 semana) y largo plazo (15 semanas) para investigar los efectos en todo el cuerpo sobre el nivel de regulación del estrés y la respuesta inmunitaria. La señal ELF-EMF contenía múltiples frecuencias (20-5000 Hz) y una densidad de flujo magnético de 10 μ T. Después de la exposición, se analizó la sangre para determinar el número de leucocitos (a corto y largo plazo) y la concentración de hormona adrenocorticotrópica (solo a corto plazo). Además, en el experimento a corto plazo, se determinaron los parámetros relacionados con el estrés, la hormona liberadora de corticotropina, la proopiomelanocortina (POMC) y la expresión del gen CYP11A1, respectivamente, en el núcleo paraventricular hipotalámico, la hipófisis y las glándulas suprarrenales. En el experimento a corto plazo, pero no a largo plazo, los recuentos de leucocitos fueron significativamente mayores en el grupo expuesto durante 24 h en comparación con los controles, principalmente representados por un aumento de neutrófilos y linfocitos CD4 $\pm$. La expresión de POMC y la hormona adrenocorticotrópica plasmática fueron significativamente menores en comparación con los ratones de control no expuestos. En conclusión, la exposición a campos electromagnéticos de ELF a corto plazo puede afectar la activación del eje hipotálamo-hipófisis-suprarrenal en ratones. Los cambios en la liberación de la hormona del estrés pueden explicar los cambios en el número y la composición de los leucocitos circulantes.

(NE) de Groot MW, Kock MD, Westerink RH. Evaluación del potencial neurotóxico de la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) de 50 Hz en células PC12 vírgenes y sometidas a estrés químico. Neurotoxicology. 44:358-364, 2014. (CS, AE, CC, OX)

La creciente exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF), generados por líneas eléctricas y aparatos eléctricos, genera preocupación por los posibles efectos adversos para la salud de los ELF-EMF. Se espera que el sistema nervioso central sea particularmente vulnerable a los ELF-EMF, ya que su

La función de los ELF-EMF depende en gran medida de la excitabilidad eléctrica. Por lo tanto, investigamos los efectos de la exposición aguda (30 min) y subcrónica (48 h) a 50 Hz ELF-EMF en células de feocromocitoma (PC12) vírgenes y estresadas químicamente.

Estas últimas tienen niveles más altos de hierro y/o especies reactivas de oxígeno (ROS) y muestran una mayor vulnerabilidad a las agresiones ambientales. Los efectos de los ELF-EMF en la homeostasis de Ca^{2+} , la producción de ROS y la integridad de la membrana se evaluaron utilizando microscopía de fluorescencia de células individuales Fura-2, ensayos H2-DCFDA y CFDA, respectivamente.

Nuestros datos demuestran que la exposición aguda de células PC12 vírgenes a 50 Hz ELF-EMF hasta 1000 μT no afecta a la $[\text{Ca}^{2+}]_i$ basal o evocada por despolarización. Además, la exposición subcrónica a campos electromagnéticos de frecuencia muy baja (ELF) de hasta 1000 μT no tiene efectos consistentes sobre la homeostasis del Ca^{2+} en células PC12 ingenuas y no afecta

Producción de ROS e integridad de la membrana. Cabe destacar que, en las células PC12 sometidas a estrés químico, la exposición aguda y subcrónica a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF) tampoco logró ejercer efectos consistentes sobre la homeostasis del Ca^{2+} , la producción de ROS y la integridad de la membrana. Nuestros hallazgos combinados indican, por tanto, que la exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF) de 50 Hz hasta 1000 μT , es decir, 10 000 veces por encima de la exposición de fondo, no induce efectos neurotóxicos in vitro, ni en células PC12 ingenuas ni en células sometidas a estrés químico. Aunque nuestros datos requieren confirmación, por ejemplo, en células neuronales en desarrollo in vitro o en animales (en desarrollo), parece que el riesgo neurotóxico de la exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia es limitado.

(E) de Groot MW, van Kleef RG, de Groot A, Westerink RH. Neurotoxicidad del desarrollo in vitro tras exposición crónica a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) de 50 Hz en cultivos primarios de corteza de rata. Toxicol Sci. 149:433-440, 2016. (CS, CE, CC)

La exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) de 50-60 Hz ha aumentado considerablemente en las últimas décadas. Varios estudios epidemiológicos sugirieron que la exposición a ELF-EMF está asociada con efectos adversos para la salud, incluida la neurotoxicidad. Sin embargo, estos estudios son objeto de debate ya que los resultados suelen ser contradictorios y se desconocen los posibles mecanismos subyacentes. Dado que el sistema nervioso en desarrollo es particularmente vulnerable a las agresiones, investigamos los efectos de la exposición crónica y del desarrollo a ELF-EMF in vitro. Las neuronas corticales primarias de ratas recibieron una exposición de desarrollo de 7 días a ELF-EMF pulsado en bloque de 50 Hz (0-

1000 μT) para evaluar los efectos sobre la viabilidad celular (ensayo Alamar Blue/CFDA), la homeostasis del calcio (microscopía de fluorescencia de células individuales), el crecimiento de neuritas (tinción inmunofluorescente con β (III)-tubulina) y la actividad neuronal espontánea (matrices de múltiples electrodos [MEA]). Nuestros datos demuestran que la viabilidad celular no se ve afectada por la exposición a campos electromagnéticos de baja frecuencia (ELF-EMF) durante el desarrollo (0-1000 μT).

Los aumentos de la concentración intracelular de calcio ($[\text{Ca}^{2+}]_i$) provocados por la despolarización y el glutamato aumentan ligeramente a 1 μT , mientras que tanto el $[\text{Ca}^{2+}]_i$ basal como el provocado por la estimulación muestran una inhibición modesta a 1000 μT . El análisis morfológico posterior indicó que la longitud de la neurita no se ve afectada hasta 100 μT , pero aumenta a 1000 μT . Sin embargo, la actividad neuronal pareció prácticamente inalterada tras la exposición crónica a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF) hasta 1000 μT . Los efectos de la exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia fueron pequeños y se limitaron en gran medida a la intensidad de campo más alta (1000 μT), es decir, 10 000 veces por encima de la exposición de fondo y muy por encima de los límites de exposición residencial actuales. Por tanto, nuestros datos combinados indican que la exposición crónica a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF) solo tiene un potencial neurotóxico (de desarrollo) limitado in vitro.

(E) Del Giudice E, Facchinetti F, Nofrate V, Boccaccio P, Minelli T, Dam M, Leon A, Moschini G. La exposición a campos electromagnéticos de cincuenta hercios estimula la secreción de péptido beta-amiloide en neurogliomas humanos cultivados. *Neurosci Lett.* 418(1):9-12, 2007. (CS, CE, ND)

Estudios epidemiológicos recientes plantean la posibilidad de que las personas con exposición ocupacional a campos electromagnéticos de baja frecuencia (50-60 Hz) (LF-EMF), tengan un mayor riesgo de enfermedad de Alzheimer (EA). Sin embargo, se desconocen los mecanismos a través de los cuales los LF-EMF pueden afectar la patología de la EA. Aquí probamos la hipótesis de que la exposición a LF-EMF puede afectar los procesos amiloidogénicos. Examinamos el efecto de la exposición a 3,1 mT 50 Hz LF-EMF en la secreción de Abeta en células de neuroglioma H4 que sobreexpresan de manera estable la proteína precursora amiloide mutante humana. Descubrimos que la exposición nocturna a LF-EMF induce un aumento significativo de la secreción del péptido beta amiloide (Abeta), incluida la isoforma Abeta 1-42, sin afectar la supervivencia celular. Estos hallazgos muestran por primera vez que la exposición a LF-EMF estimula la secreción de Abeta in vitro, lo que alude a un posible vínculo entre la exposición a LF-EMF y el procesamiento de APP en el cerebro.

(E) Deng Y, Zhang Y, Jia S, Liu J, Liu Y, Xu W, Liu L. Efectos del aluminio y la radiación electromagnética de frecuencia extremadamente baja sobre el estrés oxidativo y la memoria en el cerebro de ratones.

Biol Trace Elem Res. 156(1-3):243-252, 2013. (Académico, científico, químico, químico y químico)

Este estudio se propuso investigar el efecto del aluminio y de los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) sobre el estrés oxidativo y la memoria de ratones SPF Kunming. Sesenta ratones SPF Kunming machos se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos: grupo de control, grupo ELF-MF (2 mT, 4 h/día), grupo de carga de aluminio (200 mg de aluminio/kg, 0,1 ml/10 g) y grupo ELF-MF + aluminio (2 mT, 4 h/día, 200 mg de aluminio/kg). Después de 8 semanas de tratamiento, los ratones de tres grupos experimentales (grupo ELF-MF, grupo de carga de aluminio y grupo ELF-MF + aluminio) mostraron, en primer lugar, deterioro de la memoria de aprendizaje, y pareció que la latencia de escape a la plataforma se prolongó y el porcentaje en el cuadrante de la plataforma se redujo en la tarea del laberinto acuático de Morris (MWM). En segundo lugar, están las anomalías patológicas, incluida la pérdida de células neuronales y la sobreexpresión de la proteína tau fosforilada en el hipocampo y la corteza cerebral. Por otra parte, se determinaron los marcadores de estrés oxidativo en el cerebro y el suero de los ratones. Los resultados mostraron una disminución estadísticamente significativa de la actividad de la superóxido dismutasa y un aumento de los niveles de malondialdehído en el grupo ELF-MF ($P < 0,05$ o $P < 0,01$), el grupo de carga de aluminio ($P < 0,01$) y el grupo ELF-MF + aluminio ($P < 0,01$). Sin embargo, el tratamiento con ELF-MF + aluminio no indujo más daño que ELF-MF y aluminio, respectivamente. En conclusión, tanto el aluminio como ELF-MF podrían tener un impacto en la memoria de aprendizaje y la función prooxidativa en los ratones Kunming. Sin embargo, no hubo evidencia de ninguna asociación entre la exposición a ELF-MF con la carga de aluminio.

(E) Dey S, Bose S, Kumar S, Rathore R, Mathur R, Jain S. Un campo magnético de frecuencia extremadamente baja protege la médula espinal lesionada del daño tisular inducido por la microglia y el hierro. *Electromagn Biol Med.* 36:330-340, 2017. (AS, CE, FC, MA)

La lesión de la médula espinal (LME) es una lesión a la médula espinal que provoca la pérdida de la función sensorial y motora por debajo del nivel de la lesión. La LME produce daño mecánico inmediato y degeneración tisular secundaria. Después de la lesión traumática, la microglía activada libera citocinas proinflamatorias y exceso de hierro debido a la hemorragia, lo que inicia el estrés oxidativo que contribuye a la degeneración secundaria. La literatura sugiere que los beneficios son visibles con la reducción de la concentración de hierro y la microglía activada en la LME. El campo magnético atenúa el estrés oxidativo y promueve la regeneración axonal in vitro e in vivo. El presente estudio demuestra el potencial del campo magnético de frecuencia extremadamente baja para atenuar la lesión secundaria inducida por la microglía y el hierro en ratas con LME. Se realizó una transección completa de la médula espinal (nivel T13) en ratas Wistar macho y posteriormente se expuso a un campo magnético (50 Hz, 17,96 μ T) durante 2 h diarias durante 8 semanas. Al final del período de estudio, se disecaron las médulas espinales para cuantificar la microglía, los macrófagos, el contenido de hierro y estudiar la arquitectura del sitio de la lesión.

Se observó una mejora significativa en la locomoción en ratas del grupo con LME + MF en comparación con las del grupo con LME. La histología, la inmunohistoquímica y la citometría de flujo revelaron una reducción significativa en el volumen de la lesión, la microglía, los macrófagos, el tejido de colágeno y el contenido de hierro, mientras que la expresión del factor de crecimiento endotelial vascular alrededor del epicentro de la lesión fue significativamente mayor en el grupo con LME + MF en comparación con el grupo con LME. Estos nuevos hallazgos sugieren que la exposición a ELF-MF reduce el volumen de la lesión, la inflamación y el contenido de hierro, además de facilitar la angiogénesis después de una LME.

(E) Di G, Kim H, Xu Y, Kim J, Gu X. Un estudio comparativo sobre las influencias del campo eléctrico estático y el campo eléctrico de frecuencia industrial en la cognición en ratones. *Environ Toxicol Pharmacol.* 66:91-95, 2019.

(AS, CE, BE, EE)

Recientemente, los campos electromagnéticos alrededor de líneas de transmisión de voltaje ultra alto han recibido considerable atención por sus posibles efectos biológicos. Este estudio tuvo como objetivo investigar los efectos del campo eléctrico estático (SEF) y el campo eléctrico de frecuencia industrial (PFEF) en la cognición. Los ratones fueron expuestos a SEF y PFEF con la misma fuerza (35 kV/m) durante 49 días, respectivamente. Se examinaron los comportamientos en la prueba del laberinto acuático de Morris y los niveles de neurotransmisores de aminoácidos en el hipocampo durante la exposición. Los resultados indicaron que la exposición a 35 kV/m SEF no causaría influencias significativas en la capacidad de aprendizaje y memoria en ratones, mientras que la exposición a 35 kV/m PFEF causaría efectos positivos significativos en la capacidad de aprendizaje y memoria en ratones el día 33. Esta diferencia en los efectos de SEF y PFEF en la cognición posiblemente fue inducida por la diferencia en el grado de polarización molecular y migración de iones en organismos expuestos a dos tipos de campos eléctricos con diferente frecuencia.

(E) Di Loreto S, Falone S, Caracciolo V, Sebastiani P, D'Alessandro A, Mirabilio A, Zimmiti V, Amicarelli F.

La exposición a un campo magnético de frecuencia extremadamente baja de cincuenta hercios provoca una respuesta redox y trófica en neuronas corticales de ratas. *J Cell Physiol.* 219(2):334-343, 2009. (CS, AE, CC, OX)

Se ha generado una gran actividad de investigación en torno a los mecanismos de interacción entre los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) y los sistemas biológicos. Los ELF-MF pueden interferir con

reacciones químicas que involucran especies reactivas de oxígeno (ROS), facilitando así los daños oxidativos en las células vivas. Las neuronas corticales son particularmente susceptibles a los estresores oxidativos y también dependen en gran medida de los factores y proteínas específicos que gobiernan el desarrollo, la actividad y la supervivencia neuronal. El objetivo del presente trabajo fue investigar los efectos de las exposiciones a dos intensidades diferentes de ELF-MF sinusoidales de 50 Hz (0,1 y 1 mT) en los principales sistemas de protección celular antioxidante enzimáticos y no enzimáticos de las neuronas corticales de rata en maduración, el daño peroxidativo de la membrana, así como el patrón de expresión de factores de crecimiento y citocinas. Brevemente, nuestros resultados mostraron que las ELF-MF afectaron positivamente la viabilidad celular y redujeron concomitantemente los niveles de muerte apoptótica en cultivos primarios neuronales de rata, sin efectos significativos en las principales defensas antioxidantes. Curiosamente, el análisis de regresión lineal sugirió una correlación positiva entre el glutatión reducido (GSH) y los niveles de ROS en células expuestas a 1 mT MF. Sobre esta base, nuestra hipótesis es que el GSH podría desempeñar un papel importante en la defensa antioxidante frente al desafío redox inducido por ELF-MF. Además, la respuesta celular basada en GSH se logró junto con una sobreexpresión del factor neurotrófico derivado del cerebro, así como con la regulación dependiente de la interleucina 1beta de las vías de señalización pro-supervivencia después de ELF-MF.

exposición.

(E) Dileone M, Carrasco-López MC, Segundo-Rodríguez JC, Mordillo-Mateos L, López-Aríztegui N, Alonso-Frech F, Catalan-Alonso MJ, Obeso JA, Oliviero A, Foffani G. Cambios de excitabilidad cortical dependientes de dopamina inducidos por estimulación de campo magnético estático transcraneal en la enfermedad de Parkinson.

Representante de ciencia

7(1):4329, 2017. (HU, AE, ND, CE, EE, MA)

La estimulación transcraneal con campo magnético estático (tSMS) es una técnica reciente de estimulación cerebral no invasiva y de bajo costo que disminuye la excitabilidad cortical en sujetos sanos. El objetivo del presente estudio fue probar la capacidad de la tSMS para modular la excitabilidad cortical en pacientes con enfermedad de Parkinson. Realizamos un estudio cruzado, aleatorizado, doble ciego, controlado con placebo para evaluar la excitabilidad cortical antes e inmediatamente después de la tSMS (o placebo) aplicada durante 10 minutos a la corteza motora más afectada de pacientes con enfermedad de Parkinson. La excitabilidad cortical se cuantificó por la amplitud de los potenciales evocados motores (MEP) provocados por la estimulación magnética transcraneal de pulso único.

estimulación magnética transcraneal (TMS). La tSMS redujo significativamente las amplitudes de los MEP en pacientes que no tomaban medicación (después de la retirada nocturna de fármacos dopaminérgicos), pero no en los que sí la tomaban (después de una dosis aguda de levodopa). La variabilidad entre pacientes de los cambios inducidos por la tSMS fue significativamente mayor en los pacientes que tomaban medicación. La variabilidad en los pacientes que tomaban medicación podría explicarse en parte por la progresión de la enfermedad, es decir, cuanto más avanzado estaba el paciente, más probable era observar un cambio de la plasticidad inhibitoria de la tSMS en los pacientes que no tomaban medicación a la plasticidad facilitadora paradójica en los pacientes que tomaban medicación. Estos resultados sugieren que la tSMS induce cambios dependientes de la dopamina en la excitabilidad cortical en pacientes con enfermedad de Parkinson.

(E) Dileone M, Mordillo-Mateos L, Oliviero A, Foffani G. Efectos duraderos de la estimulación del campo magnético estático transcraneal sobre la excitabilidad de la corteza motora. Cerebro

Estímulo. 11(4):676-688, 2018. (HU, AE, EE)

ANTECEDENTES: La estimulación transcraneal con campos magnéticos estáticos (tSMS) se ha añadido recientemente a la familia de técnicas de estimulación cerebral no invasiva inhibidora. Sin embargo, la aplicación de tSMS durante 10-20 minutos sobre la corteza motora (M1) induce solo efectos de corta duración que revierten en unos pocos minutos. **OBJETIVO:** Examinamos si aumentar la duración de la tSMS a 30 minutos conduce a cambios duraderos en la excitabilidad cortical, lo que es fundamental para traducir la tSMS a aplicaciones clínicas.

MÉTODOS: El estudio comprendió 5 experimentos en 45 sujetos sanos. Evaluamos el impacto de 30-min-tSMS sobre M1 en la excitabilidad corticoespinal, medida por la amplitud de los potenciales evocados motores (MEPs) y los umbrales motores en reposo (RMTs) a la estimulación magnética transcraneal de pulso único (TMS) (experimentos 1-2). Luego evaluamos el impacto de 30-min-tSMS en la excitabilidad intracortical, medida por la facilitación intracortical de intervalo corto (SICF) y la inhibición intracortical de intervalo corto (SICI) utilizando protocolos de TMS de pulso pareado (experimentos 2-4). Finalmente, evaluamos el impacto de 10-min-tSMS en SICF y SICI (experimento 5). **RESULTADOS:** 30-min-tSMS disminuyó la amplitud de MEP en comparación con el placebo durante al menos 30 minutos después del final de la estimulación.

Este efecto de larga duración se asoció con un aumento de la SICF y una reducción de la SICI. La tSMS de 10 minutos (que anteriormente se había informado que inducía una disminución de corta duración en la amplitud de los MEP) produjo los cambios opuestos en la excitabilidad intracortical, disminuyendo la SICF mientras que aumentaba la SICI. **CONCLUSIONES:** Estos resultados sugieren una disociación de los cambios intracorticales en la consolidación de una disminución de corta duración a una disminución de larga duración de la excitabilidad corticoespinal inducida por la tSMS. Los efectos de larga duración de la tSMS de 30 minutos abren el camino a la traducción de esta técnica simple, portátil y de bajo costo hacia ensayos clínicos.

(E) Dimitrijević D, Savić T, Anđelković M, Prolić Z, Janać B. Un campo magnético de frecuencia extremadamente baja (50 Hz, 0,5 mT) modifica los componentes de aptitud física y la actividad locomotora de *Drosophila subobscura*. *Int J Radiat Biol.* 90:337-343, 2014. (AS, AE, DE, BE)

Objetivo: Los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF) son un factor ecológico esencial que puede inducir cambios en muchos organismos. El objetivo de este estudio fue examinar los efectos en *Drosophila subobscura* expuesta durante 48 h a un campo magnético ELF (50 Hz, 0,5 mT) en diferentes etapas de desarrollo. **Materiales y métodos:** La etapa de desarrollo de larvas de primer estadio de huevo de líneas isohembras de *D. subobscura* se expuso al campo magnético ELF, y se monitorearon los componentes de aptitud (tiempo de desarrollo, dinámica de desarrollo, viabilidad y proporción de sexos) y la actividad locomotora de machos y hembras de 3 días de edad. Además, los adultos de isohembras de *D. subobscura* recién eclosionados fueron expuestos al campo magnético ELF y su actividad locomotora se monitoreó justo después. **Resultados:** El campo magnético ELF acorta el tiempo de desarrollo, aumenta la viabilidad y no afecta la proporción de sexos de *D. subobscura*. Independientemente de la etapa de desarrollo en la que se expongan los insectos, el campo magnético de ELF disminuye significativamente la actividad locomotora de las moscas adultas, pero después de la exposición de los adultos recién eclosionados, el cambio observado dura más. **Conclusiones:** El campo magnético de ELF aplicado modifica los componentes de aptitud física y la actividad locomotora de *D. subobscura*. Los efectos observados pueden atribuirse a la influencia del campo magnético en diferentes etapas de desarrollo donde los sistemas hormonal y nervioso juegan un papel importante en el control de los parámetros examinados.

(E) Dinčić M, Krstić DZ, Čolović MB, Nešović Ostojić J, Kovačević S, De Luka SR, Djordjević DM, Ćirković S, Brkić P, Todorović J. Modulación del sistema sináptico de rata

Actividades de las ATPasas y de la acetilcolinesterasa inducidas por la exposición crónica al campo magnético estático. *Int J Radiat Biol.* 94(11):1062-1071, 2018. (AS, CE, OX, CC, MA)

OBJETIVO: Se considera que la exposición a campos magnéticos estáticos (SMF) puede tener efectos tanto perjudiciales como terapéuticos, pero el mecanismo de influencia de los SMF en los organismos vivos no se entiende bien. Dado que las adenosina trifosfatasa (ATPasas) y la acetilcolinesterasa (AChE) están implicadas en procesos tanto fisiológicos como patológicos, se siguió la modulación de las actividades de Na⁺/K⁺-ATPasa, ecto-ATPasas y AChE, así como las respuestas al estrés oxidativo en sinaptosomas aislados de ratas después de la exposición crónica a SMF orientados de forma diferente. **MATERIAL Y MÉTODOS:** Las ratas albinas Wistar se dividieron aleatoriamente en tres grupos experimentales (seis animales por grupo): grupo Arriba y Abajo - expuestos a SMF orientados hacia arriba y hacia abajo, respectivamente, y grupo Control. Después de 50 días, las ratas fueron sacrificadas y los sinaptosomas se aislaron de todo el cerebro de la rata y se utilizaron para probar las actividades enzimáticas y los parámetros de estrés oxidativo. **RESULTADOS:** La exposición crónica a 1 mT de SMF aumentó significativamente las actividades de ATPasas y AChE y el nivel de malondialdehído (MDA) en ambos grupos expuestos, en comparación con los valores de control. La disminución significativa en la actividad de la catalasa sinaptosómica ($1,48 \pm 0,17$ U/mg de proteína) inducida por la exposición al campo orientado hacia abajo, en comparación con las obtenidas para el grupo de control ($2,60 \pm 0,29$ U/mg de proteína) y el grupo hacia arriba ($2,72 \pm 0,21$ U/mg de proteína). **CONCLUSIONES:** Se podría concluir que la exposición crónica a SMF orientado de manera diferente aumenta las actividades de ATPasas y AChE en los sinaptosomas de ratas. Dado que las ATPasas cerebrales y la AChE tienen papeles importantes en la patogénesis de varias enfermedades neurológicas, la influencia del SMF en la actividad de estas enzimas puede tener una importancia terapéutica potencial.

(E) Ding HM, Wang X, Mo WC, Qin LL, Wong S, Fu JP, Tan Y, Liu Y, He RQ, Hua Q. Los campos hipomagnéticos provocan ansiedad en ratones machos adultos. *Bioelectromagnetismo* 40(1):27-32, 2019. (AS, AE, BE)

Los campos hipomagnéticos (HMF), es decir, la eliminación del campo geomagnético (GMF), son un factor de riesgo para la salud de los astronautas en el espacio exterior. Se ha establecido que la exposición continua a HMF afecta al ensamblaje del citoesqueleto, la proliferación celular, el desarrollo embrionario e incluso el aprendizaje y la memoria. Además, aunque hubo algunos estudios previos que se centraron en los efectos de la exposición a largo plazo a HMF, hasta ahora se han realizado investigaciones muy limitadas para examinar el efecto de HMF a corto plazo en animales. En este estudio, expusimos ratones machos adultos C57BL/6 a un sistema de simulación de HMF con bobina de Helmholtz de 3 ejes durante 72 h y descubrimos que la exposición a corto plazo a HMF indujo un aumento significativo en las conductas relacionadas con la ansiedad. Y nuestros hallazgos proporcionan información importante tanto para la intervención psicológica como para el cuidado de la salud de los astronautas.

(E) Djordjevic NZ, Paunović MG, Peulić AS. Efectos conductuales similares a la ansiedad de un campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja en ratas. *Environ Sci Pollut Res Int.* 24(27):21693-21699, 2017. (COMO, CE, BE, OX)

En los últimos años, los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) han recibido considerable atención por sus posibles efectos biológicos. Numerosos estudios han demostrado el papel de los ELF-EMF en la modulación del comportamiento. El objetivo de este estudio fue investigar el efecto de los ELF-EMF de corto plazo (50 Hz) en el desarrollo de un comportamiento similar a la ansiedad en ratas a través del cambio del estrés oxidativo hipotalámico y el NO. Diez ratas macho adultas (Wistar albino) se dividieron en dos grupos: grupo de control, sin exposición a ELF-EMF y grupo experimental, expuesto a ELF-EMF durante 7 días. Después de la exposición, se utilizaron pruebas de campo abierto y laberinto elevado para evaluar el comportamiento similar a la ansiedad de las ratas. Una vez finalizadas las pruebas de comportamiento, se midieron las concentraciones de anión superóxido ($O_2^{\cdot-}$), nitrito (NO_2^-),

, como indicador de NO) y peroxinitrito ($ONOO^-$) se determinaron en el hipotálamo de los animales. Los resultados obtenidos muestran que los campos electromagnéticos de muy baja frecuencia inducen un comportamiento similar a la ansiedad y aumentan las concentraciones de $O_2^{\cdot-}$ y NO, mientras que no afectan a la concentración de $ONOO^-$ en el hipotálamo de las ratas. En conclusión, el desarrollo de un comportamiento similar a la ansiedad está mediado por el estrés oxidativo y el aumento de la concentración de NO en el hipotálamo de las ratas expuestas a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia durante 7 días.

(E) Dong L, Zheng Y, Li ZY, Li G, Lin L. Efectos moduladores de los campos electromagnéticos de baja frecuencia en línea sobre la potenciación a largo plazo del hipocampo en ratas Sprague-Dawley macho jóvenes. J Neurosci Res. 2018 Nov;96(11):1775-1785. (CS, AE, EE)

Los campos electromagnéticos de baja frecuencia (LF-EMF) están atrayendo cada vez más atención y se están estudiando en profundidad debido a sus efectos sobre la salud y la biología humanas. Informes recientes indican que la exposición de ratas a LF-EMF induce cambios persistentes en la actividad neuronal. Los estudios utilizaron los siguientes métodos estándar: las ratas o cortes de cerebro de rata se estimularon primero en un sistema de exposición electromagnética externa y luego se trasladaron a una cámara de perfusión de fijación de parche para registrar las características electrofisiológicas (exposición magnética fuera de línea). Sin embargo, este enfoque es susceptible a muchas perturbaciones, como los efectos de los movimientos de cortes cerebrales. En este artículo, describimos una nueva configuración de fijación de parche que se modifica para permitir una estimulación precisa en línea con LF-EMF. Realizamos las simulaciones computacionales de las bobinas de estimulación para describir la uniformidad de la distribución del campo magnético en línea. El campo magnético de 0,5, 1, 2 mT de 15 Hz, 50 Hz y 100 Hz se produjo y se aplicó a cortes para estudiar el efecto de los LF-EMF en la plasticidad sináptica. Demostramos que la pendiente de los potenciales postsinápticos excitatorios de campo (fEPSP) disminuyó significativamente bajo la estimulación en línea ininterrumpida o pulsada con campos electromagnéticos de baja frecuencia (LF-EMF). En el presente estudio, investigamos si los LF-EMF pueden inducir potenciación a largo plazo (LTP) en cortes de hipocampo de ratas Sprague-Dawley macho in vitro. Curiosamente, estos resultados resaltan el papel de los LF-EMF sinusoidales pulsados a 100 Hz solo como moduladores, en lugar de inductores de LTP.

(E) Duan Y, Wang Z, Zhang H, He Y, Lu R, Zhang R, Sun G, Sun X. Efecto preventivo de las procianidinas de la vaina de la semilla de loto sobre el deterioro cognitivo y el daño oxidativo inducidos por la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja. Food Funct. 4(8):1252-1262, 2013. (AS, CE, EB, OX)

El presente estudio investigó los efectos de las procianidinas de la vaina de la semilla de loto (LSPC) administradas por sonda oral sobre los déficits cognitivos y el daño oxidativo de ratones expuestos a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) (50 Hz, 8 mT, 28 días). Los resultados mostraron

que el tratamiento con 90 mg kg⁻¹ LSPCs aumentó significativamente el peso corporal en comparación con el grupo ELF-EMF expuesto a ELF-EMF y mantuvo eficazmente el índice hepático, el índice tímico, el índice renal y el índice esplénico cerca de lo normal. Una prueba de laberinto acuático indicó que las capacidades de aprendizaje y memoria del grupo ELF-EMF se deterioraron significativamente con la exposición a ELF-EMF en comparación con el grupo de control, pero el grupo ELF-EMF + LSPCs90 había mejorado notablemente las capacidades de aprendizaje y memoria en comparación con el grupo ELF-EMF. El malondialdehído (MDA), las especies reactivas de oxígeno (ROS), el óxido nítrico (NO) y la óxido nítrico sintasa (NOS) mostraron principalmente aumentos significativos, mientras que las actividades de glutatión peroxidasa (GPx), catalasa (CAT) y superóxido dismutasa (SOD) disminuyeron significativamente bajo la exposición a ELF-EMF en el grupo ELF-EMF. La administración de LSPC (especialmente 60, 90 mg kg⁻¹) disminuyó el contenido de MDA, ROS y NO y disminuyó la actividad de NOS en los grupos de tratamiento con LSPC. Además, el tratamiento con LSPC (60, 90 mg kg⁻¹) aumentó significativamente la actividad de GPx, CAT y SOD en el hipocampo y el suero.

La observación patológica mostró que el número de células piramidales de las regiones CA1 y CA3 del hipocampo de los grupos de tratamiento con LSPC fue significativamente mayor que el grupo con ELF-EMF. Todos los datos sugirieron que las LSPC pueden prevenir eficazmente el daño al aprendizaje y la memoria y el daño oxidativo causado por el ELF-EMF, muy probablemente a través de la capacidad de las LSPC de eliminar los radicales libres de oxígeno y estimular la actividad de las enzimas antioxidantes.

(E) Duan Y, Wang Z, Zhang H, He Y, Fan R, Cheng Y, Sun G, Sun X. La exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja provoca deterioro cognitivo asociado con la alteración del nivel de glutamato, la activación de la vía MAPK y la disminución de la fosforilación de CREB en el hipocampo de ratones: reversión mediante procianidinas extraídas de la vaina de la semilla de loto. Food Funct. 5(9):2289-2297, 2014. (AS, CE, FC, CC)

Las procianidinas de la vaina de la semilla de loto (LSPC) podrían prevenir eficazmente el daño al aprendizaje y la memoria y el daño oxidativo causados por la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF). Sin embargo, las LSPC protegen a las neuronas del daño inducido por ELF-EMF mediante mecanismos que actualmente no están claros. Una liberación excesiva de glutamato se considera uno de los mecanismos moleculares del daño neuronal en varias enfermedades neurológicas. En este estudio, determinamos si la exposición a ELF-EMF (50 Hz, 8 mT, 28 días) indujo alteraciones de la liberación de glutamato.

en el hipocampo de ratones y exploraron el posible mecanismo, y si el tratamiento con LSPC normalizó sus alteraciones. Los resultados mostraron que la exposición a ELF-EMF indujo el aumento de los contenidos de glutamato, GABA, receptores NMDA activados excesivamente, aumentando el número de receptores NMDA 2B (NR2B) y la concentración intracelular de Ca²⁺ [Ca²⁺]_i en el hipocampo. Además, la exposición a ELF-EMF disminuyó la fosforilación de ERK1/2 y CREB, lo que sugirió que el Ca²⁺

La afluencia inducida por la exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF) estimuló la actividad de ERK, lo que a su vez influye en la expresión de proteínas posteriores en esta vía de señalización. Además, la exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF) también aumentó la fosforilación de JNK1/2 a través de la ASK1 activada, que desempeña un papel fundamental en la muerte de las neuronas hipocámpales. Sin embargo, la administración oral de LSPC (especialmente 60 y 90 mg kg⁻¹) mejoró notablemente la expresión de p-CREB, p-ERK1/2 y p-JNK1/2, acompañada de una disminución de los niveles de glutamato, GABA, [Ca²⁺]_i y NR2B. Por lo tanto, los resultados del presente estudio sugieren que la expresión de p-ERK1/2, p-JNK1/2, [Ca²⁺]_i y p-CREB se normalizó, posiblemente a través de un canal del receptor NMDA, a través de los cambios de GABA, glutamato y NR2B, que podrían ser responsables de los efectos neuroprotectores o de mejora de la memoria de las LSPC.

(E) El Gohary MI, Salama AA, El Saeid AA, El Sayed TM, Kotb HS. Influencia del campo magnético en la actividad cerebral durante la administración de cafeína. *Cell Biochem Biophys*. 67(3):929-933, 2013. (ES, CE, EE)

El objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto de la cafeína, la droga psicoactiva más popular del mundo, sobre la actividad eléctrica del cerebro de ratas expuestas a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF), durante 15 días. Los resultados obtenidos mostraron que la administración de cafeína en un grupo de ratas en dosis de 10 mg/kg (equivalente al consumo humano diario) provocó una reducción en la amplitud de potencia media del trazado del electroencefalograma (EEG) para casi todas las bandas de frecuencia, especialmente α (8-12 Hz). Se observó que la influencia de la cafeína fue más evidente en la corteza motora que en la corteza visual. Mientras que la exposición de otro grupo a ELF-MF de intensidad 0,2 mT durante el mismo período provocó un aumento en la amplitud de potencia media de la mayoría de las bandas de frecuencia del EEG; esto se observó más en el hemisferio derecho del cerebro que en el hemisferio izquierdo. La administración de cafeína a ratas expuestas a ELF-MF produjo, después de 5 días de exposición, un gran aumento de la amplitud de potencia media de la banda α en todos los lugares de los electrodos de registro. Se puede concluir que la administración de cafeína fue más eficaz para reducir el riesgo de ELF-MF en la corteza motora que en la corteza visual.

(E) Elferchichi M, Ammari M, Maaroufi K, Sakly M, Abdelmelek H. Efectos de la exposición a campos magnéticos estáticos sobre las habilidades motoras y los niveles de hierro en el plasma y el cerebro de ratas. *Brain Inj*. 25(9):901-908, 2011. (AS, CE, CC, BE)

OBJETIVO PRINCIPAL: El presente trabajo investigó los efectos conductuales y bioquímicos de la exposición moderada a un campo magnético estático (SMF) en ratas. Los efectos del SMF se evaluaron en ratas expuestas a SMF y en ratas expuestas a SMF. MÉTODOS: Se expusieron ratas Wistar adultas durante 1 hora por día durante 5 días consecutivos a 128 militeslas (mT) de SMF.

Luego, se probaron sus habilidades motoras utilizando una prueba de viga estacionaria y cuerda suspendida.

Se midió el nivel de hierro en el plasma y el cerebro (es decir, corteza frontal, ganglios basales, hipocampo y cerebelo). RESULTADOS: No se observó ningún cambio significativo entre las ratas expuestas al SMF y las ratas simuladas en la prueba de la viga estacionaria y la prueba de la cuerda suspendida.

Sin embargo, el mismo tratamiento indujo un aumento del contenido plasmático de transferrina (+25,4%) y disminuyó el nivel de hierro en plasma (-16,2%). El tratamiento con SMF no alteró la concentración de hierro en el cerebro. CONCLUSIÓN: Los hallazgos indican que la exposición a SMF indujo deficiencia de hierro en plasma pero no indujo déficit de habilidades motoras.

(E) Erdal ME, Yılmaz SG, Gürgül S, Uzun C, Derici D, Erdal N. El perfil de expresión de miRNA se altera de manera diferencial en el cerebro de la rata en comparación con la sangre después de la exposición experimental a un campo electromagnético de 50 Hz y 1 mT. *Prog Biophys Mol Biol*. 132:35-42, 2018. (AS, CE, CC)

Las enfermedades complejas más comunes son resultado de interacciones entre el huésped y el entorno. Uno de esos supuestos factores ambientales es la exposición a campos electromagnéticos, especialmente el campo magnético ocupacional de frecuencia extremadamente baja (ELF), 50 Hz, 1 mT, cuya relevancia neurobiológica sigue siendo esquiva. Evaluamos los efectos de la exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF) a largo plazo (60 días) sobre microARN previamente relacionados con enfermedades cerebrales y humanas.

(miR-26b-5p, miR-9-5p, miR-29a-3p, miR-106b-5p, miR-107, miR-125a-3p). Un total de 64 ratas Wistar-Albino macho/hembra jóvenes (3 semanas de edad) y maduras (10 semanas de edad) se dividieron en grupos expuestos a ELF-MF y simulados. Después del sacrificio de los animales, se recogieron muestras de sangre de la vena de la cola de las ratas y de los tejidos cerebrales. Los niveles de expresión de los miRNA se investigaron con la técnica de PCR en tiempo real y la tecnología de sonda TaqMan. Todos los niveles de expresión de miRNA de las ratas hembras jóvenes muestran una disminución significativa en la sangre según las muestras de cerebro ($p < 0,05$), pero menos miRNA mostraron una disminución significativa similar en la sangre. En conclusión, estas nuevas observaciones podrían informar futuros estudios de psiquiatría biológica clínica sobre el campo electromagnético a largo plazo. exposición y las formas en que las interacciones huésped-ambiente contribuyen al cerebro enfermedades.

(E) Esmailpour K, Sheibani V, Shabani M, Mirnajafi-Zadeh J, Akbarnejad Z. La estimulación de baja frecuencia revierte el deterioro del aprendizaje y la memoria inducido por el kindling en la prueba de evitación pasiva en ratas. Basic Clin Neurosci. 9(1):51-58, 2018. (AS, CE, BE, MA)

INTRODUCCIÓN: La calidad de vida de los pacientes con crisis epilépticas se ve muy afectada por los déficits cognitivos. La estimulación de baja frecuencia (LFS) es un enfoque novedoso para el tratamiento de la epilepsia farmacorresistente. El objetivo principal de esta investigación es investigar el posible efecto de la LFS en la disfunción cognitiva inducida por las crisis. MÉTODOS: Para este fin, los animales encendidos se prepararon mediante estimulación eléctrica CA1 de forma semirrápida (12 estimulaciones/día). Un grupo de animales fue estimulado con LFS, 4 veces a los 30 s, 6 h, 24 h y 30 h después de la última estimulación de encendido. La LFS aplicada se administró en 4 paquetes cada 5 minutos. Los paquetes fueron diseñados con 200 pulsos monofásicos de onda cuadrada de 0,1 ms de duración a 1 Hz. La prueba de evitación pasiva se realizó en todos los animales con el fin de medir el comportamiento de aprendizaje y memoria. RESULTADOS: Las ratas sometidas a estimulación eléctrica del hipocampo mostraron déficits en el aprendizaje y la memoria cuando se realizó la prueba de evitación pasiva. La aplicación de LFS revirtió el deterioro del aprendizaje y la memoria en las ratas sometidas a estimulación eléctrica. Al mismo tiempo, LFS disminuyó notablemente la pérdida neuronal y la atrofia inducidas por la estimulación eléctrica en el hipocampo.

CONCLUSIÓN: La LFS puede tener cierta protección contra el daño cognitivo inducido por convulsiones en ratas excitadas.

(E) Esmekaya MA, Acar SI, Kiran F, Canseven AG, Osmanagaoglu O, Seyhan N. Efectos del campo magnético ELF en combinación con cloruro de hierro (III) (FeCl_3) en el crecimiento celular y la morfología de la superficie de Escherichia coli (E. coli). Appl Biochem Biotechnol. 169(8):2341-2349, 2013. (CS, AE, MC)

Este estudio investigó los efectos de un campo magnético de frecuencia extremadamente baja (ELF) con o sin cloruro de hierro (III) (FeCl_3) sobre el crecimiento y la morfología bacteriana. Las exposiciones a ELF se llevaron a cabo utilizando un sistema de exposición a ELF basado en un par de bobinas de Helmholtz que fue diseñado para generar un campo magnético sinusoidal de 50 Hz. El campo era aproximadamente uniforme en todo el eje del par de bobinas. Las muestras que fueron tratadas o no tratadas con diferentes concentraciones de FeCl_3 fueron expuestas a un campo magnético de 50 Hz, 2 militeslas (mT) durante 24 h. Efecto ELF

La viabilidad se evaluó en términos de recuentos de colonias viables (en unidades formadoras de colonias por mililitro) con la técnica de recuento en placa estándar. Se utilizó microscopía electrónica de barrido para investigar el efecto del campo magnético en la morfología de la superficie de *Escherichia coli*. No se observaron resultados significativos en términos de viabilidad celular entre cepas bacterianas expuestas a ELF y cepas bacterianas simuladas. De manera similar, el tratamiento con FeCl_3 no cambió la viabilidad celular de las muestras de *E. coli*. Sin embargo, observamos algunos cambios morfológicos en las superficies celulares de *E. coli*. Se observaron formaciones de poros y destrucción de membrana en la superficie de las células expuestas al campo ELF de 24 h. Concluimos que la exposición al campo magnético ELF a 2 mT no afecta la viabilidad celular; sin embargo, puede afectar la morfología de la superficie bacteriana.

(E) Falone S, Mirabilio A, Carbone MC, Zimmitti V, Di Loreto S, Mariggiò MA, Mancinelli R, Di Ilio C, Amicarelli F. La exposición crónica a campos magnéticos de 50 Hz provoca un debilitamiento significativo de los sistemas de defensa antioxidante en el cerebro de ratas envejecidas. *Int J Biochem Cell Biol.* 40(12):2762-2770, 2008. (AS, CE, CC, OX)

Varios estudios sugieren que los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) pueden aumentar la producción endógena de radicales libres. También es bien sabido que una de las consecuencias inevitables del envejecimiento es una disminución general basada en el estrés oxidativo en varias funciones fisiológicas y en la resistencia general a los factores estresantes. Sobre la base de estas suposiciones, el objetivo de este estudio fue establecer si el proceso de envejecimiento puede aumentar la susceptibilidad a los desafíos prooxidativos mediados por ELF-MF ampliamente presentes. Para este fin, ratas Sprague-Dawley hembra fueron expuestas continuamente a un campo magnético sinusoidal de 50 Hz, 0,1 mT durante 10 días.

Se investigaron los cambios inducidos por el tratamiento en los principales sistemas de protección antioxidante y en el soporte neurotrófico, en función de la edad de los sujetos. Todos los análisis se realizaron en las cortezas cerebrales, debido a la alta susceptibilidad de las células neuronales a la lesión oxidativa. Nuestros resultados indicaron que la exposición a ELF-MF afecta significativamente la capacidad antioxidante, tanto en animales jóvenes como viejos, aunque de manera opuesta. De hecho, los individuos jóvenes expuestos mejoraron su señalización neurotrófica y su defensa enzimática antioxidante contra un posible aumento de especies radicales de oxígeno mediado por ELF-MF. Por el contrario, los sujetos mayores no fueron capaces de aumentar sus defensas en respuesta al tratamiento con ELF-MF sino que, por el contrario, experimentaron una disminución significativa en las principales actividades enzimáticas antioxidantes. En conclusión, nuestros datos parecen sugerir que la exposición a ELF-MF puede actuar como un factor de riesgo para la aparición de patologías del sistema nervioso basadas en estrés oxidativo asociadas con el envejecimiento.

(E) Falone S, Santini S Jr, Di Loreto S, Cordone V, Grannonico M, Cesare P, Cacchio M, Amicarelli F. Los metabolismos mitocondriales y relacionados con el metilgloxal mejorados respaldan la hiperproliferación inducida por un campo magnético de 50 Hz en células de neuroblastoma. *J Cell Physiol.* 231:2014-2025, 2016. (CS, AE, FC)

Los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) son agentes ambientales comunes que se sospecha que promueven etapas posteriores de la tumorigénesis, especialmente en neoplasias malignas derivadas del cerebro. Aunque los campos magnéticos ELF se han vinculado previamente con una mayor proliferación en células de neuroblastoma, ningún trabajo previo ha estudiado si la exposición a ELF-MF puede cambiar características biomoleculares clave, como la defensa antiglicativa y la reprogramación energética, ambas

Actualmente se consideran factores cruciales involucrados en el fenotipo y la progresión de muchas neoplasias malignas. Nuestro estudio investigó si la hiperproliferación que se induce en las células de neuroblastoma humano SH-SY5Y por un campo magnético ELF de 50 Hz, 1 mT se ve respaldada por una defensa mejorada contra el metilglioxal (MG), que es un α -oxoaldehído glicostático y cancerígeno endógeno, y por la reconfiguración del metabolismo energético. Nuestros hallazgos muestran que no solo el campo magnético ELF interfirió con la biología de las células malignas derivadas de neuronas, al desdiferenciar aún más el fenotipo celular y aumentar la actividad proliferativa, sino que también desencadenó mecanismos citoprotectores a través de la mejora de la defensa contra el MG, junto con una gestión más eficiente de la energía metabólica, presumiblemente para apoyar el rápido crecimiento celular. Curiosamente, también revelamos que los bioefectos inducidos por MF tuvieron lugar después de un desequilibrio inicial de la homeostasis celular, que probablemente creó un entorno inestable transitorio. Las vías bioquímicas y los objetivos moleculares revelados en esta investigación podrían aprovecharse para futuros enfoques destinados a limitar o suprimir los efectos nocivos de los campos magnéticos ELF.

Fan Y, Ji X, Zhang L, Zhang X. Los efectos analgésicos de los campos magnéticos estáticos. *Bioelectromagnetism* 2021 Feb;42(2):115-127. (Revisión)

El dolor es una de las razones más comunes por las que las personas buscan atención médica y está relacionado con la mayoría de las enfermedades. Los campos magnéticos (CM) se pueden aplicar localmente en partes específicas del cuerpo humano con gran penetración y control temporal, lo que tiene una larga historia de debate en la terapia popular. El propósito de esta revisión es recopilar y analizar datos experimentales sobre los efectos analgésicos de los campos magnéticos estáticos (CME) para que podamos tener una comprensión científica sobre este tema. Recopilamos 28 estudios (25 artículos en inglés y 3 en chino) con controles simulados adecuados que investigaron los efectos de los CME en el alivio del dolor en humanos o ratones. Descubrimos que el 64% de los estudios en humanos y todos los estudios en ratones en la literatura mostraron efectos analgésicos positivos de los CME, que están relacionados con factores que incluyen la intensidad de los CME, el tiempo de tratamiento y los tipos de dolor. Una mayor intensidad y/o un tiempo de tratamiento más prolongado, así como algunos tipos específicos de dolor, pueden tener mejores efectos de alivio del dolor. Los estudios mecanicistas iniciales indicaron que los receptores de membrana, como el receptor de capsaicina VR1/TRPV1, los receptores opioides y los receptores P2X3, podrían estar involucrados. Al describir la evidencia y el análisis experimental, descubrimos que los CME en realidad son muy prometedores para el manejo de algunos tipos específicos de dolor si se utilizan los parámetros adecuados de los CME. Serán necesarios más estudios que evalúen exhaustivamente los parámetros del SMF y sus correspondientes efectos analgésicos sobre diferentes tipos de dolor, así como los mecanismos moleculares subyacentes, para validar aún más su potencial terapéutico en el tratamiento del dolor en el futuro.

(E) Faraji N, Salehi I, Alizadeh A, Pourgholaminejad A, Komaki A, Taheri Azandaryani M, Sadeghian R, Golipoor Z. Comparación de los efectos de la exposición prolongada a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja con diferentes valores sobre el aprendizaje, la memoria, la ansiedad y la deposición de β -amiloide en ratas adultas. *BCN*. 12:849-860, 2021. (AS, CE, CC, OX, BE)

Introducción: Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) han recibido mucha atención por su posible patogenicidad. Sin embargo, sus efectos sobre las funciones del sistema nervioso no se han esclarecido por completo. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto de los ELF-EMF con diferentes intensidades en la memoria, la ansiedad, la actividad antioxidante, la deposición de β -amiloide ($A\beta$),

y población de microglia en ratas. Métodos: Cincuenta ratas adultas macho se separaron aleatoriamente en 5 grupos; 4 fueron expuestas a una densidad de flujo de 1, 100, 500 y 2000 microtesla (μ T), frecuencia de 50 Hz durante una hora/día durante dos meses, y un grupo como grupo de control. El grupo de control no recibió estimulación ELF-EMF. Después de 8 semanas, se realizaron pruebas de evitación pasiva y de laberinto elevado en cruz (EPM) para evaluar la formación de la memoria y el comportamiento similar a la ansiedad, respectivamente.

Se evaluaron los grupos tiales libres totales y el índice de peroxidación lipídica. Además, para la detección de la deposición de A β y la microglía teñida en el cerebro, se utilizaron anticuerpos anti- β -amiloide y anti-Iba1.

Resultados: La latencia de paso a través en la prueba de retención en los grupos de exposición a campos electromagnéticos de baja frecuencia (100, 500 y 2000 μ T) fue significativamente mayor que en el grupo de control ($P < 0,05$).

Además, la frecuencia de las entradas en los brazos abiertos en los grupos de exposición a ELF-EMF (especialmente 2000 μ T) disminuyó que el grupo de control ($P < 0,05$). No se detectaron deposiciones de A β en el hipocampo de los diferentes grupos. Se observó un aumento en el número de microglia en los grupos de 100, 500 y 2000 μ T en comparación con el grupo de control y un μ T. Conclusión: La exposición a ELF-EMF tuvo un efecto ansiogénico en ratas, promovió la memoria e indujo estrés oxidativo. No se detectaron deposiciones de A β en el cerebro. Además, se observó el impacto positivo de ELF-EMF en la población de microglia en el cerebro.

(E) Fournier NM, Mach QH, Whissell PD, Persinger MA. Anomalías del desarrollo neurológico del hipocampo en ratas expuestas a campos magnéticos complejos de intensidad débil durante la gestación. *Int J Dev Neurosci*. 30:427-433, 2012. (AS, CE, DE, BE, MC)

Existe un creciente interés en los posibles efectos nocivos de la exposición prenatal a los campos magnéticos.

Para investigar el efecto de los campos magnéticos de baja intensidad en el cerebro prenatal, se expuso continuamente a ratas Wistar preñadas a una de cuatro intensidades (referencia: 5-

20 nT; baja 30-50 nT; media 90-580 nT; alta 590-1200 nT) de una secuencia compleja de campos magnéticos diseñada para interferir con el desarrollo cerebral. En la edad adulta, las ratas expuestas a la intensidad baja (30-

Los estudios que evaluaron la exposición a campos magnéticos complejos de 50 nT mostraron alteraciones en el aprendizaje contextual del miedo y mostraron anomalías en el desarrollo citológico y morfológico del hipocampo. En particular, las exposiciones de baja intensidad resultaron en una reducción del tamaño general del hipocampo y promovieron una disgenesia sutil de las regiones CA1 y CA3. Por el contrario, la exposición a intensidades más débiles o más fuertes del mismo patrón de campo magnético complejo no interfirió en el desarrollo del hipocampo ni en la conducta de miedo. Estos hallazgos sugieren que la exposición prenatal a campos magnéticos complejos de una ventana de intensidad estrecha durante el desarrollo puede resultar en alteraciones sutiles pero permanentes en la microestructura y la función del hipocampo que pueden tener efectos duraderos en la conducta.

(E) Frilot C 2nd, Carrubba S, Marino AA. Los campos magnéticos transitorios y de estado estable inducen un aumento de la captación de fluorodesoxiglucosa en el rombencéfalo de la rata. *Synapse*. 65(7):617-623, 2011. (HU, AE, CC)

Investigamos la base biofísica de la capacidad de los campos electromagnéticos (CEM) débiles para desencadenar potenciales evocados de inicio y finalización, y producir cambios de estado estable en el electroencefalograma (EEG). Se expuso a ratas a un campo magnético de 2,5 G y 60 Hz y la

La región neuroanatómica de activación de la glucosa asociada con el efecto del campo en el EEG se identificó mediante tomografía por emisión de positrones (PET) utilizando fluorodesoxiglucosa (FDG). Se diferenciaron y promediaron los escaneos de emisión pareados del mismo animal con y sin tratamiento de campo, y los valores t de los vóxeles cerebrales calculados utilizando la desviación estándar agrupada se compararon con un valor t crítico calculado para identificar los vóxeles activados por el campo. Se produjo un aumento de la utilización de la glucosa en los vóxeles del rombencéfalo cuando el campo se aplicó ortogonalmente al plano sagital, pero no cuando el ángulo entre el campo y el plano sagital varió aleatoriamente.

Se observaron distintos efectos de activación de FDG en respuesta a estímulos magnéticos transitorios (tanto de inicio como de fin) y de estado estable. Las observaciones de una mayor utilización de glucosa inducida por estímulos magnéticos y su dependencia de la dirección del campo sugirieron que la transducción de señales estaba mediada por un detector de fuerza y que el proceso y/o el procesamiento posterior a la transducción temprana ocurrían en el rombencéfalo.

(E) Frilot C 2nd, Carrubba S, Marino AA. Transducción sensorial de campos electromagnéticos débiles: papel de la neurotransmisión del glutamato mediada por receptores NMDA. Neurociencia. 258:184-191, 2014. (AS, AE, EE)

Los campos electromagnéticos subliminales (CEM) desencadenaron potenciales evocados no lineales en animales despiertos pero no anestesiados, y aumentaron el metabolismo de la glucosa en el rombencéfalo. La detección de campos se produjo en algún lugar de la cabeza y posiblemente fue una función no reconocida de las neuronas sensoriales en la piel facial, que hacen sinapsis en el núcleo trigémino y se proyectan al tálamo a través de vías dependientes del glutamato. De ser así, se esperaría que los agentes anestésicos que antagonizan la neurotransmisión del glutamato degraden los potenciales evocados por CEM (EEP) en mayor medida que los agentes que tienen diferentes efectos farmacológicos. Probamos la hipótesis utilizando ketamina, que bloquea los receptores N-metil-D-aspartato (NMDA) (NMDAR), y xilacina, que es un agonista de los receptores $\alpha 2$ -adrenérgicos. Se examinaron los electroencefalogramas (EEG) de ratas utilizando análisis de recurrencia para observar los EEP en presencia y ausencia de anestesia con ketamina y/o xilacina. Los potenciales evocados auditivos (PEA) sirvieron como controles positivos. La frecuencia de observación de potenciales evocados en una condición dada (vigilia o anestesia) se comparó con la debida al azar utilizando la prueba exacta de Fisher. Se observaron PEE en ratas despiertas, pero no mientras estaban bajo anestesia producida utilizando un cóctel de xilacina y ketamina. En otro experimento, se midió a cada rata mientras estaba despierta y mientras estaba bajo anestesia producida utilizando xilacina o ketamina. Se detectaron PEE y PEA durante la vigilia y bajo xilacina ($P < 0,05$ en cada una de las cuatro mediciones). Por el contrario, no se observaron PEE ni PEA cuando la anestesia se produjo parcial o totalmente utilizando ketamina. La duración y latencia de los PEE no se alteraron con la anestesia con xilacina. La señal aferente desencadenada por la transducción de campos electromagnéticos débiles probablemente estuvo mediada por la neurotransmisión de glutamato mediada por NMDAR.

(E) Fu Y, Wang C, Wang J, Lei Y, Ma Y. La exposición prolongada a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja altera la memoria de reconocimiento espacial en ratones. Clin Exp Pharmacol Physiol. 35(7):797-800, 2008. (AS, CE, BE)

En el presente estudio, investigamos los efectos a corto y largo plazo de los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF) en la memoria de reconocimiento espacial en ratones mediante un ensayo de dos ensayos.

reconocimiento laberinto en Y que se basa en la tendencia innata de los roedores a explorar entornos nuevos.

2. Se expuso a los ratones a campos electromagnéticos de 25 o 50 Hz durante 7 (corto plazo) o 25 días (largo plazo) y luego se los probó en el laberinto en Y. 3. Los resultados indicaron que ni la exposición a corto ni a largo plazo a los campos magnéticos afectó la actividad locomotora de los ratones en el laberinto en Y. Sin embargo, la exposición a largo plazo a campos de 50 Hz redujo el reconocimiento del brazo nuevo. 4.

Nuestros hallazgos sugieren que los campos magnéticos ELF deterioran la memoria de reconocimiento espacial en el laberinto en Y dependiendo de la intensidad del campo y/o la duración de la exposición.

(E) Gallasch E, Rafolt D, Postruznik M, Fresnoza S, Christova M. Disminución de la excitabilidad de la corteza motora tras la exposición a un campo magnético de 20 Hz generado por un imán permanente giratorio. Clin Neurophysiol. 129(7):1397-1402, 2018. (HU, AE, EE)

OBJETIVOS: La rotación de un imán estático sobre la corteza motora (MC) genera un campo magnético alterno transcraneal (tAMF) y un campo eléctrico alterno vinculado.

El objetivo de este estudio de estimulación magnética transcraneal (EMT) es investigar si dichos campos pueden influir en la excitabilidad del MC y si existen paralelismos con los efectos inducidos por la tACS. MÉTODOS: Catorce voluntarios sanos recibieron estimulación tAMF de 20 Hz sobre el MC, sobre el vértice y tACS de 20 Hz sobre el MC, cada una con una duración de 15 min. Se realizaron evaluaciones de EMT antes y después de las intervenciones. Se evaluaron los cambios en los potenciales evocados motores (MEP), la inhibición intracortical de intervalo corto (SICI) y la facilitación intracortical (ICF). RESULTADOS: La tACS y la estimulación tAMF sobre el MC afectaron la excitabilidad cortical de una manera diferente. Después de la estimulación tAMF, las amplitudes de los MEP y el ICF disminuyeron y el efecto de la SICI aumentó. Después de la tACS, las amplitudes de los MEP aumentaron y no hubo efectos en la SICI y el ICF. CONCLUSIONES: Los MEP de pulsos individuales y pareados registrados indican una disminución general de la excitabilidad del MC después de 15 minutos de estimulación con tAMF.

SIGNIFICADO: Los efectos demuestran que los dispositivos basados en imanes rotatorios son potencialmente adecuados para convertirse en una nueva herramienta de estimulación cerebral en la neurofisiología clínica.

(E) Gao Q, Leung A, Yang YH, Lau BW, Wang Q, Liao L-Y, Xie YJ, He CQ

Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja promueven la función cognitiva y la neurogénesis hipocampal de ratas con isquemia cerebral. Neural Regen Res 2021 16(7):1252-1257.(AS, CE, MC, CC,BE, MA, ND)

Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) pueden mejorar el aprendizaje y el deterioro de la memoria de ratas con enfermedad de Alzheimer, sin embargo, su efecto sobre la isquemia cerebral sigue siendo poco conocido. En este estudio, establecimos modelos de rata de oclusión/reperfusión de la arteria cerebral media. Un día después del modelado, un grupo de ratas fueron tratadas con ELF-EMF (50 Hz, 1 mT) durante 2 horas diarias durante 28 días sucesivos. Nuestros resultados mostraron que las ratas tratadas con ELF-EMF requirieron distancias de natación y latencias más cortas en la prueba del laberinto acuático de Morris que las ratas no tratadas. El número de veces que se cruzó la plataforma y el tiempo transcurrido en el cuadrante objetivo fueron mayores que los de las ratas no tratadas. El número de células BrdU+/NeuN+ , que representan neuronas recién nacidas, en la zona subgranular del hipocampo aumentó más en las ratas tratadas que en las no tratadas. La regulación positiva en las expresiones de las proteínas Notch1, Hes1 y Hes5, que son los factores clave de la vía de señalización Notch, fue mayor en los pacientes tratados.

ratas. Estos hallazgos sugieren que los campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF) pueden mejorar la neurogénesis hipocampal de ratas con isquemia cerebral, posiblemente al afectar la vía de señalización Notch.

(E) Gao X, Wang X, Chen F, Qi H, Wang X, Ming D, Zhou P. Investigación sobre el efecto inducido en el cerebro por estimulación magnética pulsada de frecuencia extremadamente baja. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2014:2613-2616, 2014. (HU, AE, EE)

Para evaluar la influencia de los campos magnéticos pulsados de frecuencia extremadamente baja (ELF PMF) en el cerebro humano, realizamos los experimentos de estimulación magnética (1 Hz, 10 mT, 20 min) y analizamos los cambios de la actividad EEG espontánea de 10 sujetos. En comparación con el grupo de exposición simulada, la potencia EEG de la banda theta (3,5-7,5 Hz) y la banda alfa inferior (7,5-10 Hz) del grupo de estimulación aumentó significativamente después de la estimulación magnética. Al analizar el período de latencia y la amplitud de P300 en la tarea de oddball auditivo, descubrimos que el período de latencia se extendió y la amplitud disminuyó. Sugerimos que estos resultados podrían explicarse a través de la sincronización relacionada con el evento inducida por la estimulación magnética.

(NE) Gavoçi E, Zironi I, Remondini D, Virelli A, Castellani G, Del Re B, Giorgi G, Aicardi G, Bersani F. Los campos magnéticos ELF ajustados a las condiciones de resonancia paramétrica iónica no afectan las corrientes de K(+) salientes dependientes del voltaje sensibles a TEA en una línea de células neuronales humanas. Bioelectromagnetismo. 34(8):579-88, 2013. (CS, AE, CC)

A pesar de la evidencia experimental de los efectos biológicos significativos de los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF), los mecanismos subyacentes aún no están claros. Entre los pocos mecanismos propuestos, de particular interés es la llamada hipótesis de "resonancia paramétrica iónica (IPR)", a la que se hace referencia con frecuencia como respaldo teórico para aplicaciones médicas. Estudiamos el efecto de diferentes combinaciones de campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF) estáticos (DC) y alternos (AC) ajustados en condiciones de resonancia para potasio (K(+)) sobre las corrientes de salida de K(+) dependientes del voltaje sensibles a TEA en la línea celular de neuroblastoma humano BE(2)C. Las corrientes a través de la membrana celular se midieron mediante la técnica de fijación de parche de célula completa antes, durante y después de la exposición a MF. No se encontraron cambios significativos en la densidad de corriente de K(+). Este estudio no confirma la hipótesis de la IPR a nivel de las corrientes de salida de K(+) dependientes del voltaje sensibles a TEA en nuestras condiciones experimentales. Sin embargo, esto no es una refutación directa de la hipótesis, que debería investigarse en otros canales iónicos y también a niveles de canal único.

(E) Gholami D, Riazi G, Fathi R, Sharafi M, Shahverdi A. Comparación de la polimerización y el comportamiento estructural de los microtúbulos en el cerebro y el esperma de ratas afectados por el campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja. BMC Mol Cell Biol. 20(1):41, 2019. (AS, CE, CC, MC)

ANTECEDENTES: Las proteínas de los microtúbulos pueden producir campos electromagnéticos y tienen un papel importante en la formación de la memoria y el aprendizaje. Por lo tanto, los microtúbulos tienen el potencial de verse afectados por campos electromagnéticos exógenos. Este estudio tuvo como objetivo examinar la comparación de la polimerización de los microtúbulos y su comportamiento estructural en el cerebro y el esperma afectados por un campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja (ELEF) de 50 Hz. RESULTADOS: Se dividieron aleatoriamente y en partes iguales veinte ratas macho adultas en grupos de control y experimentales, para evaluar el efecto

de 50 Hz ELEF sobre las funciones del cerebro y los espermatozoides. Se realizó un laberinto en cruz, la testosterona y la corticosterona séricas, y la evaluación de los espermatozoides. A continuación, se obtuvieron las muestras de semen y cerebro, y se dividieron en cuatro grupos experimentales para la investigación de la polimerización de los microtúbulos. No hubo diferencias significativas en los niveles de testosterona y corticosterona, los comportamientos de ansiedad y la morfología de los espermatozoides entre los grupos de control y de exposición a ELEF. La viabilidad de los espermatozoides, la motilidad total y progresiva fueron significativamente mayores en el grupo expuesto a ELEF que en el grupo de control. La polimerización de los microtúbulos en los espermatozoides ELEF fue significativamente mayor que en otros grupos. Las estructuras secundarias y terciarias de las tubulinas se vieron afectadas significativamente en los grupos de cerebro y espermatozoides ELEF. CONCLUSIÓN: Parece que la polimerización de los microtúbulos y los cambios conformacionales de los dímeros de tubulina mejoran con la aplicación de ELEF.

(E) Giorgetto C, Silva EC, Kitabatake TT, Bertolino G, de Araujo JE. Perfil conductual de ratas Wistar con lesión estriatal unilateral por ácido quinolínico (modelo animal de enfermedad de Huntington) después de la inyección de apomorfina y la exposición a un campo magnético estático. Exp Brain Res. 233(5):1455-1462, 2015. (AS, CE, BE, ND, MA)

Analizamos el comportamiento motor de ratas Wistar después de 7 días de lesión en el cuerpo estriado izquierdo, inyectadas con apomorfina (APO) y estimuladas por un campo magnético continuo de 3.200 Gauss. Para la evaluación del comportamiento, utilizamos la prueba de la jaula de actividad y la prueba del rotarod. Sesenta y ocho ratas Wistar macho se dividieron en seis grupos: control, simulado, simulado magnético, lesión y Polos Sur y Norte estimulados. Después de los experimentos, se tomaron secciones coronales del cuerpo estriado y se tiñeron con Nissl para el análisis de la lesión. En la prueba de la jaula de actividad para la distancia ($F = 3,19$), el tiempo de actividad ($F = 5,46$) y los cruces ($F = 3,31$) en todos los grupos, excepto en el grupo estimulado con el Polo Norte, observamos un aumento significativo de estos comportamientos en comparación con el grupo de control. Considerando el número de giros en sentido antihorario, observamos un aumento significativo de la lesión en los grupos de estimulación del Polo Sur y Norte en comparación con el grupo de control. Destacando el menor número de giros en sentido antihorario observados en el grupo estimulado con el Polo Norte en relación con los grupos estimulado con el Polo Sur y con Lesión ($F = 16,01$). La prueba del rotarod reveló una disminución en el tiempo empleado en este aparato para el grupo con Lesión en comparación con todos los demás grupos ($F = 5,46$). El análisis morfométrico mostró una reducción en el número de neuronas en el grupo con Lesión en relación con todos los demás grupos ($F = 5,13$). Así, los resultados sugieren que el campo magnético estático norte y sur promovió un perfil conductual distinto y una preservación morfológica después de 7 días de lesión con ácido quinolínico asociado a APO.

(NE) Giorgi G, Lecciso M, Capri M, Lukas Yani S, Virelli A, Bersani F, Del Re B. Una evaluación de la genotoxicidad en células neuronales humanas sometidas a estrés oxidativo bajo un campo magnético pulsado de frecuencia extremadamente baja. Mutat Res Genet Toxicol Environ Mutagen. 775-776:31-37, 2014.

La posible genotoxicidad de la exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) sigue siendo un tema controvertido. La mayoría de los datos publicados sugieren que por sí solos no afectan la integridad del ADN, pero varios informes recientes han sugerido que los ELF-MF sinusoidales pueden aumentar el efecto de agentes genotóxicos conocidos. Solo unos pocos estudios abordan los ELF-MF no sinusoidales, incluidos los campos magnéticos pulsados (PMF), que se producen mediante varios dispositivos. El objetivo de este estudio es:

El objetivo del estudio es investigar si la exposición a PMF puede interferir con el daño y la reparación del ADN en presencia de un agente oxidativo genotóxico en células de tipo neuronal. Para este propósito, se investigó la formación de focos de gamma-H2AX, que es un marcador sensible de roturas de doble cadena de ADN (DSB), en diferentes puntos de tiempo (1, 24, 48, 72 h) después del tratamiento con H₂O₂ (300 µM durante 1 h) bajo exposición a PMF (1 mT, 50 Hz) en células de neuroblastoma humano BE(2)C. Además, se realizó una evaluación de citotoxicidad, mediante ensayo MTT y análisis del ciclo celular, en varios puntos de tiempo después del tratamiento. En conjunto, los resultados sugieren que la exposición a PMF no interfiere con la genotoxicidad y la citotoxicidad inducidas por estrés oxidativo.

(NE) Glover PM, Eldeghaidy S, Mistry TR, Gowland PA. Medición del potencial evocado visual durante y después de períodos de exposición a campos magnéticos pulsados. J Magn Reson Imaging. 26(5):1353-1356, 2007. (HU, EE)

OBJETIVO: Estudiar el efecto de los campos magnéticos conmutados utilizados en los escáneres de RM sobre el potencial evocado visual (PEV) en sujetos humanos. MATERIALES Y MÉTODOS: Hemos utilizado una bobina de gradiente de RM, alejada de un imán de RM para producir un campo magnético variable en el tiempo (0,5 kHz, campo pico de aproximadamente 8,7 T/segundo) en el cerebro humano sin los efectos de confusión de la exposición al campo estático o el ruido acústico acompañante. La respuesta del PEV a un tablero de ajedrez de 8 x 8 con inversión de 2 Hz, que ocupa 20 grados del campo visual, se registró desde las localizaciones occipitales O1 y O2. Se realizaron registros del PEV cada cinco minutos antes, durante y después de un período de exposición al campo magnético de 10 minutos para siete sujetos. RESULTADOS: En contradicción con estudios informados previamente en la literatura para campos de 50 Hz y 60 mT, no se encontraron efectos significativos en la amplitud pico o la latencia de las respuestas del PEV P100 O1 y O2. CONCLUSIÓN: Los campos magnéticos conmutados de un nivel y frecuencia comparables a los utilizados en la resonancia magnética no tienen un efecto significativo sobre el procesamiento visual o retiniano primario.

(E) Gok DK, Akpinar D, Hidisoglu E, Ozen S, Agar A, Yargicoglu P. Efectos del desarrollo de campos eléctricos de frecuencia extremadamente baja sobre los potenciales evocados visuales y somatosensoriales en ratas adultas. Electromagn Biol Med. 35(3):245-259, 2016. (AS, CE, EE, OX, EF)

El propósito de nuestro estudio fue investigar los efectos del desarrollo de los campos eléctricos de frecuencia extremadamente baja (ELF-FE) en los potenciales evocados visuales (VEP) y los potenciales evocados somatosensoriales (SEP) y examinar la relación entre la peroxidación lipídica y los cambios de estos potenciales. En este contexto, se determinaron los niveles de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) como un indicador de la peroxidación lipídica. Las ratas hembras albinas Wistar se dividieron en cuatro grupos: grupos de control (C), exposición gestacional (prenatal) (Pr), exposición gestacional + postnatal (PP) y exposición postnatal (Po). Las ratas preñadas de los grupos Pr y PP fueron expuestas a un campo eléctrico (FE) de 50 Hz (12 kV/m; 1 h/día), mientras que las de los grupos C y Po fueron colocadas en un sistema inactivo durante el embarazo. Después del parto, las ratas de los grupos PP y Po fueron expuestas a ELF-EF, mientras que las ratas de los grupos C y Pr se mantuvieron en las mismas condiciones experimentales sin ser expuestas a ningún EF durante 68 días. El día 90 después del nacimiento, las ratas fueron preparadas para los registros de VEP y SEP. Las latencias de los componentes de VEP en todos los grupos experimentales se prolongaron significativamente en comparación con el grupo C. Para los SEP, todos los componentes del grupo PP, los componentes P2, N2 del grupo Pr y los componentes P1, P2, N2 del grupo Po se retrasaron en comparación con el grupo C. Como los niveles de TBARS cerebrales aumentaron significativamente en los grupos Pr y Po, los niveles de TBARS en la retina aumentaron sign

elevado en todos los grupos experimentales frente al grupo C. En conclusión, las alteraciones observadas en los potenciales evocados, al menos en parte, podrían explicarse por la peroxidación lipídica en la retina y el cerebro.

(E) Goraghani MS, Ahmadi-Zeidabadi M, Bakhshaei S, Shabani M, Ravandi SG, Zarchi SR, Nozari M. Consecuencias conductuales de la exposición posnatal simultánea a MK-801 y al campo magnético estático en ratas Wistar macho. *Neurosci Lett* 701:77-83, 2019.(AS, CE, BE, IX)

Varios estudios experimentales informaron algunos efectos adversos neuroconductuales de la exposición al campo magnético estático (SMF). La razón no está clara, pero una de las posibilidades podría ser alteraciones en el nivel de los neurotransmisores y sus receptores. Considerando el papel crítico de los receptores N-Metil D-aspartato (NMDA) en la regulación molecular de la cognición, el control motor y la plasticidad sináptica, es importante investigar las interacciones entre la exposición al SMF y la administración de bloqueadores del receptor NMDA como MK-801. Ahora, administramos MK-801 en dosis bajas (0,1 mg/kg) a las ratas Wistar macho, desde el día posnatal (P) 6 al 10 e investigamos si sus efectos cambian bajo la influencia de la exposición al SMF. Se realizaron pruebas de laberinto acuático de Morris, prueba de campo abierto, rotarod y laberinto elevado en cruz en P60-63 para evaluar los efectos a largo plazo en el aprendizaje y la memoria, las actividades de locomoción y los comportamientos similares a la ansiedad. Nuestros resultados mostraron que la administración de dosis bajas de MK-801 no produjo efectos adversos significativos en sus conductas ansiosas a largo plazo, locomoción, aprendizaje y memoria; sin embargo, la exposición simultánea a SMF puede producir estos efectos adversos. En conclusión, la exposición a SMF puede aumentar los efectos neuroconductuales de MK-801, al mejorar el bloqueo de los receptores NMDA. Se requieren más estudios para confirmar estos resultados.

Guerriero F, Ricevuti G. La estimulación con campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja modula la autoinmunidad y las respuestas inmunitarias: un posible efecto terapéutico inmunomodulador en enfermedades neurodegenerativas. *Neural Regen Res.* 11(12):1888-1895, 2016. (Revisión)

Cada vez hay más pruebas que demuestran que los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) La estimulación electromagnética transcraneal es capaz de ejercer una determinada acción sobre la autoinmunidad y las células inmunes. En el pasado, la eficacia de los campos electromagnéticos de ELF pulsados para aliviar los síntomas y la progresión de la esclerosis múltiple se ha apoyado mediante su acción sobre la neurotransmisión y sobre los mecanismos autoinmunes responsables de la desmielinización. En lo que respecta al sistema inmunológico, la exposición a los campos electromagnéticos de ELF contribuye a una activación general de los macrófagos, lo que da lugar a cambios en la autoinmunidad y varias reacciones inmunológicas, como un aumento de la formación de especies reactivas de oxígeno, una mayor actividad fagocítica y un aumento de la producción de quimiocinas. La estimulación cerebral electromagnética transcraneal es una técnica novedosa no invasiva que se utiliza recientemente para tratar diferentes trastornos neurodegenerativos, en particular la enfermedad de Alzheimer. A pesar de su valor demostrado, los mecanismos a través de los cuales la estimulación cerebral con campos electromagnéticos ejerce su acción beneficiosa sobre la función neuronal siguen sin estar claros. Estudios recientes han demostrado que sus efectos beneficiosos pueden deberse a un efecto neuroprotector sobre el daño celular oxidativo. Sobre la base de estudios in vitro y clínicos sobre la actividad cerebral, la modulación por campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF) podría contrarrestar las respuestas proinflamatorias aberrantes presentes en los trastornos neurodegenerativos, reduciendo su gravedad y su aparición. El objetivo de esta revisión es proporcionar una descripción sistemática de la literatura publicada sobre campos electromagnéticos y describir los efectos más prometedores de los campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF) en el desarrollo de enfermedades neurodegenerativas.

Tratamientos de trastornos neurodegenerativos. En este sentido, analizamos los datos que respaldan el papel de los campos electromagnéticos de baja frecuencia (ELF) en la generación de respuestas inmunomoduladoras, neuromodulación y posibles beneficios neuroprotectores. No obstante, consideramos que los mecanismos subyacentes de interacción entre los campos electromagnéticos y el sistema inmunológico aún no se han comprendido por completo y necesitan más estudios a nivel molecular.

(E) Guleken Z, Kula-Maximenko M, Depciuch J, Kılıç AM, Sarıbal D. Detección de cambios químicos en la sangre, el hígado y el cerebro causados por la exposición a campos electromagnéticos mediante espectroscopia Raman, ensayos bioquímicos combinados con análisis multivariados.

Fotodiagnóstico Photodyn Ther 18 de febrero de 2022;102779. doi: 10.1016/

j.pdpdt.2022.102779. En línea antes de su impresión. (AS, CE, MC, CC, OX, DE)

Los efectos del campo electromagnético sobre los organismos vivos se han estudiado durante varios años. En este artículo, mostramos qué tipo de cambio de frío causa la exposición a un campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) de 500 μ T 50 Hz mediante el uso de un sistema de bobinas Meritt en las muestras de cerebro y de hígado. Para medir la carga oxidativa, medimos los niveles de malondialdehído (MDA) y glutatión (GSH). Para identificar los cambios químicos, recopilamos espectros Raman del tejido del cerebelo, el hemisferio izquierdo y el hemisferio derecho del cerebro y del tejido del hígado del grupo de control de animales y del animal expuesto a un campo electromagnético (grupo ELF-MF). Los resultados obtenidos mostraron que la peroxidación lipídica aumentó y la respuesta antioxidante disminuyó. En las muestras de cerebro, el cambio de picos correspondientes a las vibraciones de amida III existió después de la exposición a ELF-MF. Se detectaron cambios estructurales en las vibraciones de CH₂ originadas en los lípidos en ambos hemisferios. Además, el número de enlaces de amida III aumentó con la exposición a ELF-MF en el cerebelo y el tejido del hemisferio izquierdo del cerebro. En el tejido hepático, se observaron intensidades Raman más altas en los tejidos del grupo ELF-MF. En este grupo, el campo electromagnético también provocó cambios estructurales en los lípidos. El análisis de componentes principales (PCA) mostró que es posible distinguir los grupos ELF-MF y de control. En consecuencia, el análisis de componentes jerárquico (HCA) mostró que los tejidos de los grupos ELF-MF y de control crearon similitudes con los grupos por separado. Los resultados obtenidos sugieren que el campo electromagnético provocó cambios químicos cuantitativos y estructurales en el tejido cerebral y hepático. Además, los datos actuales sugieren que el ELF-MF desempeña un papel importante en la regulación de la actividad enzimática y tiene efectos en los procesos bioquímicos, posiblemente mejorados por la producción de ROS.

(E) Gulturk S, Demirkazik A, Kosar I, Cetin A, Dökmets HS, Demir T. Efecto de la exposición a un campo magnético de 50 Hz con o sin insulina sobre la permeabilidad de la barrera hematoencefálica en ratas con diabetes inducida por estreptozotocina. Bioelectromagnetismo. 31(4):262-269, 2010. (AS, CE, ME)

Investigamos el efecto de la exposición a largo plazo a campos magnéticos modulados (MF), insulina y su combinación sobre la permeabilidad de la barrera hematoencefálica (BHE) en un modelo de rata diabética. Cincuenta y tres ratas fueron asignadas aleatoriamente a uno de seis grupos: grupo simulado, sin exposición a MF; grupo MF, expuesto a MF; grupo con diabetes mellitus (DM), grupo con DM inducido con estreptozotocina (STZ); grupo con DM más MF (DMMF); grupo con DM más terapia con insulina (DMI); y grupo con DM más terapia con insulina más MF (DMIMF). Todas las ratas se sometieron a una medición con azul de Evans (EB) para evaluar la BHE 30 días después del comienzo de los experimentos. Las ratas de los grupos MF, DMMF y DMIMF estuvieron expuestas a MF (B = 5 mT) durante 165 min todos los días durante 30 días. Se midieron la presión arterial media (PAM), la masa corporal y la glucosa se

Se registraron los niveles de glucemia en las ratas del estudio. La extravasación de EB cerebral de los grupos MF, DM, DMMF, DMI y DMIMF fue mayor que la del grupo simulado y la extravasación del hemisferio derecho del grupo DMIMF fue la más alta ($P < 0,05$). La masa corporal posterior al procedimiento de los grupos simulado y MF fue significativamente mayor que la de los grupos DM y DMMF ($P < 0,05$). En los grupos DM, DMMF, DMI y DMIMF, la glucosa basal fue significativamente menor que la glucosa posterior al procedimiento ($P < 0,05$). DM y MF aumentan la permeabilidad de la BHE; en combinación, causan un mayor aumento de la permeabilidad de la BHE y la insulina disminuye su efecto sobre la BHE. Un metabolismo mejorado de la glucosa puede prevenir la pérdida de masa corporal y el efecto hipoglucémico de MF. DM aumenta la MABP pero MF no causa ningún efecto adicional.

(E) Gutiérrez-Mercado YK, Cañedo-Dorantes L, Gómez-Pinedo U, Serrano-Luna G, Bañuelos-Pineda J, Feria-Velasco A. Aumento de la permeabilidad vascular en los órganos circunventriculares del cerebro de rata adulta debido a la estimulación por campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja. Bioelectromagnetismo. 34(2):145-155, 2013. (AS, CE, MC)

Se ha demostrado que la exposición de sistemas biológicos a campos magnéticos (CM) puede producir varios efectos beneficiosos: recuperación tisular en heridas crónicas, restablecimiento de la circulación sanguínea después de isquemia tisular o en tejidos necróticos, mejoría después de episodios epilépticos, angiogénesis, etc. En el presente estudio, se demuestran los efectos de los CM de frecuencia extremadamente baja (ELF) sobre los capilares de algunos órganos circunventriculares (OCV); se reporta un efecto vasodilatador, así como un aumento en su permeabilidad a sustancias no liposolubles. Para este estudio, se utilizaron 96 ratas macho Wistar (250 g de masa corporal) y se dividieron en tres grupos de 32 ratas cada uno: un grupo control (sin tratamiento); un grupo ELF-CM simulado; y un grupo experimental sometido a ELF-CM (ondas armónicas de 120 Hz y 0,66 mT, raíz cuadrada media) mediante el uso de bobinas de Helmholtz. A todos los animales se les administró carbón coloidal (CC) por vía intravenosa para estudiar, mediante microscopía óptica y electrónica de transmisión, la permeabilidad capilar en las OVC y la barrera hematoencefálica (BHE) en áreas cerebrales. Se detectó un aumento de la permeabilidad capilar al CC en el grupo expuesto a ELF-MF, así como un aumento significativo del área va (vasodilatación capilar); ninguno de estos efectos se observó en individuos de los grupos de control y de placebo con ELF-MF. Es importante investigar los mecanismos involucrados en los fenómenos informados aquí para explicar los efectos de ELF-MF sobre la vasculatura cerebral.

(E) Haghighat N, Abdolmaleki P, Parnian J, Behmanesh M. La expresión de marcadores de pluripotencia y diferenciación neuronal bajo la influencia del campo electromagnético y el óxido nítrico. Mol Cell Neurosci. 85:19-28, 2017. (CS, AE, MC)

El óxido nítrico (NO) es un compuesto radical libre diatómico que, como mensajero secundario, contribuye a las funciones fisiológicas celulares y sus variaciones influyen en la actividad de las proteínas y desencadenan cascadas de señalización intracelular. Campo electromagnético de baja frecuencia (EMF) altera la biología celular, como la diferenciación celular, al dirigirse a la membrana plasmática y aplicar fuerza a los iones y pequeños ligandos eléctricos. Se investigó el efecto de estos factores químicos (NO) y físicos (EMF) en la expresión de marcadores de pluripotencialidad y diferenciación neuronal en células madre mesenquimales de médula ósea de rata (BMSC). Las células fueron tratadas con niveles bajos (50 micromolar) y altos (1 mM) de

Concentraciones de Deta-NO como molécula donante de NO y EMF de baja frecuencia de 50 Hz. Se investigó la expresión de genes y proteínas de pluripotencia y diferenciación neuronal mediante técnicas de qPCR en tiempo real e inmunocitoquímica. El tratamiento simultáneo de EMF con NO (1 mM) provocó la regulación negativa de la expresión de marcadores de pluripotencia y la regulación positiva de la expresión de marcadores de diferenciación neuronal.

La proliferación celular disminuyó y la morfología celular cambió, lo que provocó que la mayoría de las células obtuvieran marcadores proteicos neuronales en su citoplasma. La disminución en la expresión de los marcadores de diferenciación neuronal Nestin y DCX sin ningún cambio en la expresión del marcador de pluripotencia Oct4 (tratado con baja concentración de NO) indica protección del estado de pluripotencia en estas células. El tratamiento con NO demostró un doble comportamiento. La baja concentración de NO ayudó a las células a proteger el estado de pluripotencia, pero la alta concentración de NO más el EMF empujó a las células hacia la vía de diferenciación.

Hales CG. Los orígenes del campo electromagnético endógeno del cerebro y su relación con la provisión de conciencia. J Integr Neurosci. 2014 Jun;13(2):313-61. doi: 10.1142/S0219635214400056. Epub 2014 Jun 24. (opinión)

Como fuente potencial de conciencia, el campo electromagnético (EM) endógeno del cerebro tiene mucho que recomendar. Las dificultades para conectar los fenómenos EM y la conciencia se han visto exacerbadas por la falta de un mecanismo biofísicamente realista concluyente específico que origine el campo EM, su forma y dinámica. Este trabajo explora un mecanismo potencial: la acción coherente espacial y temporal de las corrientes de los canales iónicos transmembrana que producen simultáneamente campos eléctricos y magnéticos que dominan todas las demás fuentes de campo. Los canales iónicos, como pequeños filamentos de corriente, expresan, a distancia, los campos eléctricos y magnéticos similares a los de un cable de cobre corto (transmembrana). Tras el ensamblaje de los formalismos apropiados de la teoría de campos EM, el artículo explora computacionalmente el potencial eléctrico escalar producido por los filamentos de corriente responsables de un potencial de acción (PA) en una neurona piramidal CA1 realista del hipocampo. Revela que la señalización de PA puede imprimir un "haz de faro de barrido" altamente estructurado, enfocado y dirigido que "ilumina" a los vecinos a escalas mm. Las corrientes de los canales iónicos proporcionan así una posible explicación tanto de los orígenes de la EEG/MEG como de los efectos de acoplamiento electromagnético funcional recientemente confirmados. Por último, se postula una descomposición del campo electromagnético físicamente plausible. Revela perspectivas objetivas y subjetivas intrínsecas a la dinámica del campo centrada en la membrana. Se puede considerar que los "campos" perceptuales funcionan como la acción colectiva de compuestos de bosones electromagnéticos virtuales (llamados qualeones) visibles solo por "ser" los campos, pero que aparecen objetivamente como la actividad familiar del campo electromagnético. Esto explica la presentación problemática de la evidencia y ofrece una ruta físicamente plausible para una solución al "problema difícil".

(E) Harakawa S, Nedachi T, Hori T, Takahashi K, Tochio K, Inoue N. Efecto del campo eléctrico en la respuesta de aversión condicionada. J Vet Med Sci. 70(6):611-613, 2008. (AS, AE, BE, EF)

El objetivo del presente estudio fue estimar si las ratas perciben el campo eléctrico exógeno (CE), incluido uno utilizado en nuestros estudios anteriores. Empleando un paradigma de respuesta de aversión al lugar condicionado basado en un comportamiento aversivo contra el entorno luminoso, se examinó la alteración tanto en el comportamiento voluntario de la rata Wistar como en un CE sinusoidal de 50 Hz. Después del condicionamiento sin CE, los tiempos pasados en el lugar blanco en ratas se acortaron significativamente ($P < 0,05$). Mientras que tales cambios no se mostraron en ratas condicionadas con CE. Por lo tanto, se consideró que la aversión

La exposición a la luz ambiental interfería en la respuesta a la luz. Una interferencia en el reconocimiento del brillo a través del efecto inducido por la luz ambiental en el sistema visual o en el sistema de aprendizaje a través del efecto directo en el sistema nervioso central fue un factor considerable para el efecto inducido por la luz ambiental. Además, se mantuvo que la rata posiblemente percibía la exposición a la luz ambiental como preferible. Para confirmar qué factor funcionó, se necesitan más estudios.

(E) Harakawa S, Nedachi T, Shinba T, Suzuki H. Efecto reductor del estrés de un campo eléctrico de 50 Hz en ratones después de inmovilizaciones repetidas, escudos de campo eléctrico y polarización de los electrodos. *Biology (Basel)* 2022 17 de febrero; 11 (2): 323. (AS, AE, CC, IX)

En ratones BALB/c, los niveles plasmáticos de glucocorticoides (GC) aumentados por la inmovilización se suprimen mediante campos eléctricos (FE) de frecuencia extremadamente baja (ELF). El objetivo de este estudio fue avanzar en nuestra comprensión de los efectos biológicos de los FE-ELF, utilizando su efecto supresor sobre la respuesta de los GC. Los ratones fueron expuestos a un FE de 50 Hz de 10 kV/m a través de un electrodo de placa paralela y se los inmovilizó según fuera necesario. Examinamos el efecto supresor de los FE-ELF sobre el cambio del nivel de GC después de inmovilizaciones repetidas, polarización de electrodos y protección de FE de diferentes partes del cuerpo del ratón. Además, se examinaron los cambios de peso corporal debido al estrés y los FE. La reducción inducida por inmovilización en los niveles plasmáticos de GC se reprodujo en ratones con estrés y exposición a EF, independientemente del número de episodios de estrés y la polarización de los electrodos. Además, cuando la cabeza de los ratones estaba protegida del EF, el efecto supresor era posiblemente relativamente menor que cuando se protegía el abdomen. El peso corporal de los ratones disminuyó durante 3 días después de la inmovilización antes de recuperarse; el ELF-EF no afectó al peso corporal. Por lo tanto, para obtener los efectos biológicos del EF, no solo el tamaño del área donde se distribuye el EF sino también el área donde se distribuye el campo debe ser importante. Los resultados también confirmaron la estabilidad del presente sistema experimental, al menos en términos del efecto reductor del estrés. Además, la restricción en este estudio causó pérdida de peso, pero no se consideró que el ELF-EF la afectara. Los resultados mejoran la comprensión del efecto biológico y las aplicaciones médicas del ELF-EF.

(E) He LH, Shi HM, Liu TT, Xu YC, Ye KP, Wang S. Efectos del campo magnético de frecuencia extremadamente baja en el nivel de ansiedad y la memoria espacial de ratas adultas. *Chin Med J (Engl)*. 124(20):3362-3366, 2011. (AS, CE, BE)

ANTECEDENTES: Debido al uso generalizado de dispositivos eléctricos en la vida moderna, los humanos están expuestos a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF MF) con mucha más frecuencia que nunca. En las últimas décadas, una cantidad sustancial de estudios epidemiológicos y experimentales han demostrado que la exposición a ELF MF (50 Hz) está asociada con un mayor riesgo de diversos efectos sobre la salud.

El presente estudio examinó los efectos de la exposición crónica a ELF MF en el nivel de ansiedad y la memoria espacial de ratas adultas. MÉTODOS: Se utilizó el ELF MF de 50 Hz durante todos los procedimientos experimentales y el valor del campo magnético (MF) se estableció en 2 mT. Las ratas adultas se dividieron aleatoriamente en grupos de control, MF de 1 hora y MF de 4 horas. Se examinaron los comportamientos relacionados con la ansiedad en la prueba de campo abierto y el laberinto elevado en cruz; se determinaron los cambios en el aprendizaje espacial y la memoria en el laberinto acuático de Morris después de 4 semanas de exposición diaria. RESULTADOS:

Las ratas del grupo MF de 4 horas presentaron un aumento de los comportamientos similares a la ansiedad con una actividad locomotora inalterada. En la prueba del laberinto acuático de Morris, las ratas habían reducido la latencia para encontrar la plataforma.

Memoria a largo plazo de la ubicación anterior de la plataforma sin cambios en la memoria a corto plazo y la actividad locomotora. CONCLUSIÓN: La exposición crónica a MF de ELF tiene un efecto ansiogénico en ratas y efectos promotores del aprendizaje espacial y la retención a largo plazo de la memoria espacial.

(E) He Y, Sun W, Leung PS, Chow YT. Efecto del campo magnético estático de los vehículos eléctricos en el rendimiento de conducción y en las funciones cognitivas neuropsicológicas. *Int J Environ Res Public Health*. 12 de septiembre de 2019;16(18). (HU, AE, BE)

Las reacciones neuropsicológicas humanas y las actividades cerebrales al conducir vehículos eléctricos (VE) se consideran un problema para fines de seguridad pública y de tráfico; este artículo examinó el efecto del campo magnético estático (SMF) derivado de los VE. Se adoptó una tarea de cambio de carril para evaluar el desempeño de conducción; y se adoptaron la prueba de tiempo de reacción al conducir y la prueba de tiempo de reacción para evaluar la variación de las funciones cognitivas neuropsicológicas. Tanto el simulacro En este estudio, las condiciones de exposición reales se realizaron con un SMF localizado de 350 μ T; en este experimento a simple ciego se inscribieron 17 estudiantes. Se adoptaron y registraron electroencefalogramas (EEG) de los sujetos durante el experimento como un indicador de la actividad cerebral para las variaciones del desempeño de conducción y de las funciones cognitivas. Los resultados de este estudio han indicado que el impacto del SMF dado tanto en el desempeño de conducción humana como en las funciones cognitivas no es considerable; y que existe una correlación entre la subbanda beta de los EEG y el tiempo de reacción humano en el análisis.

(NE) He YL, Liu DD, Fang YJ, Zhan XQ, Yao JJ, Mei YA. La exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja modula las corrientes de Na⁺ en las células granulares del cerebelo de la rata a través del aumento de la vía cAMP/PKA mediada por los receptores AA/PGE2 y EP. *PLoS One*. 2013;8(1):e54376. doi: 10.1371/journal.pone.0054376. (CS, AE, CC, EE)

Aunque la modulación de la actividad del canal Ca(2+) por campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) se ha estudiado previamente, pocos informes han abordado los efectos de dichos campos en la actividad de los canales de Na(+) activados por voltaje (Na(v)). Aquí, investigamos los efectos de ELF-EMF en la actividad de Na(v) en células granulares cerebelosas (GC) de rata. Nuestros resultados revelan que la exposición de GC cerebelosas a ELF-EMF durante 10-60 min aumentó significativamente las corrientes de Na(v) (I(Na)) en un 30-125% de manera dependiente del tiempo y la intensidad. La curva de activación en estado estable del canal Na(v), pero no la curva de inactivación en estado estable, se desplazó significativamente (en 5,2 mV) hacia la hiperpolarización por estimulación con ELF-EMF. Este fenómeno es similar al efecto de la aplicación intracelular de ácido araquidónico (AA) y prostaglandina E(2) (PGE(2)) sobre el I(Na) en los GC cerebelosos. Se observaron aumentos en los niveles intracelulares de AA, PGE(2) y PKA fosforilada en los GC cerebelosos después de la exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia. Los Western blottings indicaron que la proteína Na(V) 1.2 en la membrana de los GC cerebelosos aumentó, los niveles totales de expresión de la proteína Na(V) 1.2 no se vieron afectados después de la exposición a ELF-EMF. Los inhibidores de la ciclooxigenasa y los antagonistas del receptor PGE(2) (EP) pudieron eliminar este aumento inducido por ELF-EMF en PKA fosforilada e I(Na). Además, la exposición a ELF-EMF mejoró significativamente la actividad de PLA(2) en los GC cerebelosos pero no afectó la actividad de COX-1 o COX-2. En conjunto, estos datos demuestran por primera vez que el I(Na) neuronal es

aumentó significativamente por la exposición a ELF-EMF a través de una vía de señalización PKA de los receptores EP PGE(2) AA cPLA2.

(E) Hernádi L, László JF. Análisis farmacológico de la latencia de respuesta en la prueba de placa caliente tras la exposición de cuerpo entero a un campo magnético estático en el caracol *Helix pomatia*. *Int J Radiat Biol.* 90(7):547-553, 2014. (AS, AE, CE, BE)

Objetivo: El estudio se centró en el efecto de una exposición única, de 30 minutos de duración, de todo el cuerpo a un campo magnético estático (SMF) sobre la latencia de respuesta del caracol *Helix pomatia*. Materiales y métodos: La respuesta se investigó utilizando la prueba de placa caliente. Resultados: El efecto causado por la exposición a SMF homogéneo (147 ± 3 mT) se comparó con la exposición simulada y dio como resultado diferencias significativas (hasta 47,1 %, $p < 0,001$). La latencia de respuesta dependió del ciclo día-noche; la latencia de respuesta fue mayor en un 51,2 % ($p < 0,001$) durante la noche. Esta tendencia también se mantuvo para la exposición a SMF (28,6 %, $p < 0,001$). La serotonina sola aumentó la latencia de respuesta (55,7 %, $p < 0,001$), mientras que el antagonista de la serotonina triptamina la disminuyó (-97,8 %, $p < 0,001$). Con el uso de naloxona, la latencia de respuesta disminuyó (-52,5 %, $p < 0,001$); sin embargo, tanto la exposición a SMF como la serotonina en combinación con naloxona la elevaron nuevamente por encima del nivel de control (116,9 %, $p < 0,001$ o 150,2 %, $p < 0,001$, respectivamente). Conclusiones: Este estudio proporciona evidencia de que la exposición a SMF media el umbral nociceptivo térmico periférico al afectar el sistema serotoninérgico y opioidérgico.

(E) Hong I, Garrett A, Maker G, Mullaney I, Rodger J, Etherington SJkip. Estimulación repetitiva de campo magnético de baja intensidad en una línea celular neuronal: un estudio metabólico. *PeerJ.* 12 de marzo de 2018;6:e4501. (CS, AE, CC)

La estimulación magnética repetitiva de baja intensidad del tejido neuronal modula la excitabilidad neuronal y tiene un potencial terapéutico prometedor en el tratamiento de trastornos neurológicos. Sin embargo, los mecanismos celulares y bioquímicos subyacentes siguen siendo poco conocidos. Este estudio investiga los efectos conductuales de la estimulación magnética repetitiva de baja intensidad (LI-rMS) a nivel celular y bioquímico. Administramos LI-rMS (10 mT) a 1 Hz y 10 Hz a células de neuroblastoma de rata B50 in vitro durante 10 minutos y medimos los niveles de metabolitos seleccionados inmediatamente después de la estimulación.

La LI-rMS en ambas frecuencias agotó metabolitos seleccionados del ciclo del ácido tricarboxílico (TCA) sin afectar los principales suministros de energía. Además, los efectos de la LI-rMS fueron específicos de la frecuencia, y la estimulación de 1 Hz tuvo efectos más fuertes que la de 10 Hz. La disminución observada de metabolitos sugirió que una mayor actividad espontánea puede haber llevado a un aumento en la liberación de GABA. Aunque la ausencia de circuitos neuronales organizados y otros contribuyentes celulares (por ejemplo, neuronas excitatorias y glía) en la línea celular B50 limita el grado en que nuestros resultados pueden extrapolarse al cerebro humano, los cambios que describimos brindan nuevos conocimientos sobre cómo la LI-rMS modula el tejido neuronal.

(E) Houpt JA, Pittman DW, Barranco JM, Brooks EH, Smith JC. Efectos conductuales de campos magnéticos estáticos de alta intensidad en ratas. *J Neurosci* 23(4):1498-1505, 2003. (AS, AE, BE)

Los avances en la obtención de imágenes por resonancia magnética están impulsando el desarrollo de máquinas más potentes y de mayor resolución con campos magnéticos estáticos de alta intensidad. Los efectos conductuales de los campos magnéticos de alta intensidad no están caracterizados en gran medida, aunque la restricción dentro de un campo magnético de 9,4 T es suficiente para inducir una aversión condicionada al gusto (CTA) e inducir la expresión de c-Fos en el tronco encefálico en ratas. Para determinar si los efectos conductuales de los campos magnéticos estáticos dependen de la intensidad del campo, la duración de la exposición y la orientación con el campo, se inmovilizó a las ratas dentro del orificio de imanes superconductores de 7 o 14 T durante duraciones variables.

Los efectos conductuales se evaluaron mediante la puntuación de la actividad locomotora después de la liberación del campo magnético y la medición de la adquisición de CTA después de emparejar la ingesta de una solución de glucosa y sacarina (G + S) palatable con la exposición al campo magnético. La exposición al campo magnético a 7 o 14 T suprimió el encabritamiento e indujo un movimiento en círculos cerrados. La dirección del movimiento en círculos dependía de la orientación de la rata dentro del campo magnético: si se exponía con la cabeza hacia arriba, las ratas giraban en círculos en sentido contrario a las agujas del reloj; si se exponía con la cabeza hacia abajo, las ratas giraban en el sentido de las agujas del reloj. El CTA se indujo después de tres pares de sabor y 30 min de exposición a 7 T o después de un solo par de G + S y 1 min de exposición a 14 T. Estos resultados sugieren que la exposición al campo magnético tiene efectos graduados en el comportamiento de las ratas. Planteamos la hipótesis de que la restricción con campos magnéticos de alta intensidad causa estimulación vestibular que resulta en un movimiento en círculos locomotor y la adquisición de CTA.

(E) Houpt TA, Cassell JA, Riccardi C, Kwon B, Smith JC. Supresión del consumo de alcohol mediante la exposición a un campo magnético estático de alta intensidad. *Physiol Behav* 90(1):59-65, 2007. (AS, AE, BE)

Se ha demostrado que los campos magnéticos estáticos de alta intensidad de 7 T y más tienen efectos tanto inmediatos como retardados en roedores, como la inducción de movimientos locomotores circulares y la adquisición de aversiones condicionadas al gusto. En este estudio, se examinaron los efectos agudos de la exposición a campos magnéticos en el consumo de agua. La exposición a un campo magnético de 14,1 T durante tan solo 5 minutos redujo significativamente la cantidad de solución de glucosa y sacarina (G+S) consumida por ratas privadas de agua durante 10 minutos. La disminución de la ingesta podría explicarse en gran medida, pero no en su totalidad, por un aumento de la latencia de las ratas expuestas al imán para iniciar el consumo de agua. Cuando se midió la ingesta durante 10-60 minutos después del inicio del consumo de agua, controlando así la latencia aumentada, las ratas expuestas al imán aún consumían menos G+S que las ratas expuestas simuladamente. El aumento de la latencia no se debió simplemente a la incapacidad de las ratas expuestas al imán para alcanzar el tubo elevado de la botella de G+S, ya que proporcionar a las ratas tubos largos que podían alcanzar sin levantar la cabeza normalizó la ingesta, pero la latencia seguía aumentando. Sin embargo, el aumento de la latencia y la disminución de la ingesta parecían ser secundarios a los efectos somáticos de la exposición al imán, ya que durante las infusiones intraorales, las ratas expuestas al imán consumieron la misma cantidad de G+S con la misma latencia para rechazar que las ratas expuestas simuladamente. La supresión de la bebida por la exposición al campo magnético es coherente con los efectos agudos de otros estímulos aversivos, como la rotación de todo el cuerpo, sobre la ingestión a corto plazo. Estos resultados se suman a la evidencia de que los campos magnéticos de alta fuerza estática pueden tener efectos conductuales en los roedores.

(E) Houpt TA, Cassell JA, Hood A, DenBleyker M, Janowitz I, Mueller K, Ortega B, Smith JC. La exposición repetida atenúa la respuesta conductual de las ratas a campos magnéticos estáticos de alta intensidad. *Physiol Behav* 99(4):500-508, 2010. (AS, AE, BE)

La exposición de ratas a campos magnéticos estáticos de alta intensidad de 7 T o más tiene efectos conductuales como la inducción del movimiento locomotor circular, la supresión del encabritamiento y la adquisición de

Aversión condicionada al gusto (CTA). Para determinar si la habituación ocurre a través de las exposiciones al campo magnético, las ratas fueron preexpuestas dos veces a un campo magnético estático de 14 T durante 30 minutos en dos días consecutivos; en el tercer día, las ratas tuvieron acceso a una nueva sacarina al 0,125% antes de una tercera exposición de 30 minutos al campo magnético de 14 T. En comparación con las ratas expuestas simuladamente, las ratas preexpuestas mostraron menos vueltas locomotoras y una CTA atenuada. La erección se suprimió en todos los grupos expuestos al imán independientemente de la preexposición, lo que sugiere que la supresión de la erección es más sensible que otras respuestas conductuales a la exposición al imán. También se observó habituación cuando las ratas se sometieron a preexposiciones en intervalos de 2 a 3 horas en un solo día. Los componentes de la habituación también fueron duraderos; se observó una respuesta de erección disminuida cuando las ratas fueron expuestas al campo magnético 36 días después de 2 preexposiciones. Para controlar los posibles efectos de la preexposición a estímulos no condicionados, también se realizó una prueba con ratas en un diseño experimental similar con dos inyecciones de LiCl antes de combinar la sacarina con una tercera inyección de LiCl. La preexposición a LiCl no atenuó el CTA inducido por LiCl, lo que sugiere que dos preexposiciones a un estímulo no condicionado no son suficientes para explicar la habituación a la exposición a imanes. Debido a que los efectos de la exposición a campos magnéticos dependen de un aparato vestibular intacto, y debido a que el sistema vestibular puede habituarse a muchas formas de perturbación, la habituación a la exposición a campos magnéticos es consistente con la mediación de los efectos de los campos magnéticos por el sistema vestibular.

(E) Houpt TA, Carella L, González D, Janowitz I, Mueller A, Mueller K, Neth B, Smith

JC. Efectos conductuales del movimiento en ratas dentro de un campo magnético estático elevado. *Physiol Behav* 102(3-4):338-346, 2011. (AS, AE, BE)

Algunos sujetos humanos informan de trastornos vestibulares como vértigo, movimiento aparente y náuseas alrededor o dentro de sistemas de resonancia magnética de alta potencia que funcionan a entre 4 T y 9,4 T. Estos efectos vestibulares se han atribuido a las consecuencias del movimiento a través del alto campo magnético. Hemos descubierto anteriormente que la exposición a campos magnéticos superiores a 7 T suprime el encabritamiento, provoca movimientos locomotores en círculos e induce aversión condicionada al gusto (CTA) en roedores. Los experimentos actuales se diseñaron para probar los efectos en ratas del movimiento a través del campo magnético del imán superconductor de 14,1 T. En el Experimento 1, comparamos los efectos de múltiples inserciones y extracciones rápidas del centro del imán con los efectos de la exposición continua. El recorrido repetido del gradiente del campo magnético con una exposición momentánea a 14,1 T fue suficiente para suprimir el encabritamiento e inducir un CTA significativo. Sin embargo, la inserción y extracción repetidas del imán no tuvieron un efecto mayor que una única exposición de 30 minutos ni en el comportamiento locomotor agudo ni en la adquisición de CTA. Se requirió una exposición prolongada para inducir el movimiento locomotor circular. En la segunda serie de experimentos, controlamos la velocidad de inserción y extracción por medio de un motor eléctrico. El movimiento locomotor circular pareció depender de la velocidad de inserción y extracción, pero la supresión del encabritamiento y la adquisición de CTA fueron independientes de la velocidad de inserción y extracción. En el Experimento 3, insertamos ratas en el centro del imán y luego las rotamos sobre su eje rostral-caudal durante una exposición de 30 minutos a 14,1 T. La rotación dentro del imán no moduló los efectos conductuales de la exposición. Concluimos que, en ratas, el movimiento a través del gradiente pronunciado de un campo magnético alto tiene algunos efectos conductuales, pero se requiere una exposición sostenida al centro homogéneo del campo para obtener consecuencias conductuales completas.

(NE) Hoyer C, Vogt MA, Richter SH, Zaun G, Zahedi Y, Maderwald S, Ladd ME, Winterhager E, Grümmer R, Gass P. La exposición repetida a un campo magnético estático de 7 Tesla en ratones en el útero no provoca alteraciones en el comportamiento emocional y cognitivo basal en la edad adulta. *Reprod Toxicol* 34(1):86-92, 2012. (AS, AE, BE)

En las últimas tres décadas, la resonancia magnética se ha utilizado cada vez más en obstetricia para ayudar al diagnóstico de afecciones maternas y fetales y, en general, se ha considerado un método de obtención de imágenes seguro. Sin embargo, el desarrollo de sistemas de mayor rendimiento que empleen, por ejemplo, campos más fuertes para mejorar el potencial diagnóstico de la técnica, requiere una evaluación de seguridad continua. Los estudios con roedores brindan una excelente oportunidad para investigar no solo los efectos agudos sino también a largo plazo de la exposición a campos magnéticos de manera sistemática, y un análisis del comportamiento podría ayudar a descubrir efectos más sutiles que podrían resultar de la exposición a campos magnéticos del cerebro en desarrollo vulnerable. Realizamos una investigación exhaustiva del comportamiento emocional y cognitivo en ratones adultos que habían sido expuestos repetidamente a un campo magnético estático de 7 Tesla en el útero. Utilizando pruebas bien validadas, no observamos ninguna alteración conductual adversa con respecto al comportamiento emocional, así como al aprendizaje espacial y emocional.

(E) Hu Y, Lai J, Wan B, Liu X, Zhang Y, Zhang J, Sun D, Ruan G, Liu E, Liu GP, Chen C, Wang DW. La exposición a largo plazo a ELF-MF mejora los déficits cognitivos y atenúa la hiperfosforilación de tau en ratones AD 3xTg. *Neurotoxicología*. 53:290-300, 2016. (COMO, CE, BE, CC, MA, ND)

Aunque numerosos estudios han informado sobre la influencia de la exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) en la salud humana, sus efectos sobre los déficits cognitivos en la enfermedad de Alzheimer (EA) han permanecido en debate. Además, hasta la fecha no se ha informado sobre la influencia de ELF-MF en la tau hiperfosforilada, que es una de las características patológicas más comunes de la EA. Por lo tanto, en el presente estudio se utilizaron ratones transgénicos (3xTg). Los ratones 3xTg, que expresan una mutación APP/PS1 combinada con una mutación tau (P301L) y que desarrollan déficits cognitivos a los 6 meses de edad, fueron sometidos a exposición a ELF-MF (50 Hz, 500 μ T) o exposición simulada diariamente durante 3 meses. Descubrimos que la exposición a ELF-MF mejoró los déficits cognitivos y aumentó las proteínas sinápticas en ratones 3xTg. Los efectos protectores de la exposición a ELF-MF también pueden haber sido causados por la inhibición de la apoptosis y/o la disminución de los niveles de estrés oxidativo que se observaron en los tejidos del hipocampo de los ratones tratados. Además, la hiperfosforilación de tau disminuyó in vivo debido a la exposición a ELF-MF, y esta disminución fue inducida por la inhibición de las actividades de GSK3 β y CDK5 y la activación de PP2Ac. Somos los primeros en informar que la exposición a ELF-MF puede atenuar la fosforilación de tau. Estos hallazgos sugieren que la exposición a ELF-MF podría actuar como una estrategia terapéutica válida para mejorar los déficits cognitivos y atenuar la hiperfosforilación de tau en la EA.

(E) Hung CS, Anderson C, Horne JA, McEvoy P. La señal del "modo de conversación" del teléfono móvil retrasa el inicio del sueño determinado por EEG. *Neurosci Lett*. 421(1):82-86, 2007. (HU, AE, EE, BE)

Las señales de los teléfonos móviles son microondas moduladas por pulsos, y los estudios de EEG sugieren que la modulación de pulsos de frecuencia extremadamente baja (ELF) tiene efectos sobre el sueño. Sin embargo, "hablar", "escuchar" y

Los modos de "espera" difieren en los componentes espectrales ELF (2, 8 y 217 Hz) y en las tasas de absorción específicas, pero ningún estudio del sueño ha diferenciado estos modos. Utilizamos un teléfono móvil GSM900 controlado por un simulador de estación base y una tarjeta SIM de prueba para simular estos tres modos específicos, transmitidos al 12,5% (23 dBm) de potencia máxima. A intervalos semanales, 10 adultos jóvenes sanos, con sueño restringido a 6 h, fueron expuestos aleatoriamente y a simple ciego a uno de los modos: hablar, escuchar, esperar y simular (señal nula), durante 30 minutos, a las 13:30 h, mientras estaban acostados en un dormitorio insonorizado e iluminado, con un teléfono silencioso con aislamiento térmico junto a la oreja derecha. Se registraron EEG bipolares de forma continua y se obtuvieron calificaciones subjetivas de somnolencia cada 3 minutos (antes, durante y después de la exposición). Después de la exposición, el teléfono y la estación base se apagaron, el dormitorio se oscureció y se les ofreció una oportunidad de dormir 90 minutos. Informamos sobre el inicio del sueño utilizando: (i) latencia calificada visualmente hasta el inicio del sueño de la etapa 2, (ii) análisis espectral de potencia del EEG. No hubo ningún efecto de la condición para la somnolencia subjetiva. Después de la exposición, la latencia del sueño después del modo de conversación se retrasó notablemente y significativamente más allá de los modos de escucha y simulación. Este efecto de la condición a lo largo del tiempo también fue bastante evidente en la potencia frontal del EEG de 1-4 Hz, que es un rango de frecuencia particularmente sensible al inicio del sueño. Es posible que la modulación de 2, 8, 217 Hz pueda afectar de manera diferencial el inicio del sueño.

(E) Ilić AŽ, de Luka SR, Popović TB, Debeljak-Martačić J, Kojadinović M, Ćirković S, Ristić-Djurović JL, Trbovich AM. Distinta redistribución de ácidos grasos y cambios de textura en el tejido cerebral tras la exposición al campo magnético estático. Environ Toxicol Pharmacol. 2022 19 de marzo: 103853. doi: 10.1016/j.etap.2022.103853. (COMO, CE, CC)

Observamos diferentes resultados tras la exposición subaguda al campo magnético estático (SMF) altamente homogéneo de 128 mT cuando su orientación estaba (i) alineada con el componente vertical del campo geomagnético; (ii) en la dirección opuesta. Empleamos la composición de ácidos grasos (AG) y los análisis de imágenes digitales (DIA) para proporcionar información sobre los procesos subyacentes y examinar los posibles efectos débiles del SMF. Se expuso el cuerpo entero de ratones macho Swiss-Webster durante 1 h/día durante cinco días. La cromatografía líquida fina del tejido cerebral dio como resultado la composición de AG del cerebro, lo que indica una posible secuencia de cambios debido a la exposición al SMF. La DIA cuantitativa evaluó con precisión diferentes parámetros de imagen. Se revelaron cambios texturales delicados en el grupo en el que no se detectaron alteraciones patohistológicas o bioquímicas. Los marcadores biológicos basados en DIA parecen ser muy prometedores para estudiar los cambios delicados en los tejidos, lo que resulta de la alta sensibilidad y la amplia disponibilidad de DIA. Observamos diferentes resultados tras la exposición subaguda al campo magnético estático (SMF) altamente homogéneo de 128 mT cuando su orientación estaba (i) alineada con el componente vertical del campo geomagnético; (ii) en la dirección opuesta. Empleamos la composición de ácidos grasos (AG) y los análisis de imágenes digitales (DIA) para proporcionar información sobre los procesos subyacentes y examinar los posibles efectos débiles del SMF. Se expuso el cuerpo entero de ratones macho Swiss-Webster durante 1 h/día durante cinco días. La cromatografía líquida fina del tejido cerebral dio como resultado la composición de AG del cerebro, lo que indica una posible secuencia de cambios debido a la exposición al SMF. La DIA cuantitativa evaluó con precisión diferentes parámetros de imagen. Se revelaron cambios texturales delicados en el grupo en el que no se detectaron alteraciones patohistológicas o bioquímicas. Los marcadores biológicos basados en DIA parecen ser muy prometedores para estudiar los cambios delicados en los tejidos, lo que resulta de la alta sensibilidad y la amplia disponibilidad de DIA.

(E) Ishay JS, Plotkin M, Volynchik S, Shaked M, Schuss Z, Bergman DJ. La exposición a un campo magnético alterno adicional afecta la construcción de panales por parte de las avispas obreras. *Physiol Chem Phys Med NMR*. 39(1):83-88, 2007. (AS, CE, BE)

Las obreras de la avispa oriental, mantenidas en una caja de cría artificial (ABB) sin reina, construyen en pocos días panales de cría de celdas hexagonales con aberturas hacia abajo. Estos panales poseen tallos que los fijan al techo de la ABB. En una ABB con obreras adultas (más de 24 h después de la eclosión), expuestas a un campo magnético de corriente alterna (50 Hz) de una magnitud de $B = 50\text{--}70$ mGauss, los panales y las celdas se construyen de manera diferente a los de una ABB de control, sometida únicamente al campo magnético terrestre natural. Los efectos del campo magnético adicional consisten en (a) un número de celdas entre un 35 y un 55 % menor y menos huevos en cada panal, (b) simetría alterada de la construcción, con muchas celdas deformadas e imperfectamente hexagonales, y (c) tallos de panal más delicados y delgados.

(E) Jadidi M, Firoozabadi SM, Rashidy-Pour A, Sajadi AA, Sadeghi H, Taherian AA.

La exposición aguda a un campo magnético de 50 Hz perjudica la consolidación de la memoria espacial en ratas.

Neurobiol Learn Mem. 88(4):387-392, 2007. (AS, CE, BE)

Este estudio se planeó para evaluar el efecto de una exposición a campos magnéticos en la consolidación y recuperación de la memoria espacial dependiente del hipocampo utilizando un laberinto de agua. En los experimentos 1 y 2, las ratas fueron entrenadas en una versión oculta (espacial) de la tarea del laberinto de agua con dos bloques de cuatro ensayos. La retención de la memoria espacial se evaluó 48 h más tarde. La exposición a un campo magnético de 50 Hz 8 mT, pero no de 2 mT durante 20 minutos inmediatamente después del entrenamiento afectó el rendimiento de retención. La misma exposición de tiempo poco antes de la prueba de retención no tuvo efecto. En el experimento 3, las ratas fueron entrenadas en una versión con señales del laberinto de agua con dos bloques de cuatro ensayos. La exposición a un campo magnético de 8 mT durante 20 minutos inmediatamente después del entrenamiento no afectó el rendimiento de la retención. Estos hallazgos indican que la exposición aguda a un campo magnético de 50 Hz a 8 mT durante un período breve puede perjudicar la consolidación de la memoria espacial.

(E) Jadidi M, Khatami MS, Mohammad-Pour F, Afsaneh Bandavi A, Rashidy-Pour A,

Vafaei AA, Taherian AA, Miladi-Gorji H. Efectos del campo magnético de frecuencia extremadamente baja en el desarrollo de tolerancia al efecto analgésico de la morfina en ratas.

Bioelectromagnetism. 38:618-625, 2017. (AS, AE, BE, MA)

Este estudio examinó los efectos del campo magnético de baja frecuencia (MF) en la tolerancia al efecto analgésico de la morfina en ratas. Se hizo que las ratas fueran tolerantes a la morfina inyectándoles morfina (10 mg/kg, s) una vez al día durante 8 días consecutivos. Las ratas fueron expuestas simultáneamente a un MF (50 Hz a 1, 50 y 100 μT durante 30 min) antes, inmediatamente o 30 min después de la inyección de morfina, y también expuestas a 0,5, 6, 12 y 30 Hz a 100 μT durante 30 min antes de la inyección de morfina. El porcentaje del efecto máximo posible de la morfina (% MPE) se midió el 1.º, 4.º y 8.º día mediante una prueba de placa caliente. Observamos que la radiación MF (50 Hz a 1 μT y 30 Hz a 100 μT) inmediatamente antes y la radiación MF (50 Hz a 100 μT) después de la inyección de morfina impidió el desarrollo de tolerancia a la morfina en comparación con el control. Además, encontramos que la exposición a MF (50 Hz a 1, 50 y 100 μT) 30 minutos después de la inyección de morfina no logró mantener el efecto analgésico.

Efecto de la morfina. Nuestros resultados demostraron que la exposición a campos electromagnéticos de baja frecuencia (30 y 50 Hz) inmediatamente antes o después de la inyección de morfina puede ser un método potencial para tratar el desarrollo de tolerancia a la morfina en ratas.

(E) Jakubowska M, Urban-Malinga B, Otremba Z, Andruliewicz E. Efecto del campo electromagnético de baja frecuencia en el comportamiento y la bioenergética del poliqueto Hediste diversicolor. Marine Environ Res. 3 de agosto de 2019;150:104766. doi: 10.1016/j.marenvres.2019.104766.
(AS, CE, FC, BE)

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de un campo electromagnético (CEM) de valor típicamente registrado en la proximidad de cables submarinos (50 Hz, 1 mT) sobre el comportamiento y la bioenergética del poliqueto Hediste diversicolor. No se mostró ningún comportamiento de evitación o atracción hacia los CEM, pero la actividad de excavación de H. diversicolor se mejoró en el tratamiento con CEM, lo que indica un efecto estimulante sobre el potencial de bioturbación. El poliqueto mantuvo un balance energético positivo y una gran cantidad (85% de energía asimilada) de energía disponible para la producción individual (margen de crecimiento) después de la exposición a los CEM. El consumo de alimentos y las tasas de respiración no se vieron afectados, pero la tasa de excreción de amoníaco se redujo significativamente en los animales expuestos a los CEM en comparación con las condiciones de control (campo geomagnético). Sin embargo, los mecanismos detrás de este efecto siguen sin estar claros. Este es el primer estudio que demuestra los efectos de un valor de CEM ambientalmente realista sobre el comportamiento y la fisiología de los invertebrados marinos, por lo que es necesario realizar más investigaciones.

(E) Janać B, Tovilović G, Tomić M, Prolić Z, Radenović L. Efecto de la exposición continua a un campo magnético alterno (50 Hz, 0,5 mT) sobre la actividad de los receptores de serotonina y dopamina en el cerebro de ratas. Gen Physiol Biophys. 28 Spec No:41-46, 2009. (AS, CE, FC)

Los campos magnéticos externos (CM) tienen la capacidad de modificar la actividad motora de los animales, un tipo complejo de comportamiento relacionado con las neurotransmisiones dopaminérgicas y serotoninérgicas en el cerebro. Por lo tanto, el propósito de este estudio fue examinar los cambios inducidos por los CM en la actividad de los receptores de serotonina 5-HT(2A) en la corteza prefrontal, así como los receptores de dopamina D(1) y D(2) en el cuerpo estriado de ratas Wistar adultas, considerando su participación en la regulación de la conducta motora. Los animales experimentales fueron expuestos continuamente a CM de frecuencia extremadamente baja (ELF-CM, 50 Hz, 0,5 mT) durante 1, 3 y 7 días. Posteriormente, se determinaron las propiedades de unión ($K(d)$ y $B(max)$) de los receptores mediante ensayos de unión de receptores de radioligandos in vitro. Se demostró que la afinidad de los receptores de serotonina 5-HT(2A) disminuyó y su densidad aumentó en la corteza prefrontal de ratas después de la exposición a ELF-CM. En cuanto a la afinidad, este efecto dependía de la duración y era más notorio después de siete días de exposición a ELF-MF. A diferencia de la serotonina 5-HT(2A) en la corteza prefrontal, ELF-MF no tuvieron un efecto significativo en la afinidad y densidad de los receptores de dopamina D(1) y D(2) en el cuerpo estriado. Podemos concluir que la exposición continua a ELF-MF hasta 7 días afecta la neurotransmisión serotoninérgica cortical, donde la intensidad de estos cambios depende de la duración de la exposición a ELF-MF.

(E) Janać B, Selaković V, Rauš S, Radenović L, Zrnić M, Prolić Z. Patrones temporales de cambios de comportamiento motor inducidos por campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja en jerbos mongoles de diferentes edades. *Int J Radiat Biol.* 88(4):359-366, 2012. (AS, CE, BE)

OBJETIVO: El objetivo de este estudio fue investigar la influencia del campo magnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) en diferentes parámetros de comportamiento (locomoción, estereotipia e inmovilidad) en jerbos mongoles machos de 3 y 10 meses de edad. MATERIALES Y MÉTODOS: Los animales fueron expuestos continuamente a ELF-MF (50 Hz; 0,1, 0,25 y 0,5 mT) durante siete días. Su comportamiento fue monitoreado durante 60 minutos en campo abierto después del 1.er, 2.º, 4.º y 7.º día de exposición (efecto inmediato) y tres días después de que se cesara la exposición a ELF-MF (efecto retardado). RESULTADOS: En jerbos de 3 meses, la exposición a ELF-MF (0,1, 0,25 y 0,5 mT) aumentó el comportamiento motor (locomoción y estereotipia) y, en consecuencia, disminuyó la inmovilidad. Además, ELF-MF tuvo un efecto retardado (excepto 0,25 mT) sobre la estereotipia y la inmovilidad. En jerbos de 10 meses, ELF-MF de 0,1, 0,25 y 0,5 mT indujo una disminución, un ligero aumento y una estimulación pronunciada del comportamiento motor, respectivamente. Independientemente del valor de inducción magnética, se observó un aumento del comportamiento motor tres días después de que se cesara la exposición a ELF-MF (efecto retardado). CONCLUSIONES: Se puede proponer que los patrones temporales específicos de los cambios de conducta motora inducidos por ELF-MF en jerbos de 3 y 10 meses son una consecuencia de diferencias morfofuncionales dependientes de la edad en las estructuras cerebrales responsables del control de la conducta motora.

(E) Jankowska M, Pawlowska-Mainville A, Stankiewicz M, Rogalska J, Wyszowska J. La exposición a un campo electromagnético de 50 Hz cambia la eficacia de la toxina alfa del escorpión. *J Venom Anim Toxins Incl Trop Dis.* 21:38, 2015. (AS, CS, AE, FC)

ANTECEDENTES: Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (50 Hz) (ELF-EMF) son producidos por líneas de transmisión de energía eléctrica y dispositivos electrónicos de uso cotidiano. Se proponen algunos fenómenos como "primeros efectos" de los ELF-EMF: los cambios discretos en el potencial de membrana y el aumento de la actividad del canal de calcio, así como la concentración intracelular de Ca^{2+} . La interacción de la toxina alfa del escorpión con el canal de sodio depende de la orientación de las cargas y puede verse perturbada por cambios en la polarización de la membrana. La toxina induce una sobreexcitabilidad en el sistema nervioso y un aumento en los neurotransmisores liberados con diferentes consecuencias, principalmente la parálisis de los músculos. Supusimos que la exposición a 0,7 mT de ELF-EMF cambiará los efectos de la toxina alfa de escorpión selectiva para insectos (LqhαIT recombinante de *Leiurus quinquestriatus hebraeus*) a nivel de la función del nervio cercal, la transmisión sináptica y a nivel del organismo entero del insecto. Teniendo en cuenta los mecanismos compensatorios en los organismos, probamos además diez veces más ELF-EMF en insectos enteros. MÉTODOS: Se realizaron experimentos in vivo en cucarachas (*Periplaneta americana*) e in vitro - en el cordón nervioso abdominal aislado de cucarachas con cercos. En bioensayos, los efectos de LqhαIT (10^{-8} M) se estimaron sobre la base de la capacidad del insecto para girar desde el lado dorsal al ventral. Se compararon tres grupos: el grupo control y los dos expuestos a ELF-EMF - 0,7 y 7 mT. Se registró la actividad bioeléctrica del nervio cercal y del nervio conectivo que sale del ganglio abdominal terminal utilizando electrodos extracelulares. LqhαIT (5×10^{-8} M) indujo modificaciones de la actividad neuronal que se observaron en las preparaciones de cucarachas control y en las expuestas a ELF-EMF (0,7 mT). La exposición a ELF-EMF se llevó a cabo utilizando bobinas con un tamaño apropiado para las cucarachas examinadas.

objetos. RESULTADOS: La exposición a ELF-EMF (0,7 mT) modificó los efectos de LqhαIT (5×10^{-8} M) sobre la actividad del nervio cercal y del nervio conectivo. Observamos una disminución del efecto de la toxina sobre la actividad del nervio cercal, pero el efecto tóxico de LqhαIT sobre el nervio conectivo aumentó. Los bioensayos mostraron que la toxicidad de LqhαIT (10^{-8} M) sobre las cucarachas se redujo con la exposición a ELF-EMF (0,7 y 7 mT). CONCLUSIONES: La exposición a 50 Hz ELF-EMF modificó el modo de acción de la toxina alfa antiinsectos del escorpión LqhαIT a nivel celular del sistema nervioso de la cucaracha y en bioensayos. La toxina apareció como una herramienta útil para distinguir entre los efectos primarios y secundarios de ELF-EMF.

(E) Jankowska M, Klimek A, Valsecchi C, Stankiewicz M, Wyszowska J, Rogalska J.

El campo electromagnético y el TGF-β mejoran la plasticidad compensatoria después de una lesión del nervio sensorial en la cucaracha *Periplaneta americana*. Sci Rep 2021 Mar 22;11(1):6582. (AS, CE, FC, MA, IX)

La recuperación de la función después de una lesión de los nervios sensoriales implica una plasticidad compensatoria, que se puede observar en los invertebrados. El objetivo del estudio fue la evaluación de la plasticidad compensatoria en el sistema nervioso de la cucaracha (*Periplaneta americana*) después de la lesión del nervio sensorial y la evaluación del efecto de la exposición al campo electromagnético (CEM, 50 Hz, 7 mT) y TGF-β en este proceso. Las actividades bioeléctricas de los nervios (partes pre y postsinápticas de la vía sensorial) se registraron bajo estimulación del viento de los cercos antes y después de la ablación del cerco derecho y en insectos expuestos a CEM y tratados con TGF-β. La ablación del cerco derecho provocó un aumento de la actividad de la parte presináptica izquierda de la vía sensorial. Exposición a CEM y TGF-β

indujo un aumento de la actividad en ambas partes de la vía sensorial. Esto sugiere un fortalecimiento de los efectos de los campos electromagnéticos y del factor de crecimiento tumoral beta sobre la capacidad de los insectos para reconocer estímulos después de una ablación del cerco. Los datos de las pruebas locomotoras demostraron resultados electrofisiológicos. La sustitución de la función de un cerco por el segundo demuestra la existencia de plasticidad compensatoria en el sistema de escape de la cucaracha, lo que lo convierte en un buen modelo para estudiar la plasticidad compensatoria. Recomendamos realizar más investigaciones sobre los campos electromagnéticos como un factor útil en la neurorrehabilitación.

(E) Kantar Gok D, Akpinar D, Yargicoglu P, Ozen S, Aslan M, Demir N, Derin N, Agar A.

Efectos de campos eléctricos de frecuencia extremadamente baja a diferentes intensidades y duraciones de exposición sobre la negatividad de los desajustes. Neurociencia. 272C:154-166, 2014. (EE, AS, CE, EE, OX)

Los efectos de los campos eléctricos de frecuencia extremadamente baja (FEB-E, 3-300 Hz) sobre los niveles de peroxidación lipídica y las actividades de las enzimas antioxidantes se han demostrado en muchos tejidos y plasma después de la exposición a campos eléctricos de corriente alterna (CA) de 50 Hz. Sin embargo, los estudios similares que investigan el estado de peroxidación lipídica cerebral son limitados. Además, y hasta donde sabemos, no se ha realizado ningún estudio para examinar la respuesta de negatividad de desajuste (MMN) en ratas después de la exposición a un campo eléctrico de corriente alterna (CA) de 50 Hz.

Campo eléctrico de CA de Hz. Por lo tanto, el propósito del estudio fue investigar diferentes intensidades y duraciones de exposición de los FE-ELF sobre el componente MMN de los potenciales relacionados con eventos (ERP), así como la apoptosis y el daño cerebral oxidativo en ratas. Se utilizaron noventa ratas macho de 3 meses de edad en nuestro estudio. Se formó un total de seis grupos, compuestos por 15 animales cada uno, de la siguiente manera: ratas expuestas simuladamente durante 2 semanas (C2), ratas expuestas simuladamente durante 4 semanas (C4), ratas expuestas a 12- Campos eléctricos de 12 kV/m y 18 kV/m durante 2 semanas (E12-2 y E18-2), ratas expuestas a campos eléctricos de 12 y 18 kV/m. Campos eléctricos de 12 kV/m durante 4 semanas (E12-4 y E18-4). Al final del período experimental, se registraron las respuestas de MMN en ratas anestesiadas con uretano mediante electrodos colocados estereotáxicamente.

hasta la superficie de la duramadre. Después de los registros de MMN, los animales fueron sacrificados por desangrado y se les extrajo el tejido cerebral para el análisis de 4-hidroxi-2-nonenal (4-HNE), carbonilo proteico y TUNEL. En el estudio actual, se observaron diferentes patrones de cambio en los parámetros ERP en función de la intensidad y la duración de la exposición a los ELF-EF. Hubo diferencias en las amplitudes de ERP entre las respuestas a los tonos estándar y a los desviados en todos los grupos.

Cuando se evaluó la amplitud pico a pico de las curvas de diferencia, la amplitud de MMN disminuyó significativamente en el grupo E18-4 en comparación con el grupo C4. Además, la cantidad de 4-HNE aumentó en todos los grupos experimentales en comparación con el grupo de control.

En consecuencia, se podría concluir que el campo eléctrico disminuyó las amplitudes de MMN posiblemente inducidas por la peroxidación lipídica.

(E) Kapri-Pardes E, Hanoch T, Maik-Rachline G, Murbach M, Bounds PL, Kuster N, Seger R. Activación de cascadas de señalización por campos electromagnéticos débiles de frecuencia extremadamente baja. Cell Physiol Biochem. 43:1533-1546, 2017. (CS, AE, CC, OX)

Los resultados de estudios recientes sugieren que los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) interfieren con las vías de señalización intracelular relacionadas con el control proliferativo. Las quinasas de proteína activadas por mitógenos (MAPK), componentes centrales de señalización que regulan esencialmente todos los procesos celulares estimulados, incluyen las quinasas reguladas por señales extracelulares 1/2 (ERK1/2) que son extremadamente sensibles a las señales extracelulares. Los anticuerpos anti-fosfo-ERK sirven como una lectura para la activación de ERK1/2 y son capaces de detectar cambios minúsculos en la estimulación de ERK. El objetivo de este estudio fue explorar si la activación de ERK1/2 y otras cascadas de señalización se pueden utilizar como una lectura para las respuestas de una variedad de tipos de células, tanto transformadas como no transformadas, a ELF-MF. MÉTODOS: Aplicamos ELF-MF en varias intensidades de campo y períodos de tiempo a ocho tipos de células diferentes con un sistema de exposición alojado en una incubadora de cultivo de tejidos y seguimos la fosforilación de MAPK y Akt mediante transferencia Western. RESULTADOS: Descubrimos que la fosforilación de ERK1/2 aumenta en respuesta a ELF-MF. Sin embargo, es probable que la fosforilación de ERK1/2 sea demasiado baja para inducir la proliferación dependiente de ELF-MF o la transformación oncogénica. La p38 MAPK estaba muy ligeramente fosforilada, pero no así JNK o Akt. El efecto sobre ERK1/2 se detectó para exposiciones a intensidades de ELF-MF tan bajas como 0,15 μ T y fue máximo a 10 μ T. También demostramos que la fosforilación de ERK1/2 está bloqueada por el inhibidor de flavoproteína difenilenoyodonio, lo que indica que la respuesta a ELF-MF puede ejercerse a través de la NADP oxidasa de manera similar a la fosforilación de ERK1/2 en respuesta a la radiación de microondas. CONCLUSIONES: Nuestros resultados indican además que las células responden a ELF-MF en intensidades de campo mucho más bajas de lo que se sospechaba anteriormente y que el efecto puede estar mediado por la NADP oxidasa. Sin embargo, el pequeño aumento de la fosforilación de ERK1/2 probablemente no sea suficiente para afectar la proliferación y la transformación oncogénica. Por lo tanto, los resultados no pueden considerarse una prueba de la participación de ELF-MF en el cáncer en general o en la leucemia infantil en particular.

(E) Karimi AS, Salehil, ShykhiT, Zare S, Komaki A. Efectos de la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja en el aprendizaje y la memoria de evitación pasiva y espacial, la conducta ansiosa y el estrés oxidativo en ratas macho. Behav Brain Res 359:630-638, 2019. (AS, CE, BE, OX)

Existen muchas controversias sobre la seguridad de los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) en la salud corporal y el rendimiento cognitivo. En el presente estudio, exploramos los efectos de los ELF-EMF en el estrés oxidativo y los comportamientos de las ratas. Setenta y dos ratas Wistar macho adultas se dividieron aleatoriamente en los siguientes grupos, control, grupo de exposición simulada y los grupos de exposición a ELF-EMF (1 μ T, 100 μ T, 500 μ T y 2000 μ T). Después de 60 días de exposición (2 h/día), se utilizaron tareas de laberinto en cruz elevada (EPM), laberinto acuático de Morris (MWM) y aprendizaje de evitación pasiva (PAL) para evaluar el comportamiento similar a la ansiedad, el aprendizaje espacial y pasivo y la memoria, respectivamente. Algunos días después del examen conductual, se midieron los marcadores de estrés oxidativo.

Durante la prueba de memoria de referencia espacial, los animales en los grupos de exposición a ELF-EMF (100 y 2000 μ T) pasaron más tiempo en la zona objetivo ($F(4, 55) = 5,699$, $P = 0,0007$, ANOVA unidireccional). En la retención PAL, la latencia de paso en la prueba de retención (STLr) en los grupos de exposición a ELF-EMF (100, 500 y 2000 μ T) fue significativamente mayor que el grupo de control ($F(4, 55) = 29,13$, $P < 0,0001$, ANOVA unidireccional). En la prueba EPM, la exposición a ELF-EMF (500 y 2000 μ T) disminuyó el porcentaje de entradas en los brazos abiertos ($F(4, 55) = 26,31$, $P < 0,0001$, ANOVA unidireccional).

La exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF) (100 y 500 μ T) aumentó la concentración de malondialdehído (MDA) ($F(4, 25) = 79,83$, $P < 0,0001$, ANOVA unidireccional). Nuestros resultados pueden permitir concluir que la exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF) puede mejorar la retención de la memoria (pero no su adquisición) en ratas macho adultas. Aunque la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia muy baja (ELF) podría ser un factor en el desarrollo del estado de ansiedad o estrés oxidativo.

(E) Kawasaki H, Okano H, Nedachi T, Nakagawa-Yagi Y, Hara A, Ishida N

Efectos de un campo eléctrico sobre la calidad del sueño y la esperanza de vida mediados por la radiación ultravioleta (UV) CRIPTOCROMO, fotorreceptor de luz azul/A en *Drosophila*. Sci Rep 2021 15 de octubre;11(1):20543. (AS, CE, BE, EF)

Aunque los campos eléctricos (CE) ejercen efectos beneficiosos sobre la cicatrización de heridas, la diferenciación, los cánceres y la artritis reumatoide de los animales, los mecanismos moleculares de estos efectos han permanecido poco claros durante aproximadamente medio siglo. Por lo tanto, nuestro objetivo fue dilucidar los mecanismos moleculares subyacentes a los efectos de los CE en *Drosophila melanogaster* como modelo animal genético. Aquí mostramos que la calidad del sueño de las moscas de tipo salvaje (WT) mejoró con la exposición a un campo eléctrico constante de 50 Hz (35 kV/m) durante el día, pero no durante la noche. El efecto fue indetectable en las moscas mutantes criptocromáticas (*cryb*). La exposición a un campo eléctrico de 50 Hz en condiciones de bajos nutrientes alargó la vida de las moscas WT macho y hembra en ~ 18%, pero no de varios mutantes *cry* y cepas *cry* RNAi. El análisis del metaboloma indicó que el contenido de trifosfato de adenosina (ATP) era mayor en las cepas WT intactas que en las cepas mutantes del gen *cry* expuestas a un campo eléctrico. El CRIPTOCROMO (CRY), una supuesta proteína magnetorreceptora y fotorreceptor de luz azul/UV-A, está implicado en los receptores de campo eléctrico (CE) en animales. Los hallazgos actuales constituyen evidencia genética hasta ahora desconocida de un sistema basado en CRY que es sensible al campo eléctrico en animales.

(E) Kesari KK, Juutilainen J, Luukkonen J, Naarala J. Inducción de micronúcleos y producción de superóxido en líneas celulares de neuroblastoma y glioma expuestas a campos magnéticos débiles de 50 Hz. JR Soc Interface. 13(114):20150995, 2016. (CS, AE, MC, OX)

Los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF) se han asociado con efectos adversos para la salud en estudios epidemiológicos. Sin embargo, no se conoce ningún mecanismo que explique los efectos biológicos de los MF ambientales débiles. Estudios previos indican efectos de los MF sobre la integridad del ADN y las especies reactivas de oxígeno, pero dicha evidencia se limita a MF superiores (mayores o iguales a 100 μT) a los que se encuentran generalmente en el medio ambiente. Se estudiaron los efectos de los campos de 10 y 30 μT en células SH-SY5Y y C6 expuestas a MF de 50 Hz durante 24 h. Con base en hallazgos anteriores, se utilizó menadiona (MQ) como cofactor. Se observaron respuestas a los MF en ambas líneas celulares, pero los efectos difirieron entre ellas.

Los micronúcleos aumentaron significativamente en las células SH-SY5Y a 30 μT . Este efecto fue mayor con la dosis más alta de MQ utilizada. Se observaron mayores niveles de superóxido citosólico y mitocondrial en las células C6. Los efectos sobre los niveles de superóxido fueron independientes de MQ, lo que permitió realizar estudios mecanísticos adicionales sin coexposición a MQ. Los datos de micronúcleos y superóxido mitocondrial fueron consistentes con una relación exposición-respuesta ascendente convencional. Para el superóxido citosólico, el tamaño del efecto fue inesperadamente grande a 10 μT . Los resultados indican que el umbral para los efectos biológicos de los MF de ELF es 10 μT o menos.

(E) Kazemi M, Sahraei H, Aliyari H, Tekieh E, Saberi M, Tavacoli H, Meftahi GH, Ghanaati H, Salehi M, Hajnasrollah M. Efectos de los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja en la expresión génica del receptor NMDA y la memoria de trabajo visual en macacos Rhesus machos. Basic Clin Neurosci. 9(3):167-176, 2018. (AS, CE, BE, CC, MA)

INTRODUCCIÓN: La presente investigación tuvo como objetivo examinar las puntuaciones de la prueba de memoria de trabajo visual (VWM), así como los cambios hormonales, genómicos y anatómicos cerebrales en los macacos rhesus machos expuestos a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF). MÉTODOS: Cuatro monos fueron expuestos a dos frecuencias ELF-MF diferentes: 1 Hz (control) y 12 Hz (experimento) con 0,7 μT (magnitud) 4 h/d durante 30 días consecutivos. Antes y después de la exposición, se realizó la prueba VWM utilizando un dispositivo recubierto en un soporte móvil. Se obtuvieron aproximadamente 10 mL de sangre de los animales de su vena femoral y se utilizaron para evaluar su concentración de melatonina. Los linfocitos de la sangre se utilizaron para ensayar las expresiones de la expresión de los genes del receptor NMDA de N-metil-D-aspartato antes y después de la exposición a ELF. Los cambios anatómicos del tamaño del hipocampo también se evaluaron utilizando imágenes de resonancia magnética. RESULTADOS: Los resultados indicaron que las puntuaciones VWM en primates expuestos a una frecuencia ELF de 12 Hz aumentaron significativamente. El nivel de melatonina plasmática también aumentó en estos animales. Sin embargo, estas variables no cambiaron en los animales expuestos a una frecuencia ELF de 1 Hz. Por último, la expresión de los receptores NMDA aumentó con la exposición a una frecuencia de 12 Hz. Sin embargo, el volumen del hipocampo no aumentó significativamente en los animales expuestos a ambas frecuencias. CONCLUSIÓN: En resumen, estos resultados indican que la frecuencia ELF (12 Hz) puede tener un valor beneficioso para la mejora de la memoria (indicado por el aumento en las puntuaciones VWM). Esto puede deberse a un aumento de la melatonina plasmática y/o la expresión de los receptores de glutamato NMDA.

Sin embargo, la participación directa del hipocampo en este proceso necesita más investigación.

(E) Kim HJ, Jung J, Park JH, Kim JH, Ko KN, Kim CW. Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja inducen la diferenciación neuronal en células madre mesenquimales derivadas de la médula ósea. *Exp Biol Med* (Maywood). 238(8):923-931, 2013. (CS, AE, MC, MA)

Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) afectan a numerosas funciones biológicas, como la expresión génica, la determinación del destino celular e incluso la diferenciación celular. Para investigar la correlación entre la exposición a ELF-EMF y la diferenciación, se sometieron células madre mesenquimales derivadas de la médula ósea (BM-MSC) a un campo electromagnético de 50 Hz durante la expansión in vitro. La influencia de ELF-EMF en BM-MSC se analizó mediante una variedad de métodos analíticos diferentes para comprender su papel en la mejora de la diferenciación neuronal. La exposición a ELF-EMF redujo significativamente la tasa de proliferación, lo que a su vez provocó un aumento en la diferenciación neuronal. Las células tratadas con ELF-EMF mostraron mayores niveles del marcador de diferenciación neuronal (MAP2), mientras que el marcador neuronal temprano (Nestin) se reguló a la baja. Además, se detectaron ocho proteínas expresadas de manera diferencial en mapas de electroforesis bidimensionales, y se identificaron utilizando ESI-Q-TOF LC/MS/MS. Entre ellos, la cadena ligera de ferritina, la peróxido reductasa dependiente de tioredoxina y la cadena β -6 de tubulina se regularon positivamente en el grupo estimulado con ELF-EMF. La ferritina y la peróxido reductasa dependiente de tioredoxina están involucradas en una amplia variedad de funciones, incluida la regulación de Ca^{2+} , que es un componente crítico de la neurodegeneración. También observamos que el contenido intracelular de Ca^{2+} se elevó significativamente después de la exposición a ELF-EMF, lo que fortalece el papel modulador de la ferritina y la peróxido reductasa dependiente de tioredoxina, durante la diferenciación. En particular, el análisis de transferencia Western indicó una expresión significativamente aumentada de la cadena ligera de ferritina en el grupo estimulado con ELF-EMF (0,60 frente a 1,08; $P < 0,01$). Estas proteínas pueden ayudar a comprender el efecto de la estimulación con ELF-EMF en las BM-MSC durante la diferenciación neuronal y su uso potencial como una opción terapéutica clínica para el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas.

(E) Kirimoto H, Tamaki H, Otsuru N, Yamashiro K, Onishi H, Nojima I, Oliviero A.

La estimulación transcraneal mediante campos magnéticos estáticos sobre la corteza motora primaria induce cambios plásticos en el procesamiento nociceptivo cortical. *Front Hum Neurosci*.

12:63, 2018. (Humana, AE, EE, MA)

La estimulación transcraneal con campo magnético estático (tSMS) es una técnica de estimulación cerebral no invasiva (NIBS) novedosa y económica. En este trabajo, realizamos una modulación no invasiva de los potenciales evocados por estimulación eléctrica intraepidérmica (IES-EP) mediante Aplicación de tSMS o estimulación simulada sobre las cortezas motora primaria (M1) y somatosensorial (S1) en 18 voluntarios sanos durante 15 minutos. Registramos los EP después de la IES, antes, justo después y 10 minutos después de la tSMS. La amplitud de los EP de la IES se redujo significativamente inmediatamente después de la tSMS sobre M1, mientras que la tSMS sobre S1 y la estimulación simulada no afectaron la amplitud de los EP de la IES. Por lo tanto, la tSMS puede afectar el procesamiento nociceptivo cortical. Aunque los resultados de la intervención para el dolor agudo experimental en sujetos sanos no se pueden traducir directamente a la situación clínica, la tSMS puede ser un método NIBS potencialmente útil para el manejo del dolor crónico, además de los tratamientos estándar de atención.

(E) Kitaoka K, Kitamura M, Aoi S, Shimizu N, Yoshizaki K. La exposición crónica a un campo magnético de frecuencia extremadamente baja induce un comportamiento similar a la depresión y la secreción de corticosterona sin mejorar el eje hipotálamo-hipofisario-suprarrenal en ratones.

Bioelectromagnetismo. 34(1):43-51, 2013. (AS, CE, BE, CC)

Los cables de alta tensión y los aparatos eléctricos domésticos generan un campo magnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF). Muchos estudios han sugerido una asociación entre la exposición crónica a ELF-MF y la ansiedad o la depresión. Se supone que el mecanismo de estos efectos es una respuesta al estrés inducida por la exposición a ELF-MF. Sin embargo, este mecanismo sigue siendo controvertido. En el presente estudio, investigamos si la exposición crónica a ELF-MF (intensidad, 3 mT; exposición total, 200 h) afectó el comportamiento emocional y la síntesis de corticosterona en ratones. Los ratones tratados con ELF-MF mostraron un aumento significativo en el tiempo total de inmovilidad en una prueba de natación forzada y mostraron latencia para ingresar a la caja de luz en una prueba de transición de luz a oscuridad, en comparación con los ratones tratados con placebo (control). La secreción de corticosterona fue significativamente alta en los ratones expuestos a ELF-MF; sin embargo, no se observaron cambios en la cantidad de la hormona adrenocorticotrófica y la expresión de genes relacionados con la respuesta al estrés. La cuantificación de los niveles de ARNm de las enzimas de síntesis de corticosteroides suprarrenales reveló una reducción significativa en el ARNm de Cyp17a1 en los ratones expuestos a ELF-MF. Nuestros hallazgos sugieren la posibilidad de que la exposición crónica y de alta intensidad a ELF-MF induzca un aumento en la secreción de corticosterona, junto con un comportamiento similar a la depresión y/o la ansiedad, sin mejora del eje hipotálamo-hipofisario-suprarrenal.

Klimek A., Rogalska J. Campo magnético de frecuencia extremadamente baja como factor de estrés: ¿realmente perjudicial? Una mirada a la literatura de la última década. Brain Sci 2021 31 de enero;11(2):174.

(Revisión)

Los efectos biológicos de los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) y sus consecuencias sobre la salud humana se han convertido en tema de un importante y recurrente debate público. Los ELF-MF provocan respuestas celulares/organismos que son características de una reacción general al estrés, por lo que pueden considerarse un factor de estrés. La exposición a los ELF-MF "activa" diferentes mecanismos intracelulares en ambas direcciones: compensatorios o perjudiciales. Los ELF-MF pueden provocar cambios morfológicos y fisiológicos en los sistemas relacionados con el estrés, principalmente los nerviosos, hormonales e inmunológicos. Esta revisión resume los cambios mediados por los ELF-MF en varios niveles de la organización del organismo. Se presta especial atención a la revisión de la literatura de la última década. La mayoría de los estudios sobre los efectos de los ELF-MF se concentran en su influencia negativa, por ejemplo, el deterioro del comportamiento hacia los trastornos depresivos y de ansiedad; sin embargo, en la última década hubo un aumento en el número de estudios de investigación que muestran el impacto estimulante de los ELF-MF en la neuroplasticidad y la neurorrehabilitación. Ante los numerosos estudios sobre la acción del ELF-MF, es necesario sistematizar el conocimiento para una mejor comprensión del fenómeno, a fin de reducir el riesgo asociado a la exposición a este factor y reconocer la posibilidad de utilizarlo como agente terapéutico.

(E) Koeman T, Schouten LJ, van den Brandt PA, Slottje P, Huss A, Peters S, Kromhout H, Vermeulen R. Exposiciones ocupacionales y riesgo de mortalidad relacionada con la demencia en el estudio de cohorte prospectivo de los Países Bajos. Soy J Ind Med. 58(6):625-635, 2015. (HU, CE, ND)

ANTECEDENTES: Las exposiciones ocupacionales pueden estar asociadas con la demencia no vascular.

MÉTODOS: Analizamos los efectos de la exposición ocupacional a solventes, pesticidas, metales, campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF), descargas eléctricas y gases de escape de motores diésel sobre la mortalidad relacionada con la demencia no vascular en el Estudio de cohorte de los Países Bajos (NLCS).

Las exposiciones se asignaron utilizando matrices de exposición laboral. Después de 17,3 años de seguimiento, estaban disponibles 682 casos masculinos y 870 femeninos. Los análisis se realizaron utilizando regresión

de Cox. RESULTADOS: La exposición ocupacional a metales, solventes clorados y ELF-MF mostró asociaciones positivas con la demencia no vascular entre los hombres, que parecía impulsada por los metales (cociente de riesgo

siempre alto frente a exposición de fondo: 1,35 [0,98-1,86]). La exposición a pesticidas mostró asociaciones inversas estadísticamente significativas con la demencia no vascular entre los hombres. No encontramos asociaciones

para descargas, solventes aromáticos y gases de escape de motores diésel. CONCLUSIONES: Se encontraron asociaciones positivas consistentes entre la exposición ocupacional a metales y la demencia no vascular.

El hallazgo sobre los pesticidas no está respaldado por la literatura general.

(E) Koeman T, Slottje P, Schouten LJ, Peters S, Huss A, Veldink JH, Kromhout H, van den Brandt PA, Vermeulen R. Exposición ocupacional y esclerosis lateral amiotrófica en una cohorte prospectiva. *Ocupar Environ Med*. 74:578-583, 2017. (HU, Dakota del Norte)

OBJETIVO: Estudiar prospectivamente los factores de riesgo ocupacional sospechosos de esclerosis lateral amiotrófica (ELA). MÉTODOS: Para este análisis de cohorte de casos dentro del Estudio de cohorte prospectivo de los Países Bajos, se realizó un seguimiento de 58 279 hombres y 62 573 mujeres de 55 a 69 años de edad en el momento de la inscripción en 1986 durante 17,3 años para determinar la mortalidad por ELA.

La información sobre los antecedentes laborales y los posibles factores de confusión se recogió al inicio del estudio a través de un cuestionario autoadministrado y se ingresó para una subcohorte aleatoria (2092 hombres y 2074 mujeres) y muertes por ELA (76 hombres y 60 mujeres). La exposición ocupacional a solventes, pesticidas, metales, campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) y descargas eléctricas se estimó mediante matrices de exposición laboral (JEM).

Se analizaron las asociaciones entre la exposición ocupacional alguna vez/nunca y la exposición acumulada y la mortalidad por ELA por género utilizando regresión de Cox. RESULTADOS: La exposición ocupacional a ELF-MF mostró una posible asociación con la mortalidad por ELA entre los hombres: HR para tener alguna vez un trabajo con alta exposición versus fondo 2,19 (95% (IC): 1,02 a 4,73) y HR para el tercil más alto de exposición acumulada versus fondo 1,93 (95% IC 1,05 a 3,55). INTERPRETACIÓN: Estos resultados refuerzan la evidencia que sugiere una asociación positiva entre la exposición a ELF-MF y la ELA. No replicamos los hallazgos positivos anteriores para otras exposiciones ocupacionales.

(E) Komaki A, Khalili A, Salehi I, Shahidi S, Sarihi A. Efectos de la exposición a un campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja en la potenciación a largo plazo del hipocampo en ratas. *Brain Res*. 10 de abril de 2014. pii: S0006-8993(14)00419-3. doi: 10.1016/j.brainres.2014.03.041. [Publicado electrónicamente antes de su publicación impresa] (AS, CE, EE)

El estilo de vida moderno expone a casi todos los seres humanos a campos electromagnéticos, en particular a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF). La exposición prolongada a los ELF-EMF induce cambios persistentes en la actividad neuronal. Sin embargo, la modulación de la eficiencia sináptica por ELF-EMF in vivo aún no está clara. En el presente estudio, investigamos si los ELF-EMF pueden cambiar la inducción de

Potenciación a largo plazo (PLP) y relación de pulsos pareados (PPR) en el área del hipocampo de ratas. Se dividieron veintinueve ratas Wistar macho adultas en tres grupos (expuestas a campos electromagnéticos de baja frecuencia, grupo de simulación y grupo de control). El grupo ELF-EMF estuvo expuesto al campo magnético durante 90 días consecutivos (2 horas/día). El ELF-EMF fue producido por una bobina circular (50 Hz, 100 micro Tesla). Los controles expuestos simuladamente fueron colocados en una cámara idéntica sin campo electromagnético. Después de este período, las ratas fueron anestesiadas profundamente con uretano (2,0 mg/kg) y luego se implantó un electrodo de estimulación y registro bipolar en la vía perforante (PP) y el giro dentado (DG), respectivamente. La LTP en el área del hipocampo fue inducida por estimulación de alta frecuencia (HFS). La exposición prolongada a ELF-EMF aumentó la inducción de LTP. Hubo una diferencia significativa en la pendiente de EPSP y la amplitud de PS entre el grupo ELF-EMF y otros grupos. En conclusión, nuestros datos sugieren que la exposición a ELF-EMF produce un cambio marcado en la plasticidad sináptica generada en las sinapsis de la PP-DG. No hay diferencias significativas en la PPR del grupo ELF-EMF antes y después de HFS, lo que sugiere un sitio de expresión postsináptica de LTP.

(E) Korpınar MA, Kalkan MT, Tuncel H. El campo magnético sinusoidal de 50 Hz (10 mT): efectos sobre el comportamiento relacionado con el estrés de las ratas. Bratisl Lek Listy. 113(9):521-524, 2012. (AS, CE, BE)

Objetivo: El objetivo de este estudio fue investigar los cambios de comportamiento inducidos por un campo magnético sinusoidal (CM) de 50 Hz y 10 mT de densidad de flujo. Material y métodos: Se utilizaron setenta y seis ratas albinas Wistar macho adultas jóvenes. Se dividieron en dos grupos: grupo de control (C) n=38; grupo CM n=38. Los animales C se dejaron en las mismas condiciones que el grupo CM durante 21 días, pero con exposición prevenida o evitada al CM. Se investigaron los cambios de comportamiento relacionados con la ansiedad y el estrés mediante sistemas de laberinto en cruz elevado y tablero de agujeros. Justo antes de ser probados en el laberinto, cada animal fue probado mediante el método del tablero de agujeros para separar el comportamiento de exploración dirigida y los cambios en la actividad de locomoción del comportamiento relacionado con la ansiedad. Resultados: En los parámetros del sistema de tablero de agujeros no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos. Hubo una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos MF y C cuando se evaluó la relación entre el tiempo pasado en los brazos abiertos y el tiempo total pasado en todos los brazos ($0,12 \pm 0,08$ y $0,34 \pm 0,18$ respectivamente y $p < 0,01$).

Conclusión: Nuestros resultados sugieren que después de 21 días, una exposición continua a una frecuencia extremadamente baja de campo magnético (50 Hz, 10 mT) no tiene un efecto significativo sobre la actividad y la actividad de exploración, pero induce significativamente el estrés y el comportamiento relacionado con la ansiedad en ratas (Tab. 2, Fig. 9, Ref. 19).

Kumar S, Dey S, Jain S. Campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja: una posible herramienta terapéutica no invasiva para la rehabilitación de lesiones de la médula espinal. Electromagn Biol Med. 36(1):88-101, 2017. (Reseña)

Las lesiones traumáticas en la médula espinal provocan daño mecánico inmediato y posterior degeneración tisular. Esta última implica una serie de eventos, a saber, alteración celular, desequilibrio homeostático, alteración iónica y de neurotransmisores que finalmente resultan en la pérdida de funciones sensoriomotoras. Los objetivos para mejorar la función después de una lesión de la médula espinal (LME) están dirigidos principalmente a limitar estos eventos de lesión secundaria.

El campo electromagnético de frecuencia ultraelevada (ELF-EMF) es una posible intervención terapéutica no invasiva para la rehabilitación de la LME que tiene el potencial de limitar los eventos secundarios inducidos por lesiones.

En la presente revisión, discutimos los efectos de los campos electromagnéticos de frecuencia muy baja (ELF) en lesiones medulares experimentales y clínicas, así como en sistemas biológicos.

(E) Kumar S, Jain S, Behari J, Avelev VD, Mathur R. Efecto del campo magnético en la ingesta de alimentos y agua y el peso corporal de ratas con lesión de la médula espinal. *Indian J Exp Biol.* 48(10):982-986, 2010. (AS, CE, MA)

La exposición crónica (2 h/dx 8 semanas) a un campo magnético (MF; 50 Hz, 17,9 microT) en ratas con la médula espinal completamente seccionada (T13) restableció la ingesta de alimentos (IF), la ingesta de agua (IA) y el peso corporal (PC), que habían disminuido en las ratas con la médula espinal lesionada. Los resultados sugieren un Efecto beneficioso de la exposición crónica al campo magnético de ratas parapléjicas.

(E) Kumar S, Jain S, Velpandian T, Petrovich Gerasimenko Y, D Avelev V, Behari J, Behari M, Mathur R. La exposición a un campo magnético de frecuencia extremadamente baja restaura el dolor tónico inducido por una lesión de la médula espinal y la concentración de neurotransmisores relacionada en el cerebro.

Electromagn Biol Med. 32(4):471-483, 2013. (Licenciatura, titulación, ingeniería, ciencias biológicas, maestría)

Se ha informado de forma inequívoca que la lesión de la médula espinal (LME) produce hiperalgesia a los estímulos fásicos, mientras que hiperalgesia e hipoalgesia a los estímulos tónicos. La primera está mediada por la médula espinal y la segunda por el sistema central. Además, su manejo es insatisfactorio. Informamos del efecto del campo magnético (MF; 17,96 μ T, 50 Hz) sobre el comportamiento del dolor tónico y los neurotransmisores relacionados en el cerebro de ratas con LME torácica completa (T13) en la semana 8. Las ratas Wistar macho adultas se dividieron en grupos simulados, LME y LME+MF. El comportamiento del dolor con formalina se comparó utilizando una calificación del dolor en bloque (PR) de 5 min, una PR de sesión de 60 min, el tiempo transcurrido en varias categorías de dolor creciente (T0-T3) y las incidencias de estremecimiento. Se estimaron serotonina (5-HT), dopamina (DA), norepinefrina (NE), ácido gamma-aminobutírico (GABA), glutamato y glicina en el tejido cerebral mediante cromatografía líquida-espectrometría de masas. La PR de sesión, la PR de bloqueo y el número de estremecimientos fueron significativamente menores, mientras que el tiempo transcurrido en las categorías 0-1 fue mayor en el grupo con LME que en el grupo con placebo. Estos parámetros fueron comparables en el grupo con LME+MF en comparación con el grupo con placebo. La concentración de 5-HT en la corteza, las áreas restantes del prosencéfalo y el tronco encefálico (BS) fue menor, mientras que la de GABA y NE fue mayor en el BS con LME, que fue comparable con el grupo con placebo en el grupo con LME+MF. La concentración de DA, glutamato y glicina fue comparable entre los grupos. Los datos indican una hipoalgesia significativa en el dolor con formalina, mientras que aumentó en GABA, NE y disminuyó en 5-HT después de LME, que se restauraron en el grupo con LME+MF. Sugerimos un efecto beneficioso de la exposición crónica (2 h/día $\times$ 8 semanas) a MF (50 Hz, 17,96 μ T) sobre el dolor tónico mediado por 5-HT, GABA y NE en ratas con LME

(E) Kumari K, Koivisto H, Viluksela M, Paldanius KMA, Marttinen M, Hiltunen M, Naarala J, Tanila H, Juutilainen J. Las pruebas de comportamiento de ratones expuestos a campos magnéticos de frecuencia intermedia indican un deterioro leve de la memoria. *PLoS One.* 2017a, 12(12):e0188880.(AS, CE, BE)

La exposición humana a campos magnéticos de frecuencia intermedia (MF) está aumentando debido a

aplicaciones como sistemas de vigilancia electrónica de artículos y placas de cocción con calentamiento por inducción. Sin embargo, se dispone de datos limitados sobre sus posibles efectos sobre la salud. El presente estudio evaluó las consecuencias conductuales e histopatológicas de la exposición de ratones a 7,5 kHz MF a 12 o 120 μ T durante 5 semanas. No se observaron efectos en el peso corporal, la actividad espontánea, la coordinación motora, el nivel de ansiedad o la agresión. En la tarea de natación de Morris, los ratones del grupo de 120 μ T mostraron una curva de aprendizaje menos pronunciada que los otros grupos, pero no difirieron de los controles en su sesgo de búsqueda en la prueba de sonda. La tarea de evitación pasiva indicó un claro deterioro de la memoria durante 48 h en el grupo de 120 μ T. No se observaron efectos en la activación astrogliar o la neurogénesis en el hipocampo. La expresión de ARNm del factor neurotrófico derivado del cerebro no cambió, pero la expresión del ARNm del factor de necrosis tumoral alfa de la citocina proinflamatoria aumentó significativamente en el grupo de 120 μ T. Estos hallazgos sugieren que la exposición a frecuencias medias de 7,5 kHz puede provocar un deterioro leve del aprendizaje y la memoria, posiblemente a través de una reacción inflamatoria en el hipocampo.

(NE) Kumari K, Koivisto H, Myles C, Jonne N, Matti V, Heikki T, Jukka J. Fenotipos conductuales en ratones después de la exposición prenatal y postnatal temprana a campos magnéticos de frecuencia intermedia. Environ Res. 2017b, 162:27-34. doi: 10.1016/j.envres.2017.12.013. (AS, CE, BE, MC)

Los campos electromagnéticos son omnipresentes en el medio ambiente. La exposición humana a los campos de frecuencia intermedia (FI) está aumentando debido a aplicaciones como los sistemas de vigilancia electrónica de artículos, la transferencia de energía inalámbrica y las placas de cocción con calentamiento por inducción. Sin embargo, existen datos limitados sobre los posibles efectos en la salud de la exposición a los campos magnéticos de FI (MF). En el presente estudio, nos propusimos evaluar los efectos cognitivos y conductuales de los MF de FI en ratones expuestos durante los períodos prenatal y posnatal temprano. Las hembras de ratones preñadas fueron expuestas continuamente a MF de 7,5 kHz a 12 y 120 μ T, desde el apareamiento hasta el destete de las crías. Se utilizaron ratones preñados expuestos simuladamente como grupo de control. Se realizó un estudio de teratología conductual en la descendencia macho a los dos meses de edad para detectar posibles efectos en el sistema nervioso en desarrollo. El desarrollo del peso corporal no difirió entre los grupos de exposición. La exposición no alteró la actividad motora espontánea al explorar una jaula nueva ni la ansiedad en las pruebas de alimentación suprimida por novedad o de enterramiento de canicas. Se observó un mejor desempeño en la tarea Rotarod en el grupo de 12 μ T, mientras que el grupo de exposición a 120 μ T nadó más lentamente que el grupo de exposición simulada en la tarea de navegación de natación de Morris. Sin embargo, los índices de aprendizaje y memoria (longitud de la trayectoria y latencia de escape durante la adquisición de la tarea y sesgo de búsqueda durante la prueba de sonda) no difirieron entre los grupos de exposición. Además, la tarea de evitación pasiva no indicó ningún deterioro de la memoria a largo plazo durante un intervalo de 48 horas en los grupos expuestos. En un análisis histopatológico post-mortem, no hubo evidencia de un efecto de la exposición a IF MF en la reactividad astrogliar o la neurogénesis hipocampal. Los resultados sugieren que el IF MF utilizado no tuvo efectos perjudiciales en el aprendizaje y la memoria espacial o en los marcadores histológicos de la reacción tisular. Es probable que los dos hallazgos estadísticamente significativos que se observaron (mejor desempeño en la tarea Rotarod en el grupo de 12 μ T y disminución de la velocidad de natación en el grupo de 120 μ T) sean hallazgos casuales, ya que no forman un patrón dependiente de la dosis y consistente internamente indicativo de efectos específicos en el desarrollo.

(E) Lacroix A, Proulx-Bégin L, Hamel R, De Beaumont L, Bernier PM, Lepage JF.

La estimulación magnética estática de la corteza motora primaria afecta el aprendizaje de secuencias motoras en línea, pero no fuera de línea. Sci Rep 2019, 9(1):9886.(HU,AE, BE)

Se sabe que los campos magnéticos estáticos (SMF) alteran la actividad neuronal, pero faltan pruebas de su capacidad para modificar la neuroplasticidad relacionada con el aprendizaje. El presente estudio puso a prueba la hipótesis de que la aplicación de estimulación magnética estática (SMS), una SMF aplicada transcranealmente a través de un imán de neodimio, sobre la corteza motora primaria (M1) alteraría el aprendizaje de una tarea de tiempo de reacción en serie (SRTT). Treinta y nueve participantes participaron en dos sesiones experimentales separadas por 24 h en las que tuvieron que aprender la SRTT con su mano derecha. Durante la primera sesión, dos grupos recibieron SMS sobre M1 contralateral (es decir, izquierda) o ipsilateral (es decir, derecha), mientras que un tercer grupo recibió estimulación simulada. No se aplicó SMS durante la segunda sesión. Los resultados de la primera sesión mostraron que la aplicación de SMS sobre M1 contralateral afectó el aprendizaje en línea en comparación con los grupos ipsilateral y simulado, que no difirieron. Los resultados revelaron además que la aplicación de SMS no afectó el aprendizaje fuera de línea o el reaprendizaje. En general, estos resultados están en línea con los obtenidos utilizando otras técnicas neuromoduladoras que se cree que reducen la excitabilidad cortical en el contexto del aprendizaje motor y sugieren que la capacidad de los SMS para alterar la neuroplasticidad relacionada con el aprendizaje está circunscrita temporalmente a la duración de su aplicación.

(E) Lahijani MS, Bigdeli MR, Kalantary S. Efectos de los campos electromagnéticos sinusoidales en la histopatología y las estructuras de los cerebros de embriones de pollo Leghorn blanco preincubados. Electromagn Biol Med. 30(3):146-157, 2011. (AS, AE, MC, DE)

Existen varios informes que indican vínculos entre las exposiciones a campos electromagnéticos de 50-60 Hz y anomalías en las primeras etapas del desarrollo embrionario de pollo. Con base en nuestra investigación publicada previamente realizada en el Departamento de Ciencias Animales, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Shahid Beheshti, se investigaron los efectos de los campos electromagnéticos sinusoidales en la histopatología y las estructuras de los cerebros de huevos de gallina Leghorn blanca preincubados. Trescientos huevos fertilizados frescos sanos (55-65 gr) se dividieron en tres grupos: experimental (n = 50), control (n = 75) y simulado (n = 75). Los huevos experimentales (dentro de la bobina) se expusieron a 3 intensidades diferentes de 1,33, 2,66 y 7,32 mT y los grupos simulados se ubicaron dentro de la misma bobina sin exposición, durante 24 h antes de la incubación. Los grupos control, simulado y experimental fueron incubados en una incubadora (38 ± 0,5(°)C, 60% de humedad) durante 14 días. Se extrajeron embriones de pollo de 14 días mediante cesáreas y los cerebros de todos los embriones de todos los grupos se fijaron en formalina (10%), se tiñeron con H&E y ensayo TUNEL, para estudiar la histopatología y el proceso de apoptosis. Los cerebros de otros embriones se prepararon para microscopio electrónico de barrido. Los resultados mostraron que los campos electromagnéticos tienen efectos tóxicos sobre las células cerebrales al aumentar el número de células apoptóticas y la degeneración de los tejidos cerebrales de los embriones de pollo expuestos. Estos hallazgos sugieren que los campos electromagnéticos inducen daños cerebrales a diferentes niveles.

(NE) Lai J, Zhang Y, Liu X, Zhang J, Ruan G, Chaugai S, Chen C, Wang DW. Efectos de campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (100 μT) sobre el comportamiento de las ratas. Neurotoxicología. 52:104-113, 2016. (AS, CE, BE, MC)

Recientemente, los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) han recibido considerable atención por su patogenicidad potencial. En el presente estudio, exploramos los efectos de los ELF-EMF en las conductas de ratas macho adultas. Sesenta ratas macho adultas se dividieron aleatoriamente en dos grupos, el grupo de exposición simulada y el grupo de exposición a ELF-EMF de 50 Hz/100 μ T. Durante las 24 semanas de exposición, se registraron los pesos corporales, así como la ingesta de alimentos y agua. Los resultados mostraron que la ingesta de alimentos y agua y el peso corporal de las ratas no se vieron afectados por la exposición. Después de 24 semanas de exposición, se realizaron pruebas de campo abierto y laberinto en cruz elevada para evaluar el comportamiento similar a la ansiedad, la prueba de suspensión de la cola y la prueba de natación forzada se realizaron para evaluar el comportamiento similar a la depresión y el laberinto acuático de Morris y las pruebas de condicionamiento del miedo se utilizaron para evaluar la capacidad cognitiva y de memoria. La exposición a ELF-EMF no indujo ningún comportamiento similar a la ansiedad o la depresión en comparación con la exposición simulada. Además, la exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF) no afectó a la capacidad cognitiva ni a la memoria. Además, la exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF) no afectó a la morfología ni a la histología del cerebro. En conclusión, la exposición durante 24 semanas a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF) de 50 Hz/100 μ T no tuvo ningún efecto sobre el comportamiento de las ratas macho adultas.

(E) Laszlo AM, Ladanyi M, Boda K, Csicsman J, Bari F, Serester A, Molnar Z, Sepp K, Galfi M, Radacs M. Efectos de los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja en pavos. Poult Sci. 97(2):634-642, 2018. (AS, CE, FC, CC)

Varios estudios han examinado los posibles efectos biológicos de los campos electromagnéticos (CEM) en las aves; sin embargo, se ha prestado poca atención a la radiación de frecuencia extremadamente baja (ELF; 0-300 Hz; 0-50 μ T) encontrada en un entorno urbanizado. Para monitorear los efectos de los CEM de ELF, utilizamos un modelo de pavo (*Meleagris gallopavo*), porque los eritrocitos nucleados de los pavos contienen β -adrenoceptores, y los β -adrenoceptores activados por norepinefrina (NE) tienen un papel importante en los procesos fisiológicos y conductuales. Nuestros objetivos fueron los siguientes: 1) investigar los mecanismos intracelulares; 2) comparar los mecanismos intracelulares en los grupos tratados y de control a lo largo del tiempo, considerando las diferencias interindividuales y las correlaciones intrasujeto; 3) y estudiar la naturaleza reversible de la respuesta. Los pavos del grupo de tratamiento fueron tratados in vivo con campos electromagnéticos de frecuencia muy baja (50 Hz; 10 μ T) durante 3 semanas después de un período de adaptación de 1 semana. Los animales no fueron expuestos a campos electromagnéticos de frecuencia muy baja durante el período de regeneración (5 semanas después de la exposición). La función de los β -adrenoceptores activados por NE se detectó midiendo la cantidad de 3'5'-adenosina-monofosfato cíclico (cAMP), y se definieron los parámetros enzimáticos bioquímicos. Se analizaron mediciones repetidas de los niveles de cAMP utilizando modelos marginales y un modelo mixto lineal por partes para comparar los grupos de tratamiento y control a lo largo del tiempo. Según nuestros resultados, la función de los β -adrenoceptores activados por NE disminuyó en las aves tratadas de manera dependiente del tiempo, mientras que no hubo diferencias entre los parámetros toxicológicos en el suero, en comparación con los rangos normales. La disminución de la función de los β -adrenoceptores dependiente de NE podría ser compensada por el complejo homeostático durante el período de regeneración de 5 semanas. Períodos experimentales más prolongados y métodos de análisis más sofisticados pueden ayudar a prevenir efectos ambientales nocivos para las aves; además, estos hallazgos podrían afectar la salud pública y la economía.

(E) Legros A, Corbacio M, Beuter A, Modolo J, Goulet D, Prato FS, Thomas AW. Efectos neurofisiológicos y conductuales de un campo magnético de 60 Hz y 1800 μ T en humanos. Eur J Appl Physiol. 112(5):1751-1762, 2012. (HU, AE, BE)

Los efectos de los campos magnéticos (MF) que varían con el tiempo en los seres humanos se han investigado activamente durante las últimas tres décadas. Una pregunta importante sin respuesta es el potencial de exposición a los MF

tener efectos agudos en la biología humana. Se han utilizado diferentes estrategias para abordar esta cuestión utilizando varios indicadores fisiológicos, neurofisiológicos y conductuales. Por ejemplo, los investigadores que investigan la electroencefalografía (EEG) han informado que la frecuencia extremadamente baja (ELF, <300 Hz) MF puede aumentar el ritmo alfa occipital en reposo (8-12 Hz). Curiosamente, otros estudios han demostrado que la motricidad humana puede ser modulada por ELF MF: se ha informado una reducción del equilibrio anteroposterior de pie o una disminución de la intensidad del temblor fisiológico como consecuencias de la exposición. Sin embargo, la principal limitación en este dominio radica en la falta de replicación de los resultados, posiblemente originada por la gran variedad de enfoques experimentales empleados. Por lo tanto, el presente estudio tuvo como objetivo investigar los efectos de una frecuencia de 60 Hz, Exposición a 1.800 μ T de MF sobre aspectos neurofisiológicos (EEG) y neuromotores (equilibrio en bipedestación, función motora voluntaria y temblor fisiológico) en humanos mediante un único procedimiento experimental. Aunque los resultados de este estudio sugieren una reducción del equilibrio en bipedestación humana con la exposición a MF, así como un aumento de la amplitud del temblor fisiológico dentro del rango de frecuencia asociado con la contribución del sistema nervioso central, no apareció ningún efecto de la exposición sobre otros parámetros investigados (p. ej., EEG o control motor voluntario). Estos resultados sugieren que una exposición de 1 h a 60 Hz y 1.800 μ T de MF puede modular el control motor involuntario humano sin ser detectada en la actividad eléctrica cortical.

(E) Legros A, Modolo J, Brown S, Roberston J, Thomas AW. Efectos de la exposición a un campo magnético de 60 Hz de hasta 3000 μ T en la activación cerebral humana medida mediante imágenes por resonancia magnética funcional. PLoS One. 27 de julio de 2015;10(7):e0132024. (HU, AE, BE, FC)

Se ha informado que varios aspectos del sistema nervioso humano y los procesos motores y cognitivos asociados son modulados por campos magnéticos (CM) variables en el tiempo de frecuencia extremadamente baja (ELF, < 300 Hz). Debido a su prevalencia mundial, las frecuencias de las líneas eléctricas (60 Hz en América del Norte) son de particular interés. A pesar de los intensos esfuerzos de investigación en las últimas décadas, los efectos potenciales de los CM de 60 Hz aún necesitan ser dilucidados y los mecanismos subyacentes deben ser comprendidos. En este estudio, hemos utilizado imágenes por resonancia magnética funcional (fMRI) para caracterizar los cambios potenciales en la activación cerebral funcional después de la exposición humana a un CM de 60 Hz a través de tareas motoras y cognitivas. Primero, los resultados piloto adquiridos en un primer conjunto de sujetos (N = 9) se utilizaron para demostrar la viabilidad técnica de utilizar fMRI para detectar cambios sutiles en la activación cerebral funcional con la exposición a CM de 60 Hz a 1800 μ T. En segundo lugar, un estudio completo que incluyó una cohorte más grande de sujetos evaluó la activación cerebral durante 1) una tarea de golpeteo de dedos (N = 20) y 2) una tarea de rotación mental (N = 21); antes y después de una exposición de una hora a MF a 60 Hz, 3000 μ T. Los resultados indican cambios significativos en la activación cerebral funcional inducida por la tarea como consecuencia de la exposición a MF. Sin embargo, no se encontró ningún impacto en el desempeño de la tarea. Estos resultados ilustran el potencial de usar fMRI para identificar cambios inducidos por MF en la activación cerebral funcional, lo que sugiere que una exposición de una hora a 60 Hz, 3000 μ T MF puede modular la actividad en regiones cerebrales específicas después del final del período de exposición (es decir, efectos residuales). Analizamos la posibilidad de que la exposición a MF a 60 Hz, 3000 μ T pueda ser capaz de modular la excitabilidad cortical a través de una modulación de los procesos de plasticidad sináptica.

(E) Leone L, Fusco S, Mastrodonato A, Piacentini R, Barbati SA, Zaffina S, Pani G, Podda MV, Grassi C. Modulación epigenética de la neurogénesis hipocámpal adulta mediante campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja. Mol Neurobiol. 49:1472-1486, 2014. (AS, CS, CE, AE, BE, CC, MA)

A lo largo de la vida, la neurogénesis adulta genera nuevas neuronas en el giro dentado del hipocampo que tienen un papel fundamental en la formación de la memoria. Las estrategias capaces de estimular este proceso endógeno han suscitado un interés considerable debido a su posible uso para tratar trastornos neurológicos que conllevan deterioro cognitivo. Anteriormente informamos que los ratones expuestos a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELFEF) mostraron un aumento de la neurogénesis hipocampal. Aquí, demostramos que la mejora de la neurogénesis hipocampal dependiente de ELFEF mejora el aprendizaje espacial y la memoria. Para obtener información sobre los mecanismos moleculares subyacentes a los efectos de los ELFEF, ampliamos nuestros estudios a un modelo in vitro de células madre neuronales (NSC) aisladas del hipocampo de ratones recién nacidos. Descubrimos que los ELFEF mejoraron la proliferación y la diferenciación neuronal de las NSC hipocampales mediante la regulación de los mecanismos epigenéticos que conducen a la expresión de genes proneuronales. Tras la estimulación de las células madre neurales con ELFEF, observamos un aumento significativo de la expresión del gen pro-proliferativo hairy enhancer of split 1 y de los genes de determinación neuronal NeuroD1 y Neurogenin1. Estos eventos fueron precedidos por un aumento de la acetilación de H3K9 y la unión del factor de transcripción fosforilado proteína de unión al elemento de respuesta al AMPc (CREB) en la secuencia reguladora de estos genes. Dichas modificaciones epigenéticas dependientes de ELFEF fueron prevenidas por la expresión de Cav1-

El bloqueador de canales de nifedipina se asoció con una mayor ocupación de la proteína de unión a CREB (CBP) en los mismos loci dentro de los promotores analizados. Nuestros resultados revelan los mecanismos moleculares que subyacen a la capacidad de los ELFEF para mejorar la neurogénesis endógena, lo que indica que la remodelación de la cromatina relacionada con la acetilación de histonas es un determinante crítico. Estos hallazgos podrían allanar el camino para el desarrollo de nuevos enfoques terapéuticos en medicina regenerativa.

(E) Li C, Xie M, Luo F, He C, Wang J, Tan G, Hu Z. La exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja afecta de manera diferente las expresiones de las subunidades AMPAR y NMDAR en el hipocampo, la corteza entorinal y la corteza prefrontal sin efectos sobre el aprendizaje y la memoria espacial de ratas. *Environ Res.* 2014 134C:74-80, 2014. (AS; CE; CC)

En el presente estudio, investigamos los efectos de la exposición crónica (14 y 28 días) a un campo magnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) de 50 Hz y 0,5 mT sobre las expresiones de las subunidades NMDAR y AMPAR y el aprendizaje y la memoria espacial de las ratas. Utilizando el método Western blotting, encontramos que la exposición a ELF-MF disminuyó específicamente las expresiones de GluA2 en el EC después de 28 días de exposición y de GluA3 de las subunidades AMPAR en el PFC después de 14 días de exposición, mientras que no afectó la expresión de la subunidad AMPAR en el hipocampo en ambos puntos temporales. En cuanto a las subunidades NMDAR, la exposición a ELF-MF durante 14 días aumentó significativamente los niveles de GluN2A y GluN2B en el hipocampo. Además, los niveles de GluN1 y GluN2A aumentaron en el EC y el PFC después de dos semanas de exposición a ELF-MF. Curiosamente, la exposición a ELF-MF durante 28 días indujo un patrón de expresión diferente para las subunidades NMDAR. La mayor expresión de GluN2A observada a los 14 días después de la exposición a ELF-MF se recuperó después de una exposición prolongada en el hipocampo y la CPF. En el CE, la mayor expresión de GluN1 alcanzó el nivel de control y, específicamente, se observó una disminución en el nivel de GluN2A. Sorprendentemente, ni el ELF-MF de 14 ni el de 28 días afectaron la memoria de referencia espacial de la rata evaluada mediante el laberinto acuático. Estos resultados indican que la dinámica

y los cambios específicos de la región cerebral en la expresión del receptor de glutamato ionotrópico inducidos por ELF-MF son insuficientes para influir en la capacidad de aprendizaje espacial de la rata.

(NE) Li L, Xiong DF, Liu JW, Li ZX, Zeng GC, Li HL. No hay efectos de la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja en líneas eléctricas en pruebas neuroconductuales seleccionadas de trabajadores que inspeccionan transformadores y estaciones de líneas de distribución en comparación con controles. *Australas Phys Eng Sci Med.* 31 de diciembre de 2013. [Epub antes de impresión] (HU, BE, CE)

Nuestro objetivo era evaluar la interferencia de la exposición ocupacional a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) de 50 Hz en las pruebas neuroconductuales de trabajadores que realizan inspecciones itinerantes cerca de transformadores y líneas de distribución de energía. Se llevaron a cabo mediciones puntuales ocupacionales de corto plazo. Se seleccionaron 310 trabajadores de inspección y 300 miembros del personal de logística como exposición y control. Las pruebas neuroconductuales se realizaron a través de un sistema informático de evaluación neuroconductual, que incluía aritmética mental, coincidencia de curvas, tiempo de reacción visual simple, retención visual, amplitud de dígitos auditivos y puntería de seguimiento. En áreas de 500 kV, la intensidad del campo eléctrico en el 71,98 % del total de 590 puntos medidos fue superior a 5 kV/m (estándar ocupacional nacional), mientras que en áreas de 220 kV, la intensidad del campo eléctrico en el 15,69 % del total de 701 puntos fue superior a 5 kV/m. La densidad de flujo del campo magnético en todos los puntos fue inferior a 1000 μ T (estándar ocupacional ICNIRP). Los cambios en la puntuación neuroconductual no mostraron significación estadística. Los resultados de las pruebas neuroconductuales entre diferentes grupos de edad y antigüedad no mostraron cambios significativos. En el estudio actual no se observaron cambios neuroconductuales causados por la exposición diaria repetida a ELF-EMF.

(E) Li X, Xu H, Lei T, Yang Y, Jing D, Dai S, Luo P, Xu Q. Un campo electromagnético pulsado protege contra la excitotoxicidad inducida por glutamato modulando el sistema endocannabinoide en células HT22. *Front Neurosci.* 6 de febrero de 2017; 11:42. (CS, AE, CC, MC, ND, MA)

La excitotoxicidad inducida por glutamato es común en la patogenia de muchas enfermedades neurológicas. Un campo electromagnético pulsado (PEMF) ejerce efectos terapéuticos sobre el sistema nervioso, pero su mecanismo específico asociado con la excitotoxicidad aún se desconoce. Investigamos el papel de la exposición a PEMF en la regulación de la excitotoxicidad inducida por glutamato a través del sistema endocannabinoide (eCB). La exposición a PEMF mejoró la viabilidad de las células HT22 después de la excitotoxicidad y redujo la liberación de lactato deshidrogenasa y la muerte celular. Un inhibidor específico del receptor eCB 1 (CB1R) suprimió los efectos protectores de la exposición a PEMF, aunque no se observaron cambios en la expresión de CB1R. La elevación de N-araquidoniletanolamida (AEA) y 2-araquidonilglicerol (2-AG) después de la exposición a PEMF indicó que los efectos neuroprotectores de PEMF estaban relacionados con la modulación del sistema metabólico eCB. Además, se demostró que la señalización CB1R/ERK es una importante vía descendente de PEMF en la regulación de la excitotoxicidad. Estos resultados sugieren que la exposición a PEMF produce efectos neuroprotectores contra la excitotoxicidad al facilitar la vía de señalización eCB/CB1R/ERK. Por lo tanto, los PEMF pueden ser una técnica terapéutica física potencial para prevenir y tratar enfermedades neurológicas.

(E) Li Y, Yan X, Liu J, Li L, Hu X, Sun H, Tian J. El campo electromagnético pulsado mejora la expresión del factor neurotrófico derivado del cerebro a través del canal de calcio dependiente de voltaje de tipo L.

y vías de señalización dependientes de Erk en neuronas del ganglio de la raíz dorsal de ratas neonatales.

Neurochem Int. 75:96-104, 2014a. (CS, AE, CC)

Aunque se ha informado que la exposición a campos electromagnéticos pulsados (PEMF) promueve la diferenciación neuronal, el mecanismo aún no está claro. Aquí, nos propusimos examinar los efectos de la exposición a PEMF en la expresión del ARNm del factor neurotrófico derivado del cerebro (Bdnf) y la correlación entre la concentración intracelular de calcio libre ($[Ca^{2+}]_i$) y la expresión del ARNm de Bdnf en neuronas ganglionares de la raíz dorsal (DRGN) cultivadas. La exposición a 50 Hz y 1 mT PEMF durante 2 h aumentó el nivel de expresión de $[Ca^{2+}]_i$ y ARNm de Bdnf, que se encontró que estaba mediado por un aumento de $[Ca^{2+}]_i$ a partir del influjo de Ca^{2+} a través de los canales de calcio dependientes de voltaje de tipo L (VGCC). Sin embargo, la movilización de calcio no estuvo involucrada en el aumento de la expresión de $[Ca^{2+}]_i$ y BDNF, lo que indica que el influjo de calcio fue uno de los factores clave que respondieron a la exposición a PEMF. Además, el inhibidor de la quinasa regulada por señales extracelulares (Erk), PD098059, inhibió fuertemente la activación de Erk1/2 dependiente de PEMF y la expresión de BDNF, lo que indica que la activación de Erk es necesaria para la regulación positiva inducida por PEMF de la expresión de BDNF. Estos hallazgos indicaron que la exposición a PEMF aumentó la expresión de BDNF en DRGN al activar las vías de señalización dependientes de Ca^{2+} y Erk.

(NE) Li Y, Zhang C, Song T. La perturbación del campo magnético no afectó la memoria espacial.

Physiol Res. 46: 377-385, 2014b (grados académicos, académicos y académicos)

Se ha sugerido que los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) influyen en la capacidad cognitiva y deben evaluarse dinámicamente en un estudio longitudinal. El entrenamiento previo puede afectar el rendimiento, pero la influencia bajo el campo magnético no está clara. Este estudio tiene como objetivo evaluar los efectos del entrenamiento previo y la exposición a ELF-MF en el aprendizaje y la memoria utilizando el laberinto acuático de Morris (MWM). Se sometieron ratas Sprague-Dawley a entrenamiento MWM, exposición a ELF-MF (50 Hz, 100 microT) o exposición a ELF-MF combinada con entrenamiento MWM durante 90 días.

Se utilizaron ratas normales como controles. Se utilizó el MWM para realizar la prueba. Los datos muestran que las ratas Los ratones expuestos al entrenamiento y los ratones ELF-MF con entrenamiento obtuvieron mejores resultados en la adquisición espacial cuando se los volvió a evaluar. Sin embargo, durante la prueba de prueba, las ratas no mostraron cambios entre la fase de entrenamiento y la fase de prueba. En comparación con el grupo de control, el grupo ELF-MF no mostró diferencias significativas. Estos resultados confirman que el entrenamiento previo puede mejorar las capacidades de aprendizaje y memoria con respecto a la adquisición espacial en el MWM y este efecto puede durar al menos 90 días. Sin embargo, esta mejora en las capacidades de aprendizaje y memoria no se observó durante la prueba de prueba. Además, la exposición a ELF-MF no interfirió en la mejora de las capacidades de aprendizaje y memoria.

(E) Li Y, Zhang Y, Wang W, Zhang Y, Yu Y, Cheing GL, Pan W. Efectos de la

Campos electromagnéticos en las capacidades de aprendizaje y memoria de ratas con demencia inducida por STZ.

Electromagn Biol Med. 38:123-130, 2019. (AS, CE, BE, ND, MA)

INTRODUCCIÓN: Estudios recientes han demostrado que los campos electromagnéticos pulsados (CEM) tienen potencial terapéutico para la demencia, pero los efectos neurobiológicos asociados no están claros. Este estudio tuvo como objetivo determinar los efectos de los CEM pulsados en ratas con demencia inducida por estreptozotocina (STZ).

MÉTODOS: Se seleccionaron al azar cuarenta ratas Sprague-Dawley

asignados a uno de los cuatro grupos: (i) control, (ii) inyección de solución salina normal (grupo simulado), (iii) inyección de STZ (grupo STZ) y (iv) inyección de STZ con exposición a EMF pulsado (PEMF, 10 mT a 20 Hz) (grupo STZ + MF). El laberinto acuático de Morris se utilizó para evaluar las habilidades de aprendizaje y memoria. La expresión génica de los factores de crecimiento de insulina 1 y 2 (IGF-1 e IGF-2) se determinó mediante PCR cuantitativa. RESULTADOS: Los resultados mostraron que la latencia de escape media en ratas con demencia inducida por STZ se redujo en un 66% bajo la exposición a EMF pulsado. En comparación con el grupo STZ, la distancia de nado y el tiempo para el primer cruce de la plataforma disminuyeron en un 55 y un 41,6% en el grupo STZ + MF, respectivamente.

Además, la expresión del gen IGF-2 aumentó significativamente en comparación con la del grupo STZ.

CONCLUSIONES: Nuestros hallazgos indican que la exposición a campos electromagnéticos pulsados puede mejorar la capacidad de aprendizaje y la memoria en ratas con demencia inducida por STZ y este efecto puede estar relacionado con el proceso de transducción de señales de IGF, lo que sugiere un papel potencial de los campos electromagnéticos pulsados para la mejora del deterioro cognitivo.

Liboff AR. La base electromagnética de las interacciones sociales. Electromagn Biol Med. 2017;36(2):177-181. (opinión)

Se ha establecido que los seres vivos son sensibles a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja a intensidades extremadamente pequeñas, del orden de decenas de nT. Nuestra hipótesis, como consecuencia de esta sensibilidad, es que una fracción de la actividad del sistema nervioso central de un individuo puede ser detectada magnéticamente por individuos cercanos. Incluso si restringimos el contenido de información de tales procesos a simples señales magnéticas que son recibidas inconscientemente por individuos sometidos a una exposición continua y cercana a estas señales, es probable que tiendan a asociar estas señales con el individuo transmisor, no menos de lo que ocurriría si tales señales fueran visuales o auditivas. Además, siguiendo lo que sucede cuando uno experimenta una exposición prolongada a estímulos visuales y sensoriales similares, se puede anticipar que tal asociación que ocurre magnéticamente eventualmente también permitirá que el individuo receptor se vincule con el individuo transmisor. Se pueden extrapolar fácilmente las observaciones de individuos aislados a grupos, encontrando explicaciones razonables para el comportamiento grupal en diversas situaciones sociales, incluidas las que ocurren en familias, manadas de animales, reuniones como las que se dan en conciertos, cines y estadios deportivos, disturbios y situaciones seleccionadas de depredadores/presas. El argumento desarrollado aquí no solo es coherente con la noción de un sentido magnético en los humanos, sino que también proporciona un nuevo enfoque para la hipersensibilidad electromagnética, sugiriendo que puede ser simplemente el resultado de una sobrecarga sensorial.

Liboff AR. Correlatos magnéticos en la conciencia electromagnética. Electromagn Biol Med. 2016;35(3):228-236. (opinión)

Examinamos la hipótesis de que la conciencia es una manifestación del campo electromagnético y encontramos factores de apoyo que no se habían considerado anteriormente. No es probable que los modos de señalización electrofisiológica tradicionales puedan transmitirse fácilmente por todo el cerebro para habilitar adecuadamente este campo debido al filtro de campo eléctrico que surge de la distribución ubicua de membranas lipídicas altamente dieléctricas, un problema que desaparece para los campos magnéticos de baja frecuencia. Muchos informes de las últimas décadas han proporcionado evidencia de que el tejido vivo es muy sensible a campos ultrapequeños (1-100 nT)

Los campos magnéticos ELF que se superponen al rango de frecuencia y a menudo se asocian con

Conciencia. Un ejemplo tomado del comportamiento animal (la bandada coherente de pájaros) respalda la posibilidad de una conciencia electromagnética incorpórea. A diferencia de las hipótesis de la conciencia cuántica, el enfoque actual está abierto a la experimentación.

Liboff AR. ¿El mapa geomagnético está impreso en el huevo preemergente? Electromagn Biol Med. 2016;35(2):167-169. (opinión)

Aunque se acepta ampliamente que el campo geomagnético (GMF) desempeña un papel importante en la orientación y la migración de los animales, aún quedan problemas clave sin resolver. Para explicar la desconcertante capacidad de las crías de emprender viajes migratorios inexplorados, planteamos la hipótesis de que las madres que ya han realizado el viaje facilitan el camino a sus crías mediante la transferencia directa de información de la ruta a sus huevos antes de la eclosión. El animal recién nacido registra el GMF local como punto de referencia antes de emprender el viaje que la madre le ha preparado. Este proceso representa un nuevo tipo de ciclo biológico que suavizó la necesidad de tratar cuestiones como el retorno natal y los parámetros de la ruta por separado.

(E) Liu DD, Ren Z, Yang G, Zhao QR, Mei YA. La melatonina protege a las células granulares del cerebelo de ratas contra los aumentos de las corrientes de Na^+ inducidos por el campo electromagnético a través de la liberación intracelular de Ca^{2+} . J Cell Mol Med. 18 de febrero de 2014. doi: 10.1111/jcmm.12250. [Publicado electrónicamente antes de su publicación impresa] (CS, AE, CC, OX)

Aunque se ha informado que la melatonina (MT) protege a las células contra el daño oxidativo inducido por la radiación electromagnética, pocos estudios han abordado si existen otros mecanismos de protección. En este trabajo, investigamos los efectos de la MT sobre la actividad de Nav inducida por campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) en células granulares cerebelosas (GC) de ratas.

La exposición de los GC cerebelosos a los campos electromagnéticos de ELF durante 60 min aumentó significativamente las densidades de la corriente Nav (I_{Na}) en un 62,5 %. El MT ($5 \mu\text{M}$) inhibió el aumento de I_{Na} inducido por los campos electromagnéticos de ELF. Este efecto inhibitorio del MT es imitado por un agonista del receptor MT2 y fue eliminado por un antagonista del receptor MT2. La curva de activación en estado estable del canal Nav se desplazó significativamente hacia la hiperpolarización por la estimulación con campos electromagnéticos de ELF, pero permaneció inalterada por el MT en los GC cerebelosos expuestos o no expuestos a los campos electromagnéticos de ELF. La exposición a los campos electromagnéticos de ELF aumentó significativamente los niveles intracelulares de PKA fosforilada en los GC cerebelosos, y tanto el MT como el IIC-7 no redujeron el aumento inducido por los campos electromagnéticos de ELF en la PKA fosforilada. Los efectos inhibidores del MT sobre la actividad de Nav inducida por los campos electromagnéticos de ELF se redujeron en gran medida por el inhibidor de calmodulina KN93. Las imágenes de calcio mostraron que el MT no aumentó el nivel basal intracelular de Ca^{2+} , pero sí elevó significativamente el nivel intracelular de Ca^{2+} provocado por la alta estimulación de K^+ en los GC cerebelosos expuestos o no a campos electromagnéticos de baja frecuencia (ELF-EMF). En presencia de rojo de rutenio, un bloqueador de receptores sensible a la rianodina, se redujo el aumento inducido por el MT en los niveles intracelulares de calcio.

Nuestros datos muestran por primera vez que el MT protege contra el I_{Na} neuronal que resulta de la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia muy baja (ELF) a través de la liberación de Ca^{2+} inducida por la entrada de Ca^{2+} .

(E) Liu H, Chen G, Pan Y, Chen Z, Jin W, Sun C, Chen C, Dong X, Chen K, Xu Z, Zhang S, Yu Y. (2014) Exposiciones a campos electromagnéticos ocupacionales asociadas con la calidad del sueño: un estudio transversal. PLoS ONE 9(10): e110825. doi:10.1371/journal.pone.0110825. (HU, CE, BE)

ANTECEDENTES: La exposición a los campos electromagnéticos (CEM) emitidos por los teléfonos móviles y otras máquinas afecta a la mitad de la población mundial y plantea el problema de su impacto en la salud humana. El presente estudio tiene como objetivo explorar los efectos de las exposiciones a los campos electromagnéticos en la calidad y la duración del sueño entre los trabajadores de una planta de energía eléctrica. MÉTODOS: Se realizó un estudio transversal en una planta de energía eléctrica de la provincia de Zhejiang, China. Se incluyeron un total de 854 participantes en el análisis final. La información detallada de los participantes fue obtenida por investigadores capacitados utilizando un cuestionario estructurado, que incluía características sociodemográficas, variables de estilo de vida, variables de sueño y exposiciones electromagnéticas. También se realizó un examen físico y una recolección de sangre venosa para cada sujeto del estudio. RESULTADOS: Después de agrupar la exposición electromagnética ocupacional diaria en tres categorías, los sujetos con un tiempo de exposición diaria prolongado tenían un riesgo significativamente mayor de mala calidad del sueño en comparación con aquellos con un tiempo de exposición diaria corto. Los odds ratios ajustados fueron 1,68 (IC del 95 %: 1,18, 2,39) y 1,57 (IC del 95 %: 1,10, 2,24) en todos los terciles. Además, entre los sujetos con exposición ocupacional a largo plazo, el tiempo ocupacional diario más prolongado aparentemente aumentó el riesgo de mala calidad del sueño (OR (IC del 95%): 2,12 (1,23 3,66) en el segundo tercil; 1,83 (1,07 3,15) en el tercer tercil). No hubo asociación significativa entre la duración de la exposición ocupacional a largo plazo, la tarifa eléctrica mensual o los años de uso del teléfono móvil con la calidad del sueño o la duración del sueño. CONCLUSIONES: Los hallazgos mostraron que la exposición ocupacional diaria a los CEM se asoció positivamente con una mala calidad del sueño. Esto implica que la exposición a los CEM puede dañar la calidad del sueño humano en lugar de la duración del sueño.

(E) Liu T, Wang S, He L, Ye K. Efecto ansiogénico de la exposición crónica a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja en ratas adultas. Neurosci Lett. 434(1):12-17, 2008a. (AS, CE, BE)

Estudios previos han sugerido algunas relaciones entre el campo magnético de frecuencia extremadamente baja (ELF MF) y el estado emocional de seres humanos y animales. El objetivo del presente estudio fue investigar si el nivel de ansiedad podría verse afectado por la exposición repetida a ELF MF de diferentes duraciones diarias. Las ratas SD adultas fueron sometidas a ninguna exposición, exposición a MF 1 h / día o 4 h / día durante 25 días. Se examinaron los comportamientos relacionados con la ansiedad en la prueba de campo abierto (OFT), la prueba del laberinto elevado en cruz (EPM) y la caja de luz / oscuridad en el 21, 23 y 25 día de exposición, respectivamente. Los resultados demostraron que la exposición a MF 4 h / día aumentó los comportamientos similares a la ansiedad en ratas en la prueba de campo abierto y la prueba del laberinto elevado en cruz, sin alterar su actividad locomotora, pero no tuvo efecto en la prueba de la caja de luz / oscuridad. Además, la exposición a MF 1 h / día no tuvo efecto en ninguna prueba. Estos hallazgos indican que la exposición crónica a MF ELF tiene un efecto ansiogénico en ratas, que depende de la duración de la exposición diaria y es más sensible al espacio vacío que a la luz fuerte.

(E) Liu T, Wang S, He L, Ye K. La exposición crónica a campos magnéticos de baja intensidad mejora la adquisición y el mantenimiento de la memoria. Neuroreport. 19(5):549-552, 2008b. (AS, CE, BE)

Aunque investigaciones anteriores han sugerido que la exposición aguda a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF MF) afecta la función de aprendizaje y memoria, los datos sobre la exposición crónica siguen siendo escasos. En este estudio, examinamos los cambios en el aprendizaje espacial y la memoria mediante la prueba del laberinto acuático de Morris después de 4 semanas de exposición diaria de ratas a un campo magnético de 50 Hz de 2 mT durante 1 o 4 h. Descubrimos que la exposición crónica a ELF MF redujo la latencia para encontrar la plataforma oculta y mejoró la memoria a largo plazo de la ubicación anterior de la plataforma sin afectar la memoria a corto plazo y la actividad motora. Estos hallazgos indican por primera vez que la exposición crónica a ELF MF ejerce un efecto positivo en la adquisición y el mantenimiento de la memoria espacial.

(E) Liu X, Zuo H, Wang D, Peng R, Song T, Wang S, Xu X, Gao Y, Li Y, Wang S, Wang L, Zhao L. Mejora del trastorno de la memoria espacial y del daño hipocampal por exposición a campos electromagnéticos en un modelo de rata con enfermedad de Alzheimer. PLoS One. 10(5):e0126963, 2015. (AS, CE, BE, FC, OX, MA)

Aunque algunas investigaciones epidemiológicas han demostrado una posible asociación entre la exposición prolongada a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) y la enfermedad de Alzheimer (EA), no existe ningún mecanismo razonable que pueda explicar esta asociación, y los experimentos con animales relacionados son escasos. En este estudio, se aplicó la exposición a ELF-EMF (50 Hz 400 μ T 60 d) combinada con D-galactosa intraperitoneal (50 mg/kg, qd, 42 d) e inyección de A β 25-35 en el hipocampo (5 μ l/ unilateral, bilateral, dosis única) para establecer un modelo complejo de rata. A continuación, se estudiaron los efectos de la exposición a ELF-EMF en el desarrollo de la EA utilizando el laberinto acuático de Morris, análisis patológico y proteómica comparativa. Los resultados mostraron que la exposición a ELF-EMF retrasó el aumento de peso de las ratas y mejoró parcialmente los síntomas cognitivos y clinicopatológicos de las ratas con EA. Los resultados del análisis proteómico diferencial sugieren que la transmisión sináptica, el estrés oxidativo, la degradación de proteínas, el metabolismo energético, la agregación de Tau y la inflamación están implicados en los efectos mencionados anteriormente. Por lo tanto, nuestros hallazgos indican que ciertas condiciones de exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF) podrían retrasar el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer en ratas.

(E) Lozano-Soto E, Soto-León V, Sabbarese S, Ruiz-Alvarez L, Sanchez-Del-Rio M, Aguilar J, Strange BA, Foffani G, Oliviero A. Campo magnético estático transcraneal
La estimulación (tSMS) de la corteza visual disminuye la fobia experimental.
Cefalalgia. 38(8):1493-1497, 2018. (HU, AE, BE, MA)

Antecedentes La estimulación transcraneal con campo magnético estático (tSMS) reduce la excitabilidad cortical en humanos. Métodos El objetivo de este estudio fue determinar si la tSMS sobre la corteza occipital es eficaz para reducir la fobia experimental. En un estudio doble ciego cruzado controlado con placebo, se aplicó tSMS (o placebo) durante 10 minutos con un imán cilíndrico en el occipucio de 20 sujetos sanos. Evaluamos el malestar subjetivo inducido por estímulos visuales de baja y alta intensidad presentados en una habitación oscura antes, durante y después de la tSMS (o placebo). Resultados En comparación con el placebo, la tSMS redujo significativamente el malestar inducido por estímulos luminosos de alta intensidad. Conclusiones La corteza visual puede contribuir al malestar visual en

fotofobia experimental, lo que proporciona una justificación para investigar la tSMS como un posible tratamiento para la fotofobia en la migraña.

(E) Lundberg L, Sienkiewicz Z, Anthony DC, Broom KA. Efectos de los campos magnéticos de 50 Hz en el control del ritmo circadiano en ratones. *Bioelectromagnetismo*. 40(4):250-259, 2019. (AS, AE, BE)

La luz artificial y los campos magnéticos de frecuencia industrial son omnipresentes en el entorno construido. La luz es un potente zeitgeber, pero no está claro si los campos magnéticos de frecuencia industrial pueden influir en el control del ritmo circadiano. Para estudiar esta posibilidad, se realizaron experimentos de 8 a 12 horas. Se expusieron ratones macho C57BL/6J de una semana de edad durante 30 min a partir del tiempo zeitgeber 14 (ZT14, 2 h en el período oscuro del día) a campos magnéticos de 50 Hz a 580 μ T utilizando un par de bobinas de Helmholtz y/o una luz LED azul a 700 lux o ninguna. Nuestros experimentos revelaron una respuesta suprarrenal aguda a la luz azul, en términos de aumento de la expresión del gen *per1* suprarrenal, aumento de los niveles séricos de corticosterona, aumento del tiempo de sueño y disminución de la actividad locomotora (en todos los casos, $P < 0,0001$) en comparación con un grupo de control no expuesto. No pareció haber ningún efecto modulador de los campos magnéticos en la respuesta a la luz, y tampoco hubo ningún efecto de los campos magnéticos solos (en ambos casos, $P > 0,05$) excepto por una disminución de la actividad locomotora ($P < 0,03$). La expresión génica de los criptocromos *cry1* y *cry2* en las glándulas suprarrenales, el hígado y el hipocampo tampoco se vio afectada por las exposiciones (en todos los casos, $P > 0,05$). En conclusión, estos resultados sugieren que los campos magnéticos de 50 Hz no afectan significativamente la respuesta luminosa aguda en un grado que pueda detectarse en la respuesta suprarrenal.

(E) Ma Q, Chen C, Deng P, Zhu G, Lin M, Zhang L, Xu S, He M, Lu Y, Duan W, Pi H, Cao Z, Pei L, Li M, Liu C, Zhang Y, Zhong M, Zhou Z, Yu Z. Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja promueven la diferenciación neuronal in vitro y el crecimiento de neuritas de células madre neuronales embrionarias mediante la regulación positiva de TRPC1. *PLoS One*. 11(3):e0150923, 2016. (ES, CE, MC, DE)

La exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) puede mejorar la neurogénesis hipocampal en ratones adultos. Sin embargo, se ha prestado poca atención a los efectos de los ELF-EMF en la neurogénesis embrionaria. En este trabajo, estudiamos los posibles efectos de los ELF-EMF en las células madre neuronales embrionarias (eNSC). Exponimos las eNSC a ELF-EMF (50 Hz, 1 mT) durante 1, 2 y 3 días con 4 horas por día. Descubrimos que la proliferación y el mantenimiento de las eNSC mejoraron significativamente después de la exposición a ELF-EMF en un medio de proliferación. La exposición a ELF-EMF aumentó la proporción de neuronas diferenciadas y promovió el crecimiento de neuritas de neuronas derivadas de eNSC sin influir en la diferenciación de astrocitos y la apoptosis celular. Además, la expresión de los genes proneurales, *NeuroD* y *Ngn1*, que son cruciales para la diferenciación neuronal y el crecimiento de las neuritas, aumentó después de la exposición a los campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF). Además, la expresión del receptor de potencial transitorio canónico 1 (TRPC1) aumentó significativamente, acompañada de un aumento de la amplitud máxima del nivel de calcio intracelular inducido por los campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF). Además, el silenciamiento de la expresión de TRPC1 eliminó la regulación positiva de los genes proneurales y la promoción de la diferenciación neuronal y el crecimiento de las neuritas inducido por los campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF).

Estos resultados sugieren que la exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia promueve la diferenciación neuronal.

y el crecimiento de las neuritas de las células madre neurales a través de la regulación positiva de la expresión de TRPC1 y de los genes proneurales (NeuroD y Ngn1). Estos hallazgos también brindan nuevos conocimientos para comprender los efectos de la exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF) en el desarrollo cerebral embrionario.

(E) Maaroufi K, Ammari M, Elferchichi M, Poucet B, Sakly M, Save E, Abdelmelek H.

Efectos de la administración combinada de sulfato ferroso y exposición a un campo magnético estático sobre el aprendizaje espacial y las habilidades motoras en ratas. Brain Inj 27(4):492-499, 2013.(AS, CE, BE)

Objetivo principal: La exposición ocupacional a campos magnéticos estáticos (CME) aumenta, en particular debido al uso generalizado de imágenes por resonancia magnética (IRM) para diagnóstico médico, lo que genera preocupaciones de salud. Este estudio investigó los efectos conductuales de 128 mT CME en ratas y examinó la hipótesis de que la suplementación con hierro (3 mg kg⁻¹) durante 5 días potencia los efectos de CME. Métodos: Se evaluaron las habilidades de aprendizaje espacial en el laberinto de agua, la coordinación motora en el rotarod y las habilidades motoras en las pruebas de viga estacionaria y cuerda suspendida en ratas tratadas con hierro, expuestas a CME y coexpuestas a CME-hierro. Resultados: La adquisición de la tarea de navegación en el laberinto de agua no se vio afectada en todos los grupos. Las ratas expuestas a CME y tratadas con hierro mostraron un déficit en la prueba de retención de 7 días. No se encontró déficit en las pruebas de rotarod y cuerda suspendida en todos los grupos. Solo las ratas tratadas con hierro se vieron afectadas en la prueba de viga estacionaria. Una combinación de tratamientos con hierro y SMF no produjo una degradación adicional del rendimiento en todas las pruebas. Conclusión: la exposición a SMF no tuvo un efecto masivo, pero afectó la memoria espacial a largo plazo. La suplementación con hierro y 128 mT de SMF no tuvo efectos sinérgicos.

(E) Madjid Ansari A, Farzampour S, Sadr A, Shekarchi B, Majidzadeh-A K. Efectos a corto y largo plazo del campo magnético de frecuencia extremadamente baja en el trastorno depresivo en ratones: participación de la vía del óxido nítrico. Life Sci. 146:52-57, 2016. (AS, AE, CE, BE, OX)

OBJETIVOS: Informes previos sobre los posibles efectos de los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF MF) en el estado de ánimo han sido paradójicos en diferentes entornos, mientras que aún no se ha realizado ningún estudio sobre el comportamiento animal. Además, se demostró que **la exposición a ELF MF produce un aumento en el nivel de óxido nítrico cerebral. Por lo tanto, en el estudio actual,** nuestro objetivo fue evaluar los posibles efectos de la exposición a ELF MF en la Prueba de Natación Forzada (FST) de ratones y evaluar el papel probable del aumento del nivel de óxido nítrico en el comportamiento observado. MÉTODOS PRINCIPALES: Se reclutaron ratones adultos machos NMRI para investigar la exposición a ELF MF a corto y largo plazo (0,5 mT y 50 Hz, una sola 2 h y 2 semanas 2 h al día). El comportamiento locomotor se evaluó utilizando la prueba de campo abierto (OFT) seguida de FST para evaluar el tiempo de inmovilidad. En consecuencia, se utilizó N^ω-nitro-L-arginina metil éster 30 mg/kg para ejercer un efecto similar al antidepressivo. RESULTADOS CLAVE: Según los resultados, la exposición a corto plazo no alteró el tiempo de inmovilidad, mientras que la exposición a largo plazo reduce significativamente el tiempo de inmovilidad (p<0,01). Sin embargo, se reveló que la locomoción no difirió entre todos los grupos experimentales. La exposición a corto plazo revirtió el efecto antidepressivo resultante de 30 mg/kg de N^ω-nitro-L-arginina metil éster (p<0,01). SIGNIFICADO: Se ha concluido que la exposición a largo plazo podría alterar el trastorno depresivo en ratones, mientras que la exposición a corto plazo no tiene un efecto significativo. Además, la reversión de la actividad antidepressiva de L-NAME indica un probable aumento del óxido nítrico cerebral.

(E) Maes A, Anthonissen R, Wambacq S, Simons K, Verschaeve L. El ensayo del citome como herramienta para investigar la posible asociación entre la exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja y un mayor riesgo de enfermedad de Alzheimer. J Alzheimers Dis. 50(3):741-749, 2016. (CS, AE, MC, ND)

La exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) se ha identificado como uno de los posibles factores de riesgo ambientales para la enfermedad de Alzheimer (EA). Sin embargo, esto está lejos de ser establecido. Hasta ahora no hay evidencia experimental que respalde esta supuesta asociación. Hemos realizado una investigación de laboratorio citogenética in vitro para explorar la plausibilidad de dicha asociación. Nuestra investigación se basó en posibles similitudes encontradas en células de pacientes con EA y en células expuestas a ELF-MF.

En particular, hemos descubierto que los campos electromagnéticos de 50 Hz aumentan la frecuencia de las células con micronúcleos (grandes) y brotes nucleares, lo que indica que los campos superiores a 50 μ T pueden inducir inestabilidades cromosómicas como las que se encuentran en los pacientes con EA. Cabe destacar que los resultados de los pocos estudios experimentales publicados sobre los campos electromagnéticos de 50 Hz y la EA son bastante tranquilizadores. Por lo tanto, nuestros hallazgos no prueban nada, solo sugieren que podrían ser necesarias más investigaciones.

(E) Maestú C, Blanco M, Nevado A, Romero J, Rodríguez-Rubio P, Galindo J, Bautista Lorite J, de las Morenas F, Fernández-Argüelles P. Reducción del umbral del dolor en la fibromialgia tras estimulación magnética de muy baja intensidad: ensayo clínico doble ciego, aleatorizado y controlado con placebo. Pain Res Manag. 18(6):e101-106, 2013. (HU, BE, MA)

ANTECEDENTES: Se ha informado que la exposición a campos electromagnéticos tiene efectos analgésicos y antinociceptivos en varios organismos. Objetivo: Probar el efecto de la estimulación magnética transcraneal de muy baja intensidad sobre los síntomas asociados con el síndrome de fibromialgia.

MÉTODOS: Se realizó un ensayo clínico doble ciego, controlado con placebo en el Hospital Sagrado Corazón, Sevilla, España. Pacientes de fibromialgia de sexo femenino (de 22 a 50 años de edad) fueron asignadas aleatoriamente a un grupo de estimulación o a un grupo de tratamiento simulado. El grupo de estimulación (n=28) fue estimulado utilizando campos magnéticos pulsados de 8 Hz de muy baja intensidad, mientras que el grupo de tratamiento simulado (n=26) se sometió al mismo protocolo sin estimulación. Los umbrales de dolor por presión antes y después de la estimulación se determinaron utilizando un algómetro durante las ocho sesiones semanales consecutivas del ensayo. Además, se midieron los niveles de serotonina en sangre y los pacientes completaron cuestionarios para controlar la evolución de los síntomas. RESULTADOS: Un ANOVA de medidas repetidas indicó una mejoría estadísticamente significativa en el grupo de estimulación en comparación con el grupo de control con respecto a los umbrales de dolor somatosensorial, la capacidad para realizar actividades diarias, el dolor crónico percibido y la calidad del sueño. Si bien la mejoría en los umbrales de dolor fue evidente después de la primera sesión de estimulación, la mejoría en las otras tres medidas se produjo después de la sexta semana. No se observaron diferencias significativas entre los grupos en las puntuaciones de depresión, fatiga, gravedad de los dolores de cabeza o niveles de serotonina. No se informaron efectos secundarios adversos en ninguno de los pacientes. CONCLUSIONES: La estimulación magnética de muy baja intensidad puede representar un tratamiento seguro y eficaz para el dolor crónico y otros síntomas asociados con la fibromialgia.

(E) Mahdavi SM, Sahraei H, Yaghmaei P, Tavakoli H. Efectos de la exposición a la radiación electromagnética en los comportamientos relacionados con el estrés y las hormonas del estrés en ratas Wistar macho. *Biomol Ther (Seúl)*. 22(6):570-576, 2014. (AS, AE, CE, CC, BE)

Los estudios han demostrado que las ondas electromagnéticas, como uno de los factores físicos más importantes, pueden alterar los comportamientos cognitivos y no cognitivos, dependiendo de la frecuencia y la energía. Además, la radiación no ionizante de ondas de baja energía, por ejemplo, las ondas de frecuencia muy baja, podrían alterar este fenómeno a través de alteraciones en los neurotransmisores y neurohormonas. En este estudio, se estudió la exposición a corto, mediano y largo plazo al campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) (radiación de 1 y 5 Hz) en cambios conductuales, hormonales y metabólicos en ratas Wistar macho (250 g). Además, se evaluaron los cambios en las concentraciones plasmáticas de dos hormonas del estrés principales, la noradrenalina y la hormona adrenocorticotrópica (ACTH). La exposición a ELF-EMF no alteró el peso corporal ni la ingesta de alimentos y agua. El nivel de glucosa plasmática aumentó y disminuyó en los grupos que se expusieron a la onda de 5 y 1 Hz, respectivamente. La concentración plasmática de ACTH aumentó en ambas frecuencias de uso, mientras que la concentración de noradrenalina mostró una reducción general. Por último, el número de actividades de levantarse, olfateo y locomotoras aumentó en el grupo que recibió ondas de 5 Hz a lo largo del tiempo. En conclusión, estos datos mostraron que los efectos de 1 y 5 Hz en los comportamientos hormonales, metabólicos y similares al estrés pueden ser diferentes. Además, la influencia de las ondas en el sistema de estrés depende del tiempo de exposición.

(E) Mahdavi SM, Sahraei H, Rezaei-Tavirani M, Najafi Abedi A. Alteraciones comunes de la conducta después de la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja en un modelo animal de rata. *Electromagn Biol Med*. 35:222-227, 2016. (AS, CE, BE)

Naturalmente, la presencia de ondas electromagnéticas en nuestro entorno vital afecta a todos los componentes de los organismos, en particular a los humanos y a los animales, ya que la mayor parte de su cuerpo está formada por agua. En el presente estudio, intentamos investigar la relación entre la exposición al campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) y comportamientos comunes como el peso corporal, la ingesta de alimentos y agua, la anorexia (falta de apetito), la concentración de glucosa plasmática, el movimiento, el encabritado y el olfateo en ratas. Para este propósito, las ratas fueron expuestas a 40 Hz ELF-EMF una vez al día durante 21 días, luego, los días 1, 3, 7, 14 y 21 después de la exposición, se evaluaron los cambios en los elementos mencionados anteriormente en las ratas expuestas y se compararon con el grupo no expuesto como control. El peso corporal de las ratas irradiadas aumentó significativamente solo una semana después de la exposición y disminuyó después de eso. No se observó ningún cambio significativo en la ingesta de alimentos y agua de las ratas irradiadas en comparación con el grupo de control, y el parámetro de anorexia en el grupo expuesto a los campos electromagnéticos de muy baja frecuencia disminuyó significativamente una y dos semanas después de la irradiación. Una semana después de la exposición, el nivel de glucosa aumentó significativamente, pero en los otros días estos cambios no fueron significativos. Los movimientos, el encabritamiento y el olfateo de las ratas en el día 1 después de la exposición disminuyeron significativamente y en los otros días estos cambios no siguieron ningún patrón particular. Sin embargo, el resultado de este estudio demostró que la exposición a los campos electromagnéticos de muy baja frecuencia puede alterar la condición normal de los animales y puede representar un impacto perjudicial en el comportamiento.

(E) Maldonado-Moreles A, Córdova-Fraga T, Bonilla-Jaime H, López-Camacho PY, Basurto-Islas El campo magnético de vórtice de baja frecuencia reduce la agregación de β amiloide,

Aumenta la viabilidad celular y protege de la toxicidad del β amiloide. Electromagn Biol Med 40: 191-200, 2020. (CS, AE, CC)

Las placas formadas por la acumulación anormal de péptido β amiloide ($A\beta$) conducen a la aparición de la enfermedad de Alzheimer (EA). Los tratamientos farmacológicos no reducen la agregación de $A\beta$ ni restauran el aprendizaje y la memoria. Las técnicas no invasivas han surgido como una alternativa para tratar la EA, como la estimulación con campos electromagnéticos (CEM) que disminuyen la deposición de $A\beta$ y revierten el deterioro cognitivo en ratones con EA, aunque algunos estudios han mostrado efectos secundarios en la estimulación con campos magnéticos paralelos. Como un nuevo enfoque de estimulación con campos magnéticos (CM), se han probado los campos magnéticos de vórtice (CMV) que inducen un movimiento aleatorio de biomoléculas cargadas en las células, promoviendo la viabilidad celular y aparentemente más seguros que los campos magnéticos paralelos. En este estudio demostramos el efecto del VMF en la agregación de $A\beta$. La estrategia experimental incluye: i) diseño y construcción de una espiral capaz de inducir VMF, ii) evaluación de la estimulación con VMF en la formación de fibrillas inducida por el péptido $A\beta$, iii) evaluación de la estimulación con VMF en la línea celular de neuroblastoma SH-SY5Y en presencia del péptido $A\beta$. Demostramos por primera vez que la agregación de $A\beta$ expuesta a VMF durante 24 h disminuyó aproximadamente el 86 % de la formación de fibrillas de $A\beta$ en comparación con el control. Asimismo, la estimulación con VMF redujo la citotoxicidad de las fibrillas de $A\beta$ y aumentó la viabilidad celular de SH-SY5Y. Estos datos establecen las bases para futuras investigaciones que involucran al VMF como inhibidor de la patología $A\beta$ e indican el potencial terapéutico del VMF para el tratamiento de la EA.

(E) Manikonda PK, Rajendra P, Devendranath D, Gunasekaran B, Channakeshava, Aradhya RS, Sashidhar RB, Subramanyam C. Influencia de campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja en la señalización de Ca^{2+} y las funciones del receptor NMDA en el hipocampo de rata. Neurosci Lett. 413(2):145-149, 2007. (AS, CE, CC)

Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF <300 Hz) afectan varias actividades neuronales, incluida la memoria. Debido a que los campos magnéticos ELF causan una alteración de la homeostasis del Ca^{2+} en los tejidos neuronales, examinamos su influencia en las enzimas de señalización del Ca^{2+} en el hipocampo y las relacionamos con las funciones del receptor NMDA. Las regiones del hipocampo se obtuvieron de cerebros de 21-Ratas de un día de edad expuestas durante 90 días a campos magnéticos de 50 Hz a intensidades de 50 y 100 microT. En comparación con los controles, la exposición a ELF provocó un aumento de los niveles intracelulares de Ca^{2+} concomitante con un aumento de las actividades de la proteína quinasa C dependiente de Ca^{2+} (PKC), la proteína quinasa dependiente de AMPc y la calcineurina, así como una disminución de la actividad de la proteína quinasa dependiente de Ca^{2+} -calmodulina en las regiones del hipocampo. Los estudios simultáneos de unión de ligandos revelaron una disminución de la unión a los receptores de ácido N-metil-D-aspartico (NMDA). Los resultados combinados sugieren que las funciones neuronales perturbadas causadas por la exposición a ELF pueden implicar eventos de señalización de Ca^{2+} alterados que contribuyen a actividades aberrantes del receptor NMDA.

(E) Manikonda PK, Rajendra P, Devendranath D, Gunasekaran B, Channakeshava, Aradhya SR, Sashidhar RB, Subramanyam C. Los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja inducen estrés oxidativo en el cerebro de rata. Gen Physiol Biophys. 33:81-90, 2014. [Epub antes de la impresión] (AS, CE, OX, CC)

La presente investigación se realizó para comprender la influencia de la exposición a largo plazo de ratas a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF), centrándose en el estrés oxidativo (EO)

Diferentes regiones del cerebro de ratas. Se expusieron ratas Wistar macho (de 21 días de edad) a ELF-MF (50 Hz; 50 y 100 μ T) durante 90 días de forma continua; se analizaron las regiones hipocámpal, cerebelosa y cortical de las ratas en busca de (i) especies reactivas de oxígeno (ROS), (ii) metabolitos indicativos de OS y (iii) enzimas antioxidantes. En comparación con las ratas del grupo de control, las ratas que estuvieron expuestas de forma continua a ELF-MF provocaron OS y alteraron los niveles de glutatión (GSH/GSSG) de manera dependiente de la dosis en todas las regiones del cerebro. La acumulación de ROS, productos finales de peroxidación lipídica y actividad de superóxido dismutasa en diferentes regiones se realizó en orden descendente de cerebelo < hipocampo < corteza. La disminución de los niveles de GSH/GSSG y el aumento de la actividad de glutatión peroxidasa se realizaron en orden descendente de hipocampo < cerebelo < corteza. La exposición continua a ELF-MF provocó OS en todas las regiones examinadas del cerebro de manera más significativa a 100 μ T que a 50 μ T. Las influencias variadas observadas en diferentes regiones del cerebro, como se documenta en este estudio, pueden contribuir a patrones metabólicos alterados en sus regiones relacionadas del sistema nervioso central, lo que conduce a funciones neuronales aberrantes.

(E) Manjhi J, Kumar S, Behari J, Mathur R. Efecto del campo magnético de frecuencia extremadamente baja en la prevención de la osteoporosis inducida por lesión de la médula espinal. J Rehabil Res Dev. 50(1):17-

30 de diciembre de 2013. (Licenciatura, Certificación, Maestría)

El presente estudio fue diseñado para investigar el efecto del campo magnético (MF) de frecuencia extremadamente baja (ELF) en la osteoporosis inducida por lesión de la médula espinal (LME) en ratas. Las ratas Wistar macho adultas ($n = 24$) se dividieron equitativamente en grupos simulados, LME y LME + MF. La transección completa de la médula espinal (11 vértebras torácicas) se realizó quirúrgicamente bajo anestesia, mientras que en el grupo simulado solo se realizó laminectomía. El día 1 posterior a la LME, las ratas fueron expuestas (2 h/d $\times$ 8 semanas) a ELF-MF (17,96 micro-Tesla, 50 Hz; grupo LME + MF) o expuestas simuladas (grupo LME). La puntuación de Basso, Beattie y Bresnahan (BBB) se registró semanalmente. Todas las ratas fueron sacrificadas 8 semanas después de la LME; Se aislaron los huesos de la tibia y el fémur para el análisis del contenido mineral óseo (BMC; calcio total [Ca], fósforo [P], carbono [C]), la densidad mineral ósea (BMD) y el estado bioquímico (osteocalcina, colágeno I, fosfatasa alcalina). La puntuación BBB disminuyó después de la LME, que se recuperó parcialmente después de la ELF-MF. En las ratas con LME, hubo una disminución estadísticamente significativa en el BMC, Ca, P, C, BMD y el nivel bioquímico en ambos huesos en comparación con el grupo simulado, que se atenuó en las ratas con LME + MF excepto el contenido de C. El estudio con microscopio electrónico reveló la mejora de la composición microestructural y la compacidad en las partes corticales y trabeculares de los huesos tratados. Los resultados sugieren que la exposición crónica (2 h/d $\times$ 8 semanas) a ELF-MF (17,96 micro-Tesla, 50 Hz) a ratas con LME es eficaz para atenuar la osteoporosis inducida por LME.

(E) Marchesi N, Osera C, Fassina L, Amadio M, Angeletti F, Morini M, Magenes G, Venturini L, Biggiogera M, Ricevuti G, Govoni S, Caorsi S, Pascale A, Comincini S.

La autofagia se modula en células de neuroblastoma humano a través de la exposición directa a campos electromagnéticos de baja frecuencia. J Cell Physiol. 229(11):1776-1786, 2014. (CS, AE, CC, ND, MA)

En las enfermedades neurodegenerativas, incluida la enfermedad de Alzheimer (EA), la alteración funcional de la autofagia se considera una de las características patológicas y un objetivo terapéutico prometedor.

Las investigaciones epidemiológicas sobre las posibles causas que provocan estas enfermedades han

sugirieron que la exposición a campos electromagnéticos (CEM) puede contribuir a su etiología. Por otro lado, los CEM tienen implicaciones terapéuticas en la reactivación de la funcionalidad neuronal. Para aclarar parcialmente este dualismo, se investigó el efecto de los CEM de baja frecuencia (LF-CEM) en la modulación de la autofagia en células de neuroblastoma humano SH-SY5Y, que también fueron expuestas posteriormente a péptidos A β , actores clave en la EA. Los resultados apuntan principalmente a que los CEM de baja frecuencia inducen una reducción significativa de la expresión de microRNA 30a (miR-30a) con un aumento concomitante de la transcripción de Beclin1 (BECN1) y su proteína correspondiente. Además, los CEM de baja frecuencia contrarrestan la regulación positiva inducida de miR-30a en las mismas células transfectadas con moléculas precursoras imitadoras de miR-30a y, por otro lado, rescatan la expresión de Beclin1 después del tratamiento con siRNA de BECN1. También se visualizó la expresión de marcadores relacionados con la autofagia (ATG7 y LC3B-II), así como la dinámica de la formación de autofagosomas, tras la exposición a LF-EMF. Por último, se ensayaron diferentes protocolos de tratamientos repetidos con LF-EMF para contrastar los efectos de la administración in vitro de péptidos A β . En general, esta investigación demuestra, por primera vez, que tratamientos específicos con LF-EMF pueden modular in vitro la expresión de una secuencia de microARN, que a su vez afecta a la autofagia a través de la expresión de Beclin1. Teniendo en cuenta el papel fundamental de la autofagia en la eliminación de agregados proteicos dentro de las células, nuestros resultados indican un posible efecto citoprotector ejercido por LF-EMF en enfermedades neurodegenerativas como la EA.

(E) Martínez-Sámano J, Torres-Durán PV, Juárez-Oropeza MA, Verdugo-Díaz L. Efecto de la exposición aguda a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja sobre el estado antioxidante y los niveles de lípidos en cerebro de rata. Arch Med Res. 43(3):183-189, 2012. (AS, AE, CC, OX)

ANTECEDENTES Y OBJETIVOS: Se acepta generalmente que los campos electromagnéticos (CEM) pueden ejercer efectos biológicos; sin embargo, aún se desconocen los mecanismos por los cuales los CEM provocan respuestas. El presente estudio fue diseñado para evaluar los efectos inmediatos de la exposición aguda a los campos electromagnéticos, la restricción del movimiento y la combinación de ambos sobre los sistemas antioxidantes y el contenido lipídico en todo el cerebro de ratas. MÉTODOS: Treinta y dos ratas Wistar macho se organizaron en cuatro grupos: control, expuestas a los campos electromagnéticos, con restricción del movimiento (MR) y con campos electromagnéticos + MR durante 2 h. Luego se sacrificaron las ratas y se analizaron sus cerebros para determinar la actividad de la superóxido dismutasa y la catalasa, los niveles de glutatión reducido, óxido nítrico, colesterol total y triacilglicerol, así como las concentraciones plasmáticas de corticosterona. RESULTADOS: La exposición aguda a los campos electromagnéticos induce una reducción de la actividad de la catalasa y la superóxido dismutasa, mientras que la combinación de campos electromagnéticos + MR también disminuye los niveles de glutatión reducido y óxido nítrico. Nuestros resultados muestran que la exposición aguda a los campos electromagnéticos no induce una elevación de la hormona del estrés corticosterona, pero sí altera el estado antioxidante en el cerebro de las ratas. CONCLUSIONES: Concentración plasmática de corticosterona y datos antioxidantes

indican que la exposición aguda a los campos electromagnéticos parece ser un factor estresante leve que conduce a algunas respuestas adaptativas debido a la activación de los sistemas que controlan el equilibrio oxidativo del cerebro.

(E) Masoudian N, Riazi GH, Afrasiabi A, Modaresi SM, Dadras A, Rafiei S, Yazdankhah M, Lyaghi A, Jarah M, Ahmadian S, Seidkhani H. Variaciones de la concentración de glutamato dentro de la hendidura sináptica en presencia de campos electromagnéticos: un estudio de redes neuronales artificiales. Neuroquímica Res. 40(4):629-642, 2015. (CS, AE, CC, MA)

El glutamato es un neurotransmisor excitatorio que se libera en la mayoría de las sinapsis del sistema nervioso central y está involucrado en los procesos de desarrollo, funciones cognitivas, aprendizaje y

memoria. Concentraciones elevadas excesivas de Glu en la hendidura sináptica resultan en apoptosis de células neuronales que se llama excitotoxicidad causante de enfermedades neurodegenerativas. Por lo tanto, investigamos la posibilidad de campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) como un factor de riesgo que puede cambiar la concentración de Glu en la hendidura sináptica. Los sinaptosomas como modelo de terminal nerviosa se expusieron a ELF-EMF durante 15-55 minutos en un rango de intensidad de flujo de 0,1 a 2 mT y un rango de frecuencia de 50 a 230 Hz. Finalmente, todos los datos brutos mediante el software INForm v4.02 como un programa de red neuronal artificial se analizaron para predecir el efecto de todo el rango de espectros mencionado. Los resultados mostraron la tolerancia de todos los efectos entre los rangos de -35 a +40% en comparación con el estado normal cuando los sistemas glutamatérgicos se exponen a ELF-EMF. Indica que el sistema glutamatérgico intenta compensar los cambios ambientales a través de la liberación o recaptación para mantener el sistema seguro. Teniendo en cuenta el amplio rango de ELF-EMF adquiridos en este estudio, los resultados obtenidos tienen potencial para desarrollar tratamientos basados en ELF-EMF para algunas enfermedades neurológicas; sin embargo, serían necesarios experimentos in vivo sobre las respuestas de reticulación entre los sistemas glutamatérgicos y colinérgicos en presencia de ELF-EMF.

No hay respuesta al daño del ADN y cambios transcripcionales insignificantes en todo el genoma de células madre embrionarias humanas expuestas a radiación de terahercios.

(E) Mastrodonato A, Barbatì SA, Leone L, Colussi C, Gironi K, Rinaudo M, Piacentini R, Denny CA, Grassi C. La memoria olfativa se mejora en ratones expuestos a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja a través de la modulación dependiente de Wnt/ β -catenina de la neurogénesis de la zona subventricular. *Sci Rep* 8(1):262, 2018. (AS, CE, BE)

La exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELFEF) influye en la expresión de genes diana clave que controlan la neurogénesis adulta y modula la memoria dependiente del hipocampo. En este trabajo, analizamos si la estimulación con ELFEF afecta la memoria olfativa modulando la neurogénesis en la zona subventricular (SVZ) del ventrículo lateral, e investigamos los mecanismos moleculares subyacentes. Descubrimos que 30 días después de completar un protocolo de estimulación con ELFEF (1 mT; 50 Hz; 3,5 h/día durante 12 días), los ratones mostraron una memoria olfativa mejorada y un aumento de la neurogénesis en la SVZ. Estos efectos se asociaron con una expresión aumentada de los ARNm que codifican reguladores clave de la neurogénesis adulta y dependían principalmente de la activación de la vía Wnt. De hecho, la estimulación con ELFEF aumentó la expresión del ARNm de Wnt3 y la localización nuclear de su diana descendente, la β -catenina. Por el contrario, la inhibición de Wnt3 por Dkk-1 impidió la sobreexpresión inducida por ELFEF de los genes neurogénicos y eliminó los efectos de ELFEF sobre la memoria olfativa. En conjunto, nuestros hallazgos sugieren que la estimulación con ELFEF aumenta la memoria olfativa a través de una mejor señalización de Wnt/ β -catenina en la zona del nervio vago y señalan a ELFEF como una herramienta prometedora para mejorar la neurogénesis y la función olfativa de la zona del nervio vago.

(NE) Masuda H, de Gannes FP, Haro E, Billaudel B, Ruffié G, Lagroye I, Veyret B. Falta de efecto de la exposición a campos magnéticos de 50 Hz sobre la afinidad de unión de la serotonina por el subtipo de receptor 5-HT 1B. *Brain Res.* 1368:44-51, 2011. (CS, AE, CC)

Existe cierta preocupación por la posibilidad de que la exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (MF) cause efectos adversos para la salud a través de las vías de transducción de señales. Dos estudios previos informaron que la exposición a MF de 50 Hz disminuyó la afinidad de unión del subtipo de receptor 1B de serotonina (5-HT) en las membranas cerebrales de ratas. El objetivo de este estudio fue investigar si la exposición a

MF afecta la unión al receptor 5-HT(1B) y una función fisiológica asociada con 5-Activación del receptor HT(1B). Fracciones de membrana cruda de cerebro de rata, incluyendo el receptor 5-HT(1B) y células gliales C6 transfectadas con el gen del receptor 5-HT(1B) humano, fueron expuestas a MF de 50 Hz a 1 mT utilizando bobinas Merritt bajo condiciones de temperatura regulada. En la membrana cruda de rata, no hubo diferencia significativa en la constante de afinidad de [(3)H]-5-HT entre la exposición (K(d): $0,92 \pm 0,38$ nM) y la exposición simulada (K(d): $1,00 \pm 0,32$ nM). La falta de cambio de afinidad después de la exposición también se confirmó utilizando un agonista químico del receptor 5-HT, [(3)H]-5-carboxitriptamina (K(d): $0,59 \pm 0,06$ nM para los expuestos y $0,71 \pm 0,08$ nM para los simulados). Se obtuvieron resultados negativos similares en términos de constante de afinidad en el receptor 5-HT(1B) humano en células gliales C6. Además, la producción de AMPc estimulada por forskolina fue inhibida por la administración de 5-HT de manera dependiente de la dosis en células gliales C6, pero la exposición no modificó la respuesta inhibitoria. Por lo tanto, este estudio no pudo confirmar los resultados anteriores y los hallazgos sugieren que la exposición a MF por debajo del límite ocupacional actual no afecta la respuesta fisiológica. función implicada en los subtipos del receptor 5-HT(1B).

(E) Medina-Fernandez FJ, Escribano BM, Agüera E, Aguilar-Luque M, Feijoo M, Luque E, García-Maceira FI, Pascual-Leone A, Drucker-Colin R, Tunes I. Efectos de la estimulación magnética transcraneal sobre el estrés oxidativo en la encefalomiелitis autoinmune experimental. Res. de radicales libres. Mayo de 2017;51(5):460-469, 2017. (AS, CE, MC, OX, ND, MA)

La encefalomiелitis autoinmune experimental (EAE) reproduce un modelo experimental similar a la esclerosis múltiple (EM). El objetivo principal fue evaluar el efecto de la aplicación de campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (EL-EMF), como paradigma de estimulación magnética transcraneal (TMS) en el desarrollo de la EAE. Se inyectó a ratas una dosis única de 150 µg de glicoproteína de oligodendrocitos de mielina (MOG, fragmento 35-55) para producir EM experimental. Para evaluar el efecto de la aplicación de TMS en la EAE, las ratas fueron tratadas con TMS (60 Hz y 0,7 mT) durante 2 h por la mañana, una vez al día, 5 días a la semana, durante 3 semanas. La TMS se aplicó en la cabeza.

Se evaluó el efecto de la TMS sobre la EAE como síntomas motores y daño oxidativo y celular.

Los datos mostraron que el MOG indujo síntomas motores como parálisis de la cola y paresia/parálisis de las extremidades, estrés oxidativo y muerte celular similares a la EM en comparación con los animales de control. Es importante destacar que la aplicación de TMS atenuó los síntomas motores, el daño oxidativo y celular, mientras que aumentó el sistema antioxidante. Nuestros hallazgos sugieren que: (i) el MOG reproduce un modelo experimental de EM caracterizado por daño oxidativo y celular; y (ii) la aplicación de TMS disminuye el estrés oxidativo y la muerte celular inducidos por el MOG.

(E) Monazzam MR, Hosseini M, Matin LF, Aghaei HA, Khosroabadi H, Hesami A. Calidad del sueño y estado general de salud de los empleados expuestos a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja en un complejo petroquímico. Journal of Environmental Health Science and Engineering 2014, 12:78. (CE, HU, BE)

Antecedentes. Los avances en la ciencia y la tecnología de los equipos eléctricos, a pesar del aumento del bienestar humano en la vida cotidiana, han aumentado el número de personas expuestas a los campos electromagnéticos (CEM). Debido a los posibles efectos adversos sobre la salud de las personas expuestas,

En el caso de los trabajadores de las subestaciones de un complejo petroquímico del sur de Irán, los campos electromagnéticos han sido el centro de atención. Este estudio se realizó para determinar la posible correlación entre los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF EMF) y la calidad del sueño y la salud pública de quienes trabajan en las unidades de subestaciones de un complejo petroquímico en el sur de Irán. Materiales y métodos. Para empezar, se midió la densidad del flujo magnético en diferentes partes de un edificio de control y dos subestaciones de acuerdo con la norma IEEE std 644 1994. Posteriormente, se utilizaron los cuestionarios Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) y General Health Quality (GHQ) para investigar la relación entre el nivel de exposición a ELF y la calidad del sueño y la salud pública, respectivamente. Ambos cuestionarios se pusieron a disposición de un total de 40 trabajadores del complejo. Los cuestionarios completados se analizaron mediante la prueba T, Duncan y las pruebas de Chi-cuadrado. Resultados. Los resultados obtenidos revelaron que el 28% de los del grupo de casos sufría un mal estado de salud y el 61% fue diagnosticado con un trastorno del sueño. Sin embargo, todos los miembros del grupo de control se encontraban en buenas condiciones de salud y solo el 4,5% de ellos tenía una calidad de sueño indeseable. Conclusión. A pesar de una diferencia significativa entre los grupos de casos y de control en términos de calidad del sueño y salud general, no se encontró una relación significativa entre el nivel de exposición y la calidad del sueño y la salud general. Vale la pena señalar que los valores de EMF medidos fueron inferiores a los límites estándar recomendados por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales (ACGIH). Sin embargo, dadas las incertidumbres sobre los efectos patógenos causados por la exposición a los EMF de FEB, es de suma importancia realizar más estudios epidemiológicos y pruebas periódicas al personal que trabaja en subestaciones de alta tensión.

(E) Murugan NJ, Persinger MA. Comparaciones de las respuestas de las planarias a dosis micromolares o attomolares de morfina o naloxona y/o campos magnéticos pulsados débiles: revelación de las afinidades de los subtipos de receptores y efectos no específicos. Int J Radiat Biol. 90:833-840, 2014. (AS, AE, BE)

Objetivo: Se estudiaron las respuestas conductuales de las planarias a la exposición a un rango de concentraciones de morfina (μM a attoM) o al antagonista μ -opiáceo naloxona o a cualquiera de estos compuestos y a un campo magnético de disparo en ráfaga ($5 \mu\text{T}$). Material y métodos: Se midió la velocidad locomotora (LMV) de las planarias después de que los gusanos individuales fueron expuestos a concentraciones crecientes de attomolar a micromolar de morfina o naloxona, campos magnéticos fisiológicamente modelados o una combinación de los dos. Resultados: En comparación con los controles de agua de manantial, la exposición de dos horas al campo magnético modelado antes de la medición redujo la actividad en aproximadamente un 50%, lo que fue comparable a los efectos no específicos de la morfina y la naloxona en todas las dosis excepto 1 attomolar que no difirió del agua de manantial. La dosis específica de 100 nM produjo una marcada reducción adicional en la actividad de las planarias expuestas a la morfina o la naloxona, mientras que sólo 1 pM de morfina produjo este efecto. Conclusión: Los resultados apoyan la presencia de al menos dos subtipos de receptores que median los efectos de disminución de la actividad provocados específicamente por la morfina y sugieren que la exposición al campo magnético específicamente modelado produce una supresión conductual cuya magnitud es similar a los efectos "independientes de la dosis" de este opiáceo.

(E) Nishimura T, Tada H, Fukushima M. Correlación entre la fase lunar y el comportamiento de levantamiento de la cola de los lagartos (*Pogona vitticeps*) expuestos a una temperatura extremadamente baja.

Campo electromagnético de frecuencia. Animales (Basilea). 9(5). pii: E208, 2019. (AS, CE, BE)

Anteriormente demostramos que el lagarto ágamo *Pogona vitticeps* respondía a un campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF; frecuencia: 6 y 8 Hz; campo magnético máximo: 2,6 μ T; campo eléctrico máximo: 10 V/m) con un comportamiento de levantamiento de la cola. Además, la respuesta de levantamiento de la cola al ELF-EMF desapareció cuando los ojos parietales de los lagartos se cubrieron con pequeñas tapas redondas de aluminio. Este resultado sugiere que el ojo parietal contribuye a la magnetorrecepción dependiente de la luz. En el presente estudio, creamos un grupo ELF-EMF para evaluar el efecto a largo plazo del ELF-EMF en el comportamiento de los lagartos. y examinar nuestra hipótesis de que la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia muy baja aumenta el campo magnético. Sensibilidad en lagartijas. Por lo tanto, incluimos la fase lunar (luna llena/luna nueva) y el índice K como factores ambientales relacionados con el campo geomagnético en el análisis. El número de elevaciones de cola por individuo por día fue la variable de respuesta, mientras que el mes calendario, la temperatura media diaria, la humedad media diaria, la presión atmosférica media diaria, la luna llena, la luna nueva y el índice K fueron las variables explicativas. Analizamos un grupo ELF-EMF y un grupo de control por separado. En un análisis de regresión lineal múltiple, los determinantes independientes asociados con el número de elevaciones de cola fueron la luna llena, la temperatura, febrero, marzo, abril y mayo en el grupo ELF-EMF y marzo, abril, mayo y junio en el grupo de control. Los *P. vitticeps* en el grupo ELF-EMF respondieron a la luna llena, mientras que los del grupo de control no lo hicieron. Además, en el grupo de campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF), el número de levantamientos de cola fue mayor en los días en que el índice K fue más alto ($P = 0,07$) en el primer período, mientras que no hubo tal tendencia en ninguno de los períodos en el grupo de control. Existe la posibilidad de que la exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF) pueda aumentar la sensibilidad a los campos magnéticos en los lagartos.

Ohayon MM, Stolc V, Freund FT, Milesi C, Sullivan SS. El potencial impacto de los campos electromagnéticos de frecuencias superbajas y extremadamente bajas creados por el hombre en el sueño. *Sleep Med Rev.* 47:28-38, 2019. (Revisión)

Un número cada vez mayor de fuentes de emisión electromagnética (EM) suscita problemas de salud, en particular los que se derivan de los campos de frecuencia baja a extremadamente baja omnipresentes de las líneas eléctricas y los electrodomésticos, y los campos de radiofrecuencia emitidos por los dispositivos de telecomunicaciones. En este artículo, revisamos el estado de los conocimientos sobre los posibles impactos de los campos electromagnéticos en la secreción de melatonina y en la estructura del sueño y el electroencefalograma de los seres humanos. La mayoría de los estudios sobre los efectos de la melatonina en los seres humanos se han realizado en presencia de campos EM, centrándose en los efectos de las exposiciones ocupacionales o residenciales. Si bien algunos de los estudios anteriores indicaron que los campos EM pueden tener un efecto supresor sobre la melatonina, los resultados no se pueden generalizar debido a la gran variabilidad en las condiciones de exposición y otros factores que pueden influir en la melatonina. Por ejemplo, la exposición a campos EM de radiofrecuencia en la arquitectura del sueño muestra poco o ningún efecto. Sin embargo, varios estudios muestran que los campos electromagnéticos de radiofrecuencia pulsantes, como los que emiten los teléfonos celulares, pueden alterar la fisiología cerebral, aumentando la potencia del electroencefalograma en bandas selectivas cuando se administran inmediatamente antes o durante el sueño. Es necesario realizar más investigaciones que incluyan poblaciones de mayor edad y evalúen las interacciones de los campos electromagnéticos en diferentes rangos de frecuencia para examinar sus efectos sobre el sueño.

(E) Ozdemir E, Demirkazik A, Gursoy S, Taskiran AS, Kilinc O, Arslan G. Efectos de los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja en la analgesia y la tolerancia a la morfina en ratas. *Gen Physiol Biophys*. 36:415-422, 2017. (AS, CE, BE)

Varios estudios han demostrado que los campos electromagnéticos producen actividad analgésica.

El objetivo de este estudio fue investigar los efectos de los campos electromagnéticos (CEM) de frecuencia extremadamente baja (ELF) sobre la analgesia y la tolerancia a la morfina en ratas. En el estudio, se utilizaron 78 ratas albinas Wistar macho adultas (aproximadamente 240 ± 12 g). La aplicación de un campo magnético de 50 Hz, cada día a la misma hora durante 30 minutos durante 15 días, y un total de cuatro veces cada intervalo de 15 minutos. Para determinar la tolerancia a la morfina, se administró una dosis alta de morfina (50 mg/kg) durante 3 días a las ratas y se evaluó la tolerancia el día 4. Antes de las pruebas de analgesia, se inyectó a las ratas la dosis efectiva (5 mg/kg) de morfina. En los análisis estadísticos de los datos, se utilizó el análisis de varianza (ANOVA de dos vías) y la comparación múltiple se determinó mediante pruebas de Tukey. El efecto analgésico máximo del campo magnético de 5 mT se determinó en 7 días. La administración de morfina (5 mg/kg) en ratas expuestas a un campo magnético, el efecto analgésico fue significativamente mayor en comparación con el grupo morfina ($p < 0,05$).

En los animales tolerantes a la morfina expuestos a un campo magnético, el efecto analgésico fue significativamente mayor que en el grupo de ratas tolerantes a la morfina ($p < 0,05$). Los datos de la prueba de analgesia demostraron que la aplicación de campos electromagnéticos de ELF a ratas aumenta la analgesia por morfina y reduce la tolerancia a la misma.

(E) Ozdemir E, Demirkazik A, Taskiran AS, Arslan G. Efectos de 5-HT₁ y 5-HT₂ Agonistas de los receptores en la analgesia inducida por campos electromagnéticos en ratas. *Bioelectromagnetism*. 2019 40(5):319-330. (AS, CE, CC, BE)

Existen muchas evidencias que demuestran el efecto antinociceptivo de los campos magnéticos (CM). Sin embargo, el mecanismo de acción analgésica del campo electromagnético (CEM) no se entiende con exactitud. El objetivo del presente estudio fue investigar los efectos de los agonistas de los receptores 5-HT₁ y 5-HT₂ (HCl de serotonina y clorhidrato de 2,5-dimetoxi-4-yodoanfetamina [DOI]) en la analgesia inducida por CEM. En total, se utilizaron en este estudio 66 ratas albinas Wistar macho adultas con una masa corporal promedio de 225 ± 13 g. Los animales fueron sometidos a exposiciones repetidas de CEM alternados de 50 Hz y 5 mT durante 2 h al día durante 15 días. Antes de las pruebas de analgesia, se inyectaron dosis de 4 mg/kg de serotonina HCl (agonista 5-HT₁), 0,04 mg/kg de WAY 100635 (antagonista 5-HT₁), 4 mg/kg de clorhidrato de DOI (agonista del receptor 5-HT₂) y 0,5 mg/kg de SB 204741 (antagonista 5-HT₂). Para el análisis estadístico de los datos, se utilizó el análisis de varianza y se determinaron comparaciones múltiples mediante la prueba de Tukey. La administración de serotonina HCl a ratas expuestas a MF (5 mT) produjo un aumento significativo en el porcentaje del efecto máximo posible (% MPE) en comparación con el grupo EMF ($P < 0,05$). Por el contrario, la inyección de WAY 100635 a ratas expuestas a MF produjo una disminución significativa de la actividad analgésica ($P < 0,05$). De manera similar, la administración de clorhidrato de DOI aumentó significativamente los valores de % MPE en comparación con el grupo EMF, mientras que SB 204741 los redujo ($P < 0,05$). En conclusión, nuestros resultados sugirieron que la serotonina 5-HT₁ y 5-HT₂

Los receptores juegan un papel importante en la analgesia inducida por EMF; sin embargo, se necesitan más estudios de investigación para comprender el mecanismo.

(E) Özgün A, Marote A, Behie LA, Salgado A, Garipcan B. Un campo magnético de frecuencia extremadamente baja induce la diferenciación neuronal humana a través de la activación del receptor NMDA.

J Neural Transm (Viena). 126(10):1281-1290, 2019. (CS, CE, CC, MC)

Los campos magnéticos con diferentes parámetros de frecuencia e intensidad presentan una amplia gama de efectos en diferentes modelos biológicos. Se sabe que la exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF MF) aumenta o incluso inicia la diferenciación neuronal en varios modelos in vitro e in vivo.

Este efecto tiene potencial para ser traducido clínicamente al tratamiento de enfermedades neurodegenerativas como el autismo, la enfermedad de Parkinson y la demencia, promoviendo la neurogénesis de forma no invasiva.

Sin embargo, la falta de información sobre los mecanismos subyacentes dificulta una mayor investigación de este fenómeno.

En este trabajo, examinamos la participación de los receptores N-metil-D-aspartato (NMDA) del canal glutamatérgico de Ca^{2+} en el proceso de diferenciación neuronal humana bajo exposición a MF de ELF. Demostramos que las células progenitoras neuronales humanas (hNPC) se diferencian de manera más eficiente bajo exposición a MF de ELF in vitro, como lo demuestra la abundancia de marcadores neuronales.

Además, exhiben niveles intracelulares más elevados de Ca^{2+} como lo evidencia la expresión de c-fos y neuritas maduras más alargadas. Pudimos neutralizar estos efectos bloqueando los receptores NMDA con memantina. Como resultado, planteamos la hipótesis de que los efectos de la exposición a los MF de ELF en la diferenciación neuronal se originan a partir de los efectos sobre los receptores NMDA, que desencadenan secuencialmente cascadas dependientes de Ca^{2+} que conducen a la diferenciación. Nuestros hallazgos identifican a los receptores NMDA como un nuevo actor clave en este campo que ayudará a futuras investigaciones en la búsqueda de mecanismos de efecto de los MF de ELF.

(E) Park, HJ, JH Choi, MH. Nam y YK.Seo. 2022. La neurodiferenciación inducida de hBM-MSC a través de la activación de la vía ERK/CREB mediante campos electromagnéticos pulsados y estimulación física promueve la neurogénesis en modelos isquémicos cerebrales. Int. J.

Mol. Sci 23:1177. (Asociación de científicos, científicos, científicos, médicos, científicos ...

El accidente cerebrovascular es una de las principales causas de muerte en todo el mundo y los pacientes que lo padecen tienen más probabilidades de vivir con discapacidades permanentes incluso después del tratamiento. Se están desarrollando varios tratamientos para mejorar la calidad de vida de los pacientes; sin embargo, estos tratamientos aún tienen limitaciones importantes.

Nuestro estudio buscó evaluar la diferenciación neuronal de las células madre mesenquimales de la médula ósea humana (hBM-MSC) en diversas frecuencias de campos electromagnéticos pulsados (PEMF).

Además, también se evaluaron los efectos de frecuencias seleccionadas in vivo utilizando un modelo de accidente cerebrovascular isquémico en ratones. La proliferación celular disminuyó un 20% en el grupo PEMF, como se demostró mediante el ensayo de bromuro de 3-[4,5-dimetiltiazol-2-il]-2,5-difenil tetrazolio (MTT), y la secreción de lactato deshidrogenasa (LDH) aumentó aproximadamente un 10% en un ensayo de liberación de LDH.

El análisis de clasificación de células activadas por fluorescencia (FACS) demostró que CD73 y CD105 se regularon a la baja en el grupo PEMF a 60 Hz. Además, la proteína 2 asociada a microtúbulos (MAP-2) y la cadena ligera de neurofilamentos (NF-L) se regularon al alza en cultivos celulares a 60 y 75 Hz. Para evaluar los efectos del PEMF in vivo, se expuso a ratones con isquemia cerebral a un PEMF a 60 Hz.

Las proteínas relacionadas con los nervios se regularon positivamente de forma significativa en los grupos de PEMF en comparación con el grupo de control y el grupo de células. Al realizar pruebas de rotarod, el grupo de células/PEMF mostró diferencias significativas en la coordinación motora a los 13 días posteriores al tratamiento en comparación con el grupo de control y el grupo tratado con células madre. Además, el grupo de células y el grupo de células/PEMF mostraron una reducción significativa en la expresión de metaloproteína de matriz-9 (MMP-9), factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α) e interferón gamma (IFN- γ) en el área isquémica inducida en comparación con el control.

En conjunto, nuestros hallazgos demostraron que los PEMF a 60 y 75 Hz podrían estimular las hBM-MSC.

diferenciación neuronal in vitro, además de promover la neurogénesis para mejorar el proceso de recuperación funcional al reducir la reacción inflamatoria post-ictus.

(E) Partsvania B, Sulaberidze T, Modebadze Z, Shoshiashvili L. Efectos de los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja en las neuronas individuales del caracol. *Electromagn Biol Med.* 27(4):409-417, 2008. (CS, EE)

El objetivo del presente trabajo es explorar la influencia de los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (8,34 y 217 Hz) utilizados en los teléfonos móviles en la habituación de la neurona individual del molusco a los estímulos intracelulares. En los experimentos se utilizó el sistema nervioso aislado del molusco *Helix Pomatia*. Se utilizaron bobinas de Helmholtz para exponer los ganglios cerebrales a los campos electromagnéticos de baja frecuencia. Los valores máximos de los campos de frecuencia extremadamente baja fueron de entre 1 y 6 mT. Se investigó la electrofisiología neuronal utilizando una técnica de microelectrodos estándar. La exposición de la neurona a los campos electromagnéticos de baja frecuencia provocó la deshabituación al estímulo intracelular. El efecto fue proporcional al valor máximo de inducción magnética. La deshabituación observada se produce por la degradación de la relación señal/ruido y por la alteración de la función normal de la neurona.

(E) Pedersen C, Poulsen AH, Rod NH, Frei P, Hansen J, Grell K, Raaschou-Nielsen O, Schüz J, Johansen C. Exposición ocupacional a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja y riesgo de enfermedad del sistema nervioso central: una actualización de un estudio de cohorte danés entre trabajadores de servicios públicos. *Int Arch Occup Environ Health.* 90:619-628, 2017. (HU, CE, Dakota del Norte)

OBJETIVO: Evidencia de si la exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) está relacionada con enfermedades del sistema nervioso central es inconsistente. Este estudio actualiza un estudio previo de la incidencia de tales enfermedades en una gran cohorte de trabajadores de servicios públicos daneses al casi duplicar el período de seguimiento. MÉTODOS: Investigamos los riesgos de demencia, enfermedad de la neurona motora, enfermedad de Parkinson, esclerosis múltiple y epilepsia entre 32.006 hombres empleados en las 99 empresas de servicios públicos que suministraron electricidad a Dinamarca durante el período 1900-1993. Los casos se identificaron en el Registro Nacional de Pacientes de Dinamarca y se realizó un seguimiento de la cohorte durante 1982-2010.

La exposición se estimó a partir de una matriz de exposición laboral basada en los registros de la empresa sobre el título del puesto y el área de trabajo, y los miembros de la cohorte se asignaron a una de tres categorías ($<0,1$, $0,1-0,99$ y $\geq 1,0$ μT). RESULTADOS: Para la demencia, la esclerosis múltiple y la epilepsia, las razones de tasas de incidencia (IRR) fueron cercanas a la unidad, pero más altas para la enfermedad de la neurona motora [IRR 1,24, intervalo de confianza (IC) del 95% 0,86-1,79] y más bajas para la enfermedad de Parkinson (IRR 0,81, IC del 95% 0,67-0,97) entre los trabajadores expuestos a $\geq 0,1$ μT en comparación con la población danesa. Para el nivel más alto de exposición ($\geq 1,0$ μT), se observaron IRR de 1,44, 1,78, 1,40 y 1,34 para demencia, enfermedad de la neurona motora, esclerosis múltiple y epilepsia, respectivamente. CONCLUSIONES: Observamos riesgos elevados de demencia, enfermedad de la neurona motora, esclerosis múltiple y epilepsia y menores riesgos de enfermedad de Parkinson en relación con la exposición a ELF-MF en una gran cohorte de empleados de servicios públicos.

(E) Pelletier SJ, Lagacé M, St-Amour I, Arsenault D, Cisbani G, Chabrat A, Fecteau S, Lévesque M, Cicchetti F. Cambios morfológicos y moleculares de las células cerebrales expuestas a la estimulación con campos eléctricos de corriente continua. *Int J Neuropsychopharmacol.* 18:pyu090, 2014 (CE, AE, MC, CC, EF)

ANTECEDENTES: La aplicación de campos eléctricos de corriente continua de baja intensidad (DCEF) se ha utilizado experimentalmente en la clínica para tratar una serie de trastornos cerebrales, predominantemente mediante métodos de estimulación transcraneal de corriente continua (tDCS). Sin embargo, los cambios celulares y moleculares inducidos por dicho tratamiento siguen siendo en gran medida desconocidos. MÉTODOS: En este estudio, probamos varias intensidades de DCEF (0, 25, 50 y 100 V/m) en un entorno in vitro bien controlado para investigar las respuestas de las neuronas, la microglia y los astrocitos a este tipo de estimulación.

Esto incluyó evaluaciones morfológicas de las células, viabilidad, así como forma y crecimiento de fibras en relación con la orientación del DCEF. También realizamos ensayos ELISA e inmunotransferencia Western para identificar qué vías moleculares se vieron afectadas por los DCEF. RESULTADOS: En respuesta al DCEF, las neuronas desarrollaron una forma de cuerpo celular alargada con crecimiento de neuritas que se asoció con un aumento significativo de GAP-43. Los explantos dopaminérgicos del mesencéfalo fetal cultivados en una matriz de gel de colágeno también mostraron una reorientación de sus neuritas hacia el cátodo.

Las células microgliales BV2 adoptaron cambios morfológicos distintivos con un aumento en la expresión de COX-2, pero estos dependían de si ya habían sido activadas con lipopolisacárido (LPS). Finalmente, los astrocitos mostraron cuerpos celulares alargados con filopodios celulares que estaban orientados perpendicularmente al DCEF. CONCLUSIÓN: demostramos que las células del sistema nervioso central pueden responder a los DCEF tanto en términos de su forma morfológica como de expresión molecular de ciertas proteínas y esto a su vez puede ayudarnos a comenzar a comprender los mecanismos subyacentes a los beneficios clínicos del DCEF.

(NE) Percherancier Y, Goudeau B, Charlet de Sauvage R, de Gannes FP, Haro E, Hurtier A, Sojic N, Lagroye I, Arbault S, Veyret B. Efectos de los campos magnéticos de 50 Hz en la comunicación intercelular de unión abierta en células NIH3T3. *Bioelectromagnética.* 36:287-293, 2015. (CS, AE, FC)

El presente estudio se centró en la comunicación intercelular por uniones hendidas (GJIC) como objetivo de los efectos biológicos de la exposición a campos magnéticos (MF) de frecuencia extremadamente baja (ELF). La recuperación de fluorescencia después de la microscopía de fotoblanqueo (FRAP) se utilizó para visualizar la difusión de un colorante fluorescente entre fibroblastos NIH3T3 a través de uniones gap. El efecto directo de la exposición durante 24 h a 50 Hz MF a 0,4 o 1 mT sobre la función de GJIC se evaluó en una serie de experimentos. El sinergismo potencial de MF con un inhibidor de GJIC, éster de forbol (TPA), se estudió en otra serie observando FRAP cuando las células NIH3T3 se incubaron con TPA durante 1 h después de 24 h de exposición a MF. A diferencia de otros informes de efectos de ELF-MF sobre GJIC, en nuestras condiciones experimentales no observamos ni inhibición directa de GJIC ni sinergismo con inhibición inducida por TPA a partir de exposiciones a 50 Hz MF.

(E) Perentos N, Croft RJ, McKenzie RJ, Cvetkovic D, Cosic I. El efecto de la radiación ELF similar a GSM en la banda alfa del EEG en reposo humano. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2008:5680-5683, 2008. (HU, EE)

Los teléfonos móviles, como los que funcionan en la red GSM, emiten campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja, que van desde la corriente continua hasta al menos 40 kHz. Como parte de un protocolo ampliado, se ha investigado la influencia de estos campos en el EEG en reposo humano en un estudio de diseño cruzado, doble ciego y totalmente equilibrado en el que participaron 72 voluntarios sanos. Se observó una disminución de la banda de frecuencia alfa durante los 20 minutos de exposición a ELF únicamente en el hemisferio expuesto. Este resultado sugiere que los campos ELF emitidos por los teléfonos GSM durante el modo DTX pueden tener un efecto en la banda alfa en reposo del EEG humano.

(E) Piacentini R, Ripoli C, Mezzogori D, Azzena GB, Grassi C. Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja promueven la neurogénesis in vitro a través de la regulación positiva de la actividad del canal Ca(v)1. J Cell Physiol. 215(1):129-139, 2008. (CS, AE, MC, MA)

Anteriormente informamos que la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELFEF) aumenta la expresión y la función de los canales de Ca²⁺ dependientes del voltaje y que la entrada de Ca²⁺ a través de los canales de Ca(v)1 desempeña un papel clave en la promoción de la diferenciación neuronal de las células madre/progenitoras neuronales (NSC). El presente estudio se realizó para determinar si los ELFEF influyen en la diferenciación neuronal de las NSC aisladas de las cortezas cerebrales de ratones recién nacidos modulando la función del canal Ca(v)1. En cultivos de células madre neurales en diferenciación expuestas a ELFEF (1 mT, 50 Hz), el porcentaje de células que mostraban inmunorreactividad para marcadores neuronales (beta-III-tubulina, MAP2) y para canales Ca(v)1.2 y Ca(v)1.3 aumentó notablemente. Las neuronas diferenciadas por células madre neurales en cultivos expuestos a ELFEF también mostraron aumentos significativos en la activación espontánea, en el porcentaje de células que mostraban transitorios de Ca²⁺ en respuesta a la estimulación con KCl, en la amplitud de estos transitorios y en las corrientes de Ca²⁺ generadas por la activación de los canales Ca(v)1. Cuando se añadió el bloqueador del canal Ca(v)1 nifedipina (5 microM) al medio de cultivo, el rendimiento neuronal de la diferenciación de células madre neurales disminuyó significativamente, y la exposición a ELFEF ya no produjo aumentos significativos en la activación de beta-III-tubulina y MAP2. tasas de inmunorreactividad. Por el contrario, los efectos de los ELFEF se conservaron cuando las células madre neurales se cultivaron en presencia de antagonistas del receptor de glutamato o Ca(v)2.1- y Ca(v)2.2- bloqueadores de canales. La estimulación con ELFEF durante las primeras 24 h de diferenciación provocó Ca(v)1- Aumentos dependientes en el número de células que muestran fosforilación de CREB. Nuestros datos sugieren que la exposición a ELFEF promueve la diferenciación neuronal de las células madre neurales al regular positivamente la expresión y la función del canal Ca(v)1.

(E) Podda MV, Leone L, Barbatì SA, Mastrodonato A, Li Puma DD, Piacentini R, Grassi C. Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja mejoran la supervivencia de las neuronas recién nacidas en el hipocampo del ratón. Eur J Neurosci. 39:893-903, 2014. (AS, CS, CE, AE, BE, CC, MA)

En los últimos años se ha dedicado mucho esfuerzo a identificar estímulos capaces de potenciar la neurogénesis adulta, un proceso que genera nuevas neuronas a lo largo de la vida y que parece ser disfuncional en el cerebro senescente y en varias enfermedades neuropsiquiátricas y neurodegenerativas. Anteriormente informamos que la exposición in vivo a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELFEF) promueve la proliferación y diferenciación neuronal de las células madre neurales (NSC) del hipocampo que se integran funcionalmente en el giro dentado.

Ampliamos nuestros estudios para evaluar específicamente la influencia de los ELFEF en la supervivencia de las células hipocámpales recién nacidas, que es un tema muy crítico en la regulación de la neurogénesis adulta. Se inyectó a los ratones 5-bromo-2'-desoxiuridina (BrdU) para marcar las células recién nacidas y se los expuso a los ELFEF 9 días después, cuando se produce la disminución más drástica en el número de neuronas recién generadas. Los resultados mostraron que la exposición a los ELFEF (3,5 h/día durante 6 días) mejoró la supervivencia de las neuronas recién nacidas, como se documentó mediante la tinción doble para BrdU y doblecortina, para identificar neuronas inmaduras, o el marcaje NeuN de neuronas maduras. Los efectos de los ELFEF se asociaron con un mejor aprendizaje espacial y memoria. En un modelo in vitro de células madre neurales del hipocampo, los ELFEF ejercieron su acción pro-supervivencia al rescatar neuronas diferenciadoras de la muerte celular apoptótica. El ensayo de inmunotransferencia Western reveló una expresión reducida de la proteína pro-apoptótica Bax, y niveles aumentados de la proteína anti-apoptótica Bcl-2, en los hipocámpos de ratones expuestos a ELFEF, así como en cultivos de células madre neurales expuestos a ELFEF, en comparación con sus contrapartes expuestas simuladamente. Nuestros resultados pueden tener implicaciones clínicas para el tratamiento de la neurogénesis deteriorada asociada con el envejecimiento cerebral y las enfermedades neurodegenerativas.

(NE) Poulletier de Gannes F, Ruffié G, Taxile M, Ladevèze E, Hurtier A, Haro E, Duleu S, Charlet de Sauvage R, Billaudel B, Geffard M, Veyret B, Lagroye I. Esclerosis lateral amiotrófica (ELA) y campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF): un estudio en el modelo de ratón transgénico SOD-1. Amyotroph Lateral Scler. 2009 Oct-Dec;10(5-6):370-373.(AS, CE, FC)

Existen algunas evidencias de estudios epidemiológicos que indican una asociación entre la exposición ocupacional a campos electromagnéticos y la esclerosis lateral amiotrófica (ELA). Nuestro objetivo fue realizar, por primera vez, un estudio animal en un entorno magnético controlado. Utilizamos el modelo de ratón SOD-1 para evaluar el posible efecto de los campos magnéticos de ELF en el desarrollo de la enfermedad. Siete ratones por grupo fueron expuestos a campos magnéticos de 50 Hz a dos intensidades (100 y 1000 microT(rms)) antes de la aparición de los signos clínicos de ELA. La exposición duró 7 semanas y se monitoreó el peso corporal, el rendimiento motor y la esperanza de vida. Nuestros resultados no revelaron ninguna evidencia de un vínculo entre la exposición a ELF y la ELA en este modelo animal transgénico.

(E) Prasad A, Teh DBL, Blasiak A, Chai C, Wu Y, Gharibani PM, Yang IH, Phan TT, Lim KL, Yang H, Liu X, Ali AH. La estimulación del campo magnético estático mejora la diferenciación de oligodendrocitos y la secreción de factores neurotróficos. Sci Rep.

7(1):6743, 2017. (Educación, Formación, Competencia, Cultura)

Los efectos a nivel celular de un campo magnético oscilante de baja/alta frecuencia sobre células excitables como las neuronas están bien establecidos. Por el contrario, los efectos de un campo magnético estático homogéneo (SMF) sobre las células gliales del sistema nervioso central (SNC) están menos investigados. Aquí, hemos desarrollado un sistema de estimulación SMF in vitro para investigar los efectos genómicos de la exposición a SMF sobre la diferenciación de oligodendrocitos y la secreción de factores neurotróficos. Se estimularon células precursoras de oligodendrocitos humanos (OPC) con SMF de intensidad moderada (0,3 T) durante un período de dos semanas (dos horas/día). Se evaluó la expresión génica diferencial del marcador de actividad celular (c-fos), OPC temprana (Olig1, Olig2, Sox10) y marcadores de oligodendrocitos maduros (CNP, MBP).

cuantificado. La capacidad de mielinización mejorada de los oligodendrocitos estimulados con SMF se validó en una plataforma de cámara de microfluidos del ganglio de la raíz dorsal. Además, se cuantificaron los efectos de SMF en la expresión génica y la secreción de factores neurotróficos - BDNF y NT3. También informamos que la estimulación con SMF aumenta el influjo de calcio intracelular en las OPC, así como la expresión génica de las subunidades del canal de tipo L - CaV1.2 y CaV1.3. Nuestros hallazgos enfatizan la capacidad de las células gliales como las OPC para responder positivamente a la estimulación con SMF de intensidad moderada al exhibir una diferenciación mejorada, funcionalidad, así como liberación de factores neurotróficos.

(E) Rabey JM, [Dobronevsky E](#), [Aichenbaum S](#), [Gonen O](#), [Marton RG](#), [Khaigrekht M](#).

La estimulación magnética transcraneal repetitiva combinada con entrenamiento cognitivo es una modalidad segura y eficaz para el tratamiento de la enfermedad de Alzheimer: un estudio aleatorizado y doble ciego. [J Neural Transm \(Viena\)](#). 120(5):813-819, 2013.

(Humanidad, China, Bélgica, Francia, Italia, Malta y Dakota del Norte)

La excitabilidad cortical se puede modular mediante estimulación magnética transcraneal repetitiva (EMTr). Anteriormente, demostramos que la EMTr combinada con entrenamiento cognitivo (EMTr-COG) tiene resultados positivos en la enfermedad de Alzheimer (EA). El objetivo de este estudio controlado, aleatorizado y doble ciego fue examinar la seguridad y eficacia de la EMTr-COG en la EA.

Quince pacientes con EA recibieron rTMS-COG durante una hora diaria o tratamiento simulado (siete tratados, ocho placebo), cinco sesiones/semana durante 6 semanas, seguidas de sesiones quincenales durante 3 meses. El resultado primario fue la mejora de la puntuación cognitiva. El resultado secundario incluyó la mejora en la Impresión Clínica Global de Cambio (CGIC) y el Inventario Neuropsiquiátrico (NPI). Hubo una mejora en la puntuación media de ADAS-cog de 3,76 puntos después de 6 semanas en el grupo de tratamiento en comparación con 0,47 en el grupo placebo y 3,52 puntos después de 4,5 meses de tratamiento, en comparación con un empeoramiento de 0,38 en el grupo placebo ($P = 0,04$ y $P = 0,05$, respectivamente). También hubo una mejora en la puntuación media de CGIC de 3,57 (después de 6 semanas) y 3,67 puntos (después de 4,5 meses), en comparación con 4,25 y 4,29 en el grupo placebo (empeoramiento leve).

($P = 0,05$ y $P = 0,05$, respectivamente). El NPI mejoró de forma no significativa. En resumen, el sistema NeuroAD ofrece una terapia novedosa, segura y eficaz para mejorar la función cognitiva en la EA.

(E) Rauš S, Selaković V, Manojlović-Stojanoski M, Radenović L, Prolić Z, Janać B.

Respuesta de las neuronas y células gliales del hipocampo al campo magnético alterno en jerbos sometidos a isquemia cerebral global. *Neurotox Res*. 23(1):79-91, 2013. (AS, CE, MC, MA)

El propósito de este estudio fue determinar si la exposición a un campo magnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF, 50 Hz) afecta el resultado del daño postisquémico en el hipocampo de jerbos de Mongolia. Después de 10 minutos de oclusión bilateral de la carótida, los jerbos fueron expuestos continuamente a ELF-MF (la inducción magnética promedio en el centro de la jaula fue de 0,5 mT) durante 7 días. El impacto de ELF-MF se estimó inmediatamente (el séptimo día después de la reperusión) y 7 días después del cese de la exposición (el decimocuarto día después de la reperusión) en comparación con los jerbos isquémicos sin exposición a ELF-MF. Aplicando métodos estereológicos, se realizó una evaluación histológica de los cambios en el hipocampo para determinar su volumen, las densidades de volumen de las neuronas y astrocitos degenerados, así como el número de células microgliales por

área unitaria. El ELF-MF per se no indujo ningún cambio morfológico, mientras que la isquemia cerebral global de 10 min condujo a la muerte neuronal, especialmente en la región CA1 del hipocampo, como se esperaba. Los jerbos isquémicos expuestos al ELF-MF tuvieron significativamente un grado menor de pérdida celular en la estructura examinada y mayores respuestas de astrocitos y células microgliales que los jerbos postisquémicos sin exposición en el séptimo día después de la reperusión (efecto inmediato del ELF-MF). Se observó una respuesta similar el día 14 después de la reperusión (efecto retardado de ELF-MF); sin embargo, las diferencias en los parámetros medidos fueron bajas e insignificantes. El ELF-MF aplicado tiene una posible función neuroprotectora en el hipocampo, como la estructura cerebral más sensible en el modelo de isquemia cerebral global, a través de la reducción de la muerte neuronal y la activación de astrocitos y células microgliales.

(E) Rauš S, Selaković V, Radenović L, Prolić Z, Janać B. Cambios inducidos por campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja en el comportamiento motor de jerbos sometidos a isquemia cerebral global.

Behav Brain Res. 228(2):241-246, 2012. (Licenciatura, Certificación, Ingeniería, Maestría)

El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos conductuales de un campo magnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) en jerbos mongoles de 3 meses sometidos a isquemia cerebral global. Después de 10 minutos de oclusión de ambas arterias carótidas comunes, los jerbos fueron colocados cerca de un electroimán y expuestos continuamente a ELF-MF (50 Hz, 0,5 mT) durante 7 días. Su comportamiento (locomoción, estereotipia, rotaciones e inmovilidad) fue monitoreado los días 1, 2, 4, 7 y 14 después de la reperusión durante 60 min en campo abierto. Se demostró que la isquemia cerebral global de 10 min per se indujo un aumento significativo de la actividad motora (locomoción, estereotipia y rotaciones), y en consecuencia una disminución de la inmovilidad hasta el día 4 después de la reperusión, en comparación con los jerbos de control. La exposición a ELF-MF inhibió el desarrollo de hiperactividad motora inducida por isquemia durante todo el período de registro, pero significativamente en los primeros 2 días después de la reperusión, cuando la hiperactividad postisquémica era más evidente. La actividad motora de estos jerbos todavía aumentó significativamente en comparación con los de control, pero solo el día 1 después de la reperusión. Nuestros resultados revelaron que la ELF-MF aplicada (50 Hz, 0,5 mT) disminuyó la hiperactividad motora inducida por la isquemia cerebral global de 10 minutos, a través de la modulación de los procesos que subyacen a esta respuesta conductual.

(E) Rauš Balind S, Selaković V, Radenović L, Prolić Z, Janać B. Un campo magnético de frecuencia extremadamente baja (50 Hz, 0,5 mT) reduce el estrés oxidativo en el cerebro de jerbos sometidos a isquemia cerebral global. PLoS One. 9(2):e88921, 2014. (AS, CE, OX, CC, MA)

El campo magnético como factor ecológico tiene influencia en todos los seres vivos. El objetivo de este estudio fue determinar si el campo magnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF, 50 Hz, 0,5 mT) afecta el estrés oxidativo en el cerebro de jerbos sometidos a isquemia cerebral global de 10 minutos. Después de la oclusión de ambas arterias carótidas, jerbos de 3 meses de edad fueron expuestos continuamente a ELF-MF durante 7 días. Se examinaron la producción de óxido nítrico y anión superóxido, la actividad de la superóxido dismutasa y el índice de peroxidación lipídica en la corteza del prosencéfalo, el cuerpo estriado y el hipocampo el séptimo (efecto inmediato de ELF-MF) y el decimocuarto día después de la reperusión (efecto retardado de ELF-MF). La isquemia per se aumentó el estrés oxidativo en el cerebro el séptimo y decimocuarto día después de la reperusión. La ELF-MF también aumentó el estrés oxidativo, pero en mayor medida que la isquemia, sólo

inmediatamente después del cese de la exposición. Los jerbos isquémicos expuestos a ELF-MF presentaron parámetros de estrés oxidativo aumentados el séptimo día después de la reperusión, pero en menor medida que los animales isquémicos o expuestos a ELF-MF. El decimocuarto día después de la reperusión, los parámetros de estrés oxidativo en el cerebro de estos jerbos se encontraban principalmente en los niveles de control. La ELF-MF aplicada disminuye el estrés oxidativo inducido por la isquemia cerebral global y, por lo tanto, reduce las posibles consecuencias negativas que las especies de radicales libres podrían tener en el cerebro. Los resultados presentados aquí indican un efecto beneficioso de la ELF-MF (50 Hz, 0,5 mT) en el modelo de isquemia cerebral global.

(E) Rauš Balind S, M. Manojlović-Stojanoski, V. Milošević, D. Todorović, L. Nikolić, B. Petković. La exposición a corto y largo plazo a un campo magnético alterno (50 Hz, 0,5 mT) afecta a las células de ACTH de la hipófisis de la rata: estudio estereológico. *Environ Toxicol* 2016 Abr;31(4):461-468. (Año, Edad, Edad Media)

El objetivo del presente estudio fue determinar si el campo magnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF, 50 Hz, 0,5 mT) afecta a las células adrenocorticotrópicas (ACTH) de la hipófisis en animales adultos. Realizamos dos series de experimentos: (1) exposición a corto plazo de ratas de 3 meses de edad a ELF-MF durante 1 y 7 días, y (2) exposición a largo plazo de ratas a ELF-MF desde su concepción hasta los 3 meses de edad. Se realizó un estudio estereológico en células hipofisarias ACTH inmunomarcadas. Se midieron el número total y el volumen de células ACTH, el volumen de sus núcleos y el volumen hipofisario. La exposición a ELF-MF durante 1 día redujo significativamente el número total y el volumen de células ACTH, el volumen de sus núcleos, así como el volumen hipofisario. La exposición a ELF-MF durante 7 días redujo significativamente solo el volumen de células ACTH. La exposición de por vida a ELF-MF indujo una disminución en el volumen de células ACTH y el volumen hipofisario. Podemos concluir que el ELF-MF aplicado tiene una fuerte influencia en los parámetros morfométricos de las células ACTH pituitarias y podría considerarse como un factor estresogénico.

(E) Ravera S, Bianco B, Cugnoli C, Panfoli I, Calzia D, Morelli A, Pepe IM. Los campos magnéticos ELF sinusoidales afectan la actividad de la acetilcolinesterasa en las membranas sinaptosómicas del cerebelo. *Bioelectromagnetismo*. 31(4):270-276, 2010. (CS, AE, CE)

Se investigaron los efectos de los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) sobre la actividad de la acetilcolinesterasa (AChE) de las membranas sinaptosómicas. Los campos sinusoidales con una frecuencia de 50 Hz y diferentes amplitudes hicieron que la actividad de la AChE disminuyera aproximadamente un 27% con un umbral de aproximadamente 0,74 mT. La disminución de la actividad enzimática fue independiente del tiempo de permanencia en el campo y fue completamente reversible. Se obtuvieron resultados idénticos con la exposición a MF estáticos de las mismas amplitudes. Además, los efectos inhibidores sobre la actividad enzimática se distribuyen en ventanas de frecuencia con diferentes valores máximos a 60, 200, 350 y 475 Hz. Cuando las membranas sinaptosómicas se solubilizaron con Triton, ELF-MF no afectó a la actividad de la AChE, lo que sugiere el papel crucial de la membrana, así como del enlace lipídico de la enzima, en la determinación de las condiciones para la inactivación. Se discuten los resultados con el fin de dar una interpretación a nivel molecular de los efectos macroscópicos producidos por ELF-MF sobre los sistemas biológicos, en particular las alteraciones del desarrollo embrionario en muchos organismos debido a la acumulación de acetilcolina.

(E) Rageh MM, El-Gebaly RH, El-Bialy NS. Evaluación de los riesgos genotóxicos y citotóxicos en células cerebrales y de médula ósea de ratas recién nacidas expuestas a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja. J Biomed Biotechnol. 2012;2012:716023. (AS, CE, OX, DE)

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la asociación entre la exposición de todo el cuerpo a Campo magnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) y riesgos genotóxicos y citotóxicos en células cerebrales y de médula ósea de ratas recién nacidas. Las ratas recién nacidas (10 días después del parto) fueron expuestas continuamente a 50 Hz, 0,5 mT durante 30 días. El grupo de control fue tratado como el expuesto con la única diferencia de que las ratas no fueron expuestas al campo magnético. Se utilizó el ensayo Comet para cuantificar el nivel de daño del ADN en células cerebrales aisladas. También se lavaron las células de la médula ósea para evaluar la inducción de micronúcleos y el índice mitótico. Se utilizaron métodos espectrofotométricos para medir el nivel de malondialdehído (MDA) y la actividad del glutatión (GSH) y la superóxido dismutasa (SOD). Los resultados mostraron un aumento significativo en el momento de cola medio que indica daño del ADN en el grupo expuesto ($P < 0,01$, $0,001$, $0,0001$). Además, la exposición a ELF-MF indujo un aumento significativo de cuatro veces ($P < 0,01$, $0,001$) en la inducción de micronúcleos y un aumento de aproximadamente tres veces en el índice mitótico ($P < 0,0001$). Además, las ratas recién nacidas expuestas a ELF-MF mostraron niveles significativamente más altos de MDA y SOD ($P < 0,05$). Mientras tanto, ELF-MF no alteró la actividad de GSH. En conclusión, el presente estudio sugiere una asociación entre el daño del ADN y la exposición a ELF-MF en ratas recién nacidas.

(E) Reale M, Kamal MA, Patruno A, Costantini E, D'Angelo C, Pesce M, Greig NH. Respuestas celulares neuronales a la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja: implicaciones en relación con el estrés oxidativo y la neurodegeneración. PLoS One. 2014, 9(8):e104973. (CS, AE, OX, ND)

Las enfermedades neurodegenerativas comprenden afecciones tanto hereditarias como esporádicas caracterizadas por una disfunción progresiva del sistema nervioso y una neuropatología distintiva. La mayoría son de etiología no familiar y, por lo tanto, los factores ambientales y el estilo de vida desempeñan un papel clave en su patogénesis. El uso extensivo y la demanda cada vez mayor de electricidad a nivel mundial han estimulado el interés social y científico sobre la exposición ambiental a campos electromagnéticos (CEM) de baja frecuencia en la salud humana. Los estudios epidemiológicos sugieren una asociación positiva entre los campos de transmisión de energía de 50/60 Hz y el desarrollo de leucemia o linfoma. Consecuente con la asociación entre los CEM y la inducción de estrés oxidativo, se han expresado preocupaciones relacionadas con el desarrollo de enfermedades neurodegenerativas, como la enfermedad de Alzheimer (EA), ya que el cerebro consume la mayor fracción de oxígeno y es particularmente vulnerable al estrés oxidativo. Se informa que la exposición a CEM de frecuencia extremadamente baja (ELF) altera el comportamiento animal y modula las variables biológicas, incluida la expresión genética, la regulación de la supervivencia celular, la promoción de la diferenciación celular y los cambios en el flujo sanguíneo cerebral en ratones transgénicos de EA envejecidos. También se han informado alteraciones en las respuestas inflamatorias, pero se desconoce cómo estas acciones afectan la salud humana. Por lo tanto, evaluamos los efectos de una onda electromagnética (intensidad de campo magnético 1mT; frecuencia, 50 Hz) en un modelo de célula neuronal inmortalizada bien caracterizado, células SH-SY5Y humanas. La exposición a campos electromagnéticos de frecuencia muy baja elevó la expresión de NOS y O₂⁻, que fueron contrarrestados por cambios compensatorios en la actividad de la catilasa antioxidante (CAT) y parámetros cinéticos enzimáticos relacionados con la actividad c

Además, se evaluaron las acciones de los campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF) sobre la expresión génica de las citocinas y se observó que se modificaban rápidamente. Frente a la coexposición al estrés oxidativo inducido por H₂O₂, los ELF-EMF no se contrarrestaron tan bien y dieron lugar a una disminución de la actividad de la CAT y a un aumento de los niveles de O₂⁻. En conjunto, estos estudios respaldan la evaluación adicional de la exposición a los ELF-EMF en modelos preclínicos celulares e in vivo para definir los mecanismos que podrían verse afectados en los seres humanos.

(NE) Reale M, D'Angelo C, Costantini E, Tata AM, Regen F, Hellmann-Regen J.

Efecto de los campos electromagnéticos ambientales de frecuencia extremadamente baja
Exposición a mediadores inflamatorios y metabolismo de serotonina en una línea celular de neuroblastoma humano. *CNS Neurol Disord Drug Targets*. 15(10):1203-1215, 2016. (CS, AE, CC)

La exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) ambientales en la vida cotidiana está aumentando y es un tema de gran debate si la exposición a ELF-EMF puede ser perjudicial para la salud humana. La neuropatología y los síntomas de la enfermedad neurodegenerativa dependen de factores distintos a las predisposiciones genéticas, como la exposición ambiental a factores de riesgo relacionados con la enfermedad. La investigación centrada en una posible contribución de los ELF-EMF a la lesión celular y al desarrollo de trastornos neurodegenerativos se caracteriza por datos contradictorios de estudios epidemiológicos y animales. Debido a la falta de un vínculo directo entre los procesos neurodegenerativos y la exposición a ELF-EMF, nuestro objetivo fue investigar si la exposición a ELF-EMF puede representar un posible factor de riesgo. En el presente estudio, utilizando células de neuroblastoma SH-SY5Y similares a neuronas, demostramos que el equilibrio entre la generación y eliminación de especies reactivas de oxígeno, así como el equilibrio entre citocinas proinflamatorias y antiinflamatorias vinculadas al estrés oxidativo, se mantuvo asegurando que las células respondieran adecuadamente a ELF-EMF (50Hz /1mT). En las células expuestas a SH-SY5Y observamos un aumento de la relación intracelular de ácido 5-hidroxiindolacético/5-hidroxitriptamina, lo que refleja la tasa de síntesis, catabolismo y liberación del transmisor, mientras que las metaloproteinasas de matriz que desempeñan papeles críticos en la muerte celular neuronal no se alteraron significativamente. Los resultados presentados aquí indican que los cambios causados por la exposición corta (1 h-3 h) y subcrónica (48 h) a campos electromagnéticos de baja frecuencia (ELF-EMF) de 50 Hz/1 mT en células SH-SY5Y son menores en comparación con el daño celular neuronal que se espera que subyazca a la neurodegeneración o al deterioro cognitivo. Por lo tanto, estos resultados concuerdan con los estudios epidemiológicos que han proporcionado poco apoyo para un vínculo entre los campos electromagnéticos de baja frecuencia (ELF-EMF) y la neurodegeneración.

Ritz T, Adem S, Schulten K. Un modelo para la magnetorrecepción basada en fotorreceptores en aves. *Biophys J*. 78(2):707-718, 2000. (Revisión)

Una gran variedad de animales tiene la capacidad de percibir el campo geomagnético y utilizarlo como fuente de información direccional (brújula). No se sabe por qué mecanismo biofísico se logra esta magnetorrecepción. Investigamos la posibilidad de que la magnetorrecepción involucre procesos de pares de radicales que están gobernados por un acoplamiento hiperfino anisotrópico entre los espines nucleares y electrónicos (no apareados). Demostraremos teóricamente que los campos de intensidad y debilidad del campo geomagnético pueden producir rendimientos de reacción significativamente diferentes para diferentes alineaciones de los pares de radicales con el campo magnético. Como modelo para un órgano sensorial magnético, proponemos un sistema de pares de radicales que están 1) ordenados orientacionalmente en un sustrato molecular y 2) exhibiendo

Cambios en los rendimientos de reacción que afectan la vía de transducción visual. Evaluamos patrones de modulación visual tridimensional que pueden surgir de la influencia del campo geomagnético en sistemas de pares radicales. Las variaciones de estos patrones con la orientación y la intensidad del campo pueden proporcionar a la capacidad de brújula magnética de las aves las mismas características que las observadas en experimentos de comportamiento. Proponemos que el criptocromo fotorreceptor recientemente descubierto es parte del sistema de magnetorrecepción y sugerimos estudios adicionales para probar o refutar esta hipótesis.

(E) Reyes-Guerrero G, Guzmán C, García DE, Camacho-Arroyo I, Vázquez-García M.

Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja regulan de manera diferencial la expresión de los receptores de estrógeno alfa y beta en el bulbo olfatorio de la rata. *Neurosci Lett.* 471(2):109-13, 2010. (AS, AE, CC)

Recientemente, se han investigado ampliamente los efectos de los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF EMF) en los sistemas biológicos. En este informe, se estudió la influencia de los ELF EMF en la expresión del ARNm del receptor de estrógeno alfa (ER alfa) y beta (ER beta) del bulbo olfatorio (OB) mediante RT-PCR en ratas hembras y machos adultos. Los resultados revelan por primera vez que los ELF EMF ejercieron un efecto bifásico en la expresión del gen del ARNm del ER beta del OB femenino, que aumentó durante el diestro y disminuyó durante el estro. No observamos ninguna influencia de los ELF EMF en la expresión del ARNm del ER alfa del OB femenino. Nuestros datos demuestran un patrón fluctuante de la expresión del ARNm del ER alfa y beta en el OB femenino a lo largo de las fases del ciclo estral en animales no expuestos a los ELF EMF. Por lo tanto, la expresión más alta del ER alfa se observó en el diestro y la más baja en el proestro. El patrón del ARNm del ER beta fue menos variable, la expresión más baja se observó en el diestro. El nivel de expresión del ARNm de ER-alfa y ER-beta en el OB macho no mostró ninguna variación ni en los animales expuestos a los campos electromagnéticos de ELF ni en los animales no expuestos a ellos. En resumen, los campos electromagnéticos de ELF modulan la expresión del gen ER-beta en el OB de ratas adultas hembras, pero no en los machos.

(E) Rivadulla C, Aguilar J, Coletti M, Aguila J, Prieto S, Cudeiro J. Los campos magnéticos estáticos reducen la actividad epileptiforme en ratas y monos anestesiados. *Sci Rep* 8(1):15985, 2018.(AS, AE, EE, MA)

Cada vez hay más pruebas de que los campos magnéticos estáticos (CME) reducen la actividad cortical tanto en modelos animales como humanos. El objetivo de este trabajo fue investigar el efecto de los CME sobre la actividad cortical epileptiforme, una afección relacionada con un aumento anormal de la excitabilidad neuronal. El primer bloque experimental incluyó un modelo de epilepsia en ratas con pilocarpina, en el que se colocó sobre el cráneo un cilindro magnético de neodimio niquelado, un campo magnético de 0,5 T o "sham". En el segundo bloque experimental, registramos la actividad similar a la epilepsia en la corteza visual de un mono (*Macaca mulatta*) en condiciones de control y en presencia del imán. Entre 15 y 30 minutos después de la segunda dosis de pilocarpina, se observaron claramente cambios en el EEG compatibles con eventos similares a convulsiones inducidos por pilocarpina en los animales de control (estimulación simulada). Se observaron efectos similares en los animales expuestos al imán real después de 1-2 horas. En el mono, la SMF sobre el foco cortical redujo claramente la actividad anormal: el umbral de intensidad para la inducción visual aumentó y la gravedad y la frecuencia de los eventos epileptiformes disminuyeron. Estos resultados refuerzan la visión de que los imanes estáticos modulan la actividad cortical y abren la puerta al futuro uso terapéutico de SMF en la epilepsia como complemento a los tratamientos farmacológicos actuales.

(E) Ross ML, Koren SA, Persinger MA. Los campos magnéticos débiles con patrones fisiológicos aplicados sobre el lóbulo frontal izquierdo aumentan la aceptación de afirmaciones falsas como verdaderas. Biol Med. 27(4):365-371, 2008. (HU, AE, BE)

Cincuenta hombres y mujeres fueron expuestos a sólo uno de cuatro campos magnéticos generados experimentalmente sobre la región prefrontal izquierda (encima de la ceja) o a un campo simulado inmediatamente después de que se presentaran las palabras "verdadero" o "falso" después de las declaraciones de definiciones de palabras para un "idioma extranjero". Tres de los patrones (25 Hz, 50 Hz o descargas de descargas) con intensidades entre 1 y 10 microT se presentaron durante 1 s durante el proceso de refutación (inmediatamente después de la compensación de "verdadero" o "falso") para declaraciones específicas de un total de 28 declaraciones. El cuarto patrón fue un campo variable de aproximadamente 7-10 Hz (10 nT) generado a partir del circuito que estuvo presente de forma continua durante todo el experimento. Cuando se presentaron las declaraciones de nuevo, los grupos que habían recibido las descargas de descargas ("límbico") o los campos magnéticos pulsados de 25 Hz durante el proceso de refutación aceptaron aproximadamente el doble de declaraciones falsas como verdaderas en comparación con los expuestos al campo de 50 Hz o las condiciones del campo simulado. Los tratamientos no funcionaron afectan significativamente el número de afirmaciones verdaderas aceptadas como falsas. Estos resultados sugieren que el campo magnético pulsado adecuadamente durante el proceso de refutación de lo que se le ha dicho o escuchado a una persona puede aumentar la probabilidad de que una persona acepte una afirmación falsa como verdadera.

(E) Ross CL, Teli T, Harrison BS. Efecto del campo electromagnético sobre el monofosfato de adenosina cíclico (AMPc) en un modelo celular con receptor opioide mu humano. Electromagn Biol Med. 35:206-213, 2016. (CS, AE, CC, MA)

Durante el proceso de comunicación celular, la señalización endógena y exógena afecta tanto a las condiciones normales como a las patológicas del desarrollo. Se ha demostrado que las influencias exógenas, como los campos electromagnéticos (CEM) de frecuencia extra baja, afectan el dolor y la inflamación al modular los receptores de proteína G, regular a la baja la actividad de la ciclooxigenasa-2 y afectar la vía calcio/calmodulina/óxido nítrico. Los investigadores han informado de cambios en los receptores opioides y en los segundos mensajeros, como el monofosfato de adenosina cíclico (AMPc), en la tolerancia y dependencia de los opiáceos al demostrar cómo la exposición repetida a la morfina disminuye la actividad de la adenilato ciclasa, lo que hace que el AMPc vuelva a los niveles de control en el estado de tolerancia y aumente por encima de los niveles de control durante la abstinencia. Las respuestas de resonancia a los sistemas biológicos que utilizan señales de CEM exógenas sugieren que las características de respuesta de frecuencia del objetivo pueden determinar la respuesta biológica del CEM. En nuestra investigación anterior encontramos una regulación negativa significativa de los marcadores inflamatorios factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α) y factor nuclear kappa B (NFkB) utilizando una frecuencia de EMF de 5 Hz. En este estudio, se estimuló el AMPc en células de ovario de hámster chino (CHO) transfectadas con receptores opioides mu humanos, luego se expusieron a EMF de 5 Hz y los resultados se compararon con el tratamiento con morfina. Los resultados mostraron una inhibición un 23% mayor de las células que trataban con AMPc con EMF que con morfina. Para probar nuestros resultados para los efectos específicos de la frecuencia, realizamos experimentos idénticos utilizando EMF de 13 Hz, que produjeron resultados similares a los controles. Este estudio sugiere el uso de EMF como un tratamiento complementario o alternativo a la morfina que podría reducir el dolor y mejorar la calidad de vida del paciente sin los efectos secundarios de los opiáceos.

(E) Rostami A, Shahani M, Zarrindast MR, Semnani S, Rahmati Roudsari M, Rezaei Tavirani M, Hasanzadeh H. Efectos de los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja de 3 Hz y 60 Hz

sobre conductas similares a la ansiedad, retención de la memoria de la evitación pasiva y propiedades electrofisiológicas de ratas macho. J Lasers Med Sci. 7(2):120-125, 2016. (AS, CE, BE, EE, CC)

INTRODUCCIÓN: Los efectos de los campos electromagnéticos en los organismos biológicos han sido un debate controvertido y también interesante en las últimas décadas, a pesar de la amplia gama de investigaciones, muchos aspectos de los efectos de los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF/EMF), incluido el mecanismo de su interacción con organismos vivos y también sus posibles aplicaciones biológicas, siguen siendo ambiguos. En el presente estudio, investigamos si las exposiciones a ELF/EMF con frecuencias de 3 Hz y 60 Hz pueden afectar la memoria, los comportamientos de ansiedad, las propiedades electrofisiológicas y el proteoma del cerebro en ratas. **MÉTODOS:** Se expusieron ratas macho a ELF/EMF de 3 Hz y 60 Hz en un protocolo que constaba de 2 ciclos de exposición de 2 h/día durante 4 días separados por un intervalo de 2 días. La memoria a corto plazo y los comportamientos de ansiedad se evaluaron inmediatamente, 1 y 2 semanas después de las exposiciones. Los efectos de la exposición a corto plazo también se evaluaron utilizando un enfoque electrofisiológico inmediatamente después de 2 horas de exposición. **RESULTADOS:** La prueba de comportamiento reveló que inmediatamente después del final de las exposiciones, la actividad locomotora de los grupos expuestos a 3 Hz y 60 Hz disminuyó significativamente en comparación con el grupo simulado. Este protocolo de exposición no tuvo efecto sobre el comportamiento de ansiedad durante las 2 semanas posteriores al tratamiento y tampoco sobre la memoria a corto plazo. Se encontró una reducción significativa en la tasa de activación del locus coeruleus (LC) después de 2 horas de exposición a 3 Hz y 60 Hz. El análisis del proteoma también reveló cambios globales en el proteoma cerebral completo después del tratamiento. **CONCLUSIÓN:** Aquí, cierta evidencia con respecto al hecho de que tales exposiciones pueden alterar la actividad locomotora y Se presentó la tasa de disparo de neuronas en ratas macho.

(E) Rusovan A, Kanje M, Mild KH. El efecto estimulante de los campos magnéticos sobre la regeneración del nervio ciático de la rata depende de la frecuencia. Exp Neurol 1992;117(1):81-84.

(CS, AE, MC, MA)

Se estudiaron los efectos de la exposición a campos magnéticos sinusoidales sobre la regeneración del nervio ciático de ratas. Se midieron las distancias de regeneración después de una lesión por aplastamiento. Las ratas fueron expuestas a un campo magnético de 0,1 mT de varias frecuencias (50-2000 Hz) dentro de un par de bobinas de Helmholtz durante varios períodos de tiempo. La regeneración se midió mediante la prueba del pellizco o mediante tinción inmunocitoquímica de neurofilamentos 3, 4 o 6 días después de la lesión. Las frecuencias de 250, 500 y 1000 Hz aumentaron significativamente la distancia de regeneración. Las frecuencias más altas (2000 Hz) y más bajas (50 Hz) no tuvieron efecto. La estimulación máxima se obtuvo a 1000 Hz. A esta frecuencia, la tasa de regeneración aumentó en un 24%. Los resultados sugieren que existe una amplia ventana de frecuencia dentro de la cual los procesos de regeneración son sensibles a la perturbación por campos magnéticos y/o corrientes inducidas en el animal.

(E) Sakhaie MH, Soleimani M, Pourheydar B, Majd Z, Atefimanesh P, Asl SS, Mehdizadeh M. Efectos de los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja en la neurogénesis y el comportamiento cognitivo en un modelo experimental de lesión del hipocampo. Behav Neurol. 2017;2017:9194261. (AS, CE, BE, MC, MA, ND)

La exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja puede inducir una modulación constante de la plasticidad neuronal. En los últimos años se han hecho enormes esfuerzos

para diseñar una estrategia adecuada para mejorar la neurogénesis adulta, que parece verse frenada debido a la senescencia cerebral y varias enfermedades neurodegenerativas. En este estudio, evaluamos los efectos de los ELF-EMF en la neurogénesis y la memoria, después del tratamiento con cloruro de trimetilestaño (TMT) como neurotóxico. Los ratones de todos los grupos ($n = 56$) fueron inyectados con BrdU durante el experimento durante siete días consecutivos para marcar las células recién nacidas. La memoria espacial se evaluó mediante la prueba del laberinto acuático de Morris (MWM). Al final del experimento, se evaluaron la neurogénesis y la diferenciación neuronal en el hipocampo, mediante inmunohistoquímica y análisis Western blot. Con base en los hallazgos, la exposición a ELF-EMF mejoró el aprendizaje espacial y la memoria en la prueba MWM. La exposición a ELF-EMF mejoró significativamente el número de células BrdU+ y NeuN+ en el giro dentado de ratones adultos ($P < 0,001$ y $P < 0,05$, respectivamente). El análisis Western blot reveló una regulación positiva significativa de NeuroD2 en ratones expuestos a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF) en comparación con el grupo tratado con TMT ($P < 0,05$). Estos hallazgos sugieren que los campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF) podrían tener implicaciones clínicas para la mejora de los procesos neurodegenerativos y podrían ayudar a desarrollar un nuevo enfoque terapéutico en medicina regenerativa.

(E) Sakhnini L, Al Ali H, Al Qassab N, Al Arab E, Kamal A. La exposición subaguda a campos electromagnéticos de 50 Hz afecta la coordinación motora de ratones prenatales y neonatales. J. Appl. Phys. 111(7):07B314, 2012. (AS, CE, BE, DE)

En este estudio, investigamos el posible efecto de los campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF) en el rendimiento motor de ratones (ratones expuestos prenatal y neonatalmente). El rendimiento de los ratones se evaluó después de 5 días de exposición subaguda. Se eligieron ratones inmaduros para este estudio porque el cerebro inmaduro de los roedores aún tiene la capacidad de experimentar proliferación, diferenciación y reorganización. Los resultados de los experimentos con rotarod demostraron un déficit pronunciado en las capacidades de aprendizaje de los grupos expuestos prenatalmente, pero no se observó ningún efecto pronunciado en el grupo expuesto neonatal.

(E) Sales PM, de Andrade LM, Pitcher MR, Rola FH, Gondim FA. La levodopa mejora la inmovilidad inducida por la estimulación electromagnética de la médula espinal en ratas. Neurosci Lett. 633:196-201, 2016. (AS, CE, BE)

ANTECEDENTES: La estimulación electromagnética repetitiva (EMR) es un método inocuo aplicado para modular los neurocircuitos en tiempo real para estudiar la fisiología del sistema nervioso central y tratar afecciones neuropsiquiátricas. Los datos preliminares sugieren que la EMS espinal induce cambios de comportamiento en ratas despiertas. Sin embargo, los mecanismos detrás de este fenómeno siguen siendo en gran parte desconocidos. MÉTODOS: Veinticinco ratas Wistar macho se dividieron en cinco subgrupos de cinco animales cada uno: un subgrupo no recibió fármaco, dos subgrupos recibieron Levodopa + Benserazida 250 + 25 mg / kg durante dos o siete días, y los dos subgrupos restantes recibieron Haloperidol 0,1 o 0,3 mg / kg durante dos días.

Los animales fueron inmovilizados durante una REM simulada (día 1) seguida de una REM real de la región cervicotorácica en un día diferente (día 2 o 7, según el subgrupo). Se cuantificaron cuatro parámetros de comportamiento: caminar, trepar, acicalarse y tomar curvas.

RESULTADOS: La rEMS redujo la capacidad de caminar y aumentó la duración de la maniobra de giro cuando se aplicó sobre la región cervicotorácica de animales sin medicación. Un tratamiento previo con levodopa+benserazida durante dos o siete días indujo una disminución adicional de la capacidad de caminar después de la rEMS. Esta reducción fue máxima después del tratamiento durante siete días.

y se asoció con la extinción de la escalada y el aumento de la toma de curvas. Un pretratamiento con Haloperidol 0,1 mg/kg redujo el acicalamiento después de la rEMS, pero no evitó la reducción de la marcha. CONCLUSIONES: La rEMS cervicotorácica indujo respuestas de inmovilidad complejas que están moduladas en parte por vías dopaminérgicas en ratas.

Se necesitan más estudios para determinar los mecanismos específicos implicados.

(E) Salunke BP, Umathe SN, Chavan JG. Participación del receptor NMDA en la ansiedad inducida por campos magnéticos de baja frecuencia en ratones. *Electromagn Biol Med.* 16 de octubre de 2013. [Publicado electrónicamente antes de su publicación impresa] (AS, CE, CC, BE)

Se ha informado que la exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELFMF) induce ansiedad en humanos y roedores. La ansiedad media a través de la activación del receptor N-metil-D-aspartato (NMDA), mientras que la activación del receptor de ácido γ -aminobutírico (GABA) la atenúa. Por lo tanto, el presente estudio se llevó a cabo para comprender la contribución de la modulación de los receptores NMDA y/o GABA en la ansiedad inducida por ELFMF para la cual ratones albinos suizos fueron expuestos a ELFMF (50 Hz, 10 G) sometidos a bobinas de Helmholtz. La exposición fue de 8 h/día durante 7, 30, 60, 90 y 120 días. El nivel de ansiedad se evaluó en laberinto elevado en cruz, prueba de campo abierto y prueba de interacción social, el día 7, 30, 60, 90 y 120 de exposición, respectivamente. Además, se evaluó el papel del GABA y el glutamato en la ansiedad inducida por ELFMF mediante el tratamiento de ratones con muscimol [0,25 mg/kg por vía intraperitoneal (ip)], bicuculina (1,0 mg/kg ip), NMDA (15 mg/kg ip) y MK-801 (0,03 mg/kg ip), como agonista y antagonista de los receptores GABAA y NMDA, respectivamente. El agonista del receptor de glutamato exacerbó mientras que el inhibidor atenuó la ansiedad inducida por ELFMF. Además, se determinaron los niveles de GABA y glutamato en regiones del cerebro, a saber, corteza, cuerpo estriado, hipocampo e hipotálamo.

Los experimentos demostraron un aumento significativo de los niveles de GABA y glutamato en el hipocampo y el hipotálamo. Sin embargo, los moduladores del receptor de GABA no produjeron un efecto significativo sobre la ansiedad inducida por ELFMF y los niveles elevados de GABA en la dosis probada.

En conjunto, estos hallazgos sugieren que ELFMF indujo significativamente un comportamiento de ansiedad e indicaron la participación del receptor NMDA en su efecto.

(E) Salunke BP, Umathe SN, Chavan JG. Evidencia experimental de la participación del óxido nítrico en el comportamiento similar al trastorno obsesivo compulsivo inducido por campos magnéticos de baja frecuencia. *Farmacocinética Bioquímica.* 122:273-278, 2014.

Está bien documentado que el campo magnético de frecuencia extremadamente baja (ELF MF) produjo efectos en la función del sistema nervioso en humanos y animales de laboratorio. Las vías dopaminérgicas y serotoninérgicas han sido implicadas en el trastorno obsesivo compulsivo (TOC). Recientemente se sugirió la participación del óxido nítrico (NO) en el comportamiento similar al TOC. Por lo tanto, el presente estudio se llevó a cabo para comprender la participación de la dopamina, la serotonina y el NO en el comportamiento similar al TOC inducido por ELF MF. Se expuso a ratones albinos suizos a ELF MF (50Hz, 10G) durante 8 h/día durante 7, 30, 60, 90 y 120 días sometidos a bobinas de Helmholtz. El comportamiento similar al TOC se evaluó en términos de la prueba de comportamiento de enterrar canicas (MBB). Los resultados revelaron que ELF MF indujo MBB dependiente del tiempo, en los días de exposición 7, 30, 60, 90 y 120. Además, los niveles de

Se determinaron los niveles de dopamina, serotonina y NO después de 120 días de exposición a MF de ELF en regiones del cerebro. Los estudios neurohumorales revelaron que la exposición a MF de ELF aumentó los niveles de NO en la corteza, el hipocampo y el hipotálamo, y los niveles de dopamina y serotonina no se vieron afectados. Como el comportamiento similar al TOC después de la exposición a MF de ELF se asoció con niveles más altos de NO sin cambios significativos en la serotonina y la dopamina, se estudió el efecto de dicha exposición en grupos tratados simultáneamente con moduladores de NO, precursor de NO, L-ARG (400 mg/kg) o inhibidor de NOS, L-NAME (15,0 mg/kg) o 7-NI (10,0 mg/kg). Estos tratamientos revelaron que el precursor de NO exacerbó y los inhibidores de NOS atenuaron el comportamiento similar al TOC inducido por MF de ELF con los cambios correspondientes en los niveles de NO.

(E) Samiee F, Samiee K. Efecto del campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja en la histopatología cerebral del *Cyprinus carpio* del Mar Caspio. *Electromagn Biol Med*. 36(1):31-38, 2017. (AS, AE, MC)

Existen investigaciones limitadas sobre el efecto del campo electromagnético en los organismos acuáticos, especialmente en las especies de peces de agua dulce. Este estudio se realizó para evaluar el efecto de la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) (50 Hz) en la histopatología cerebral de *Cyprinus carpio*, una de las especies importantes del Mar Caspio con un valor económico significativo. En este estudio se utilizaron un total de 200 peces sanos. Se clasificaron aleatoriamente en dos grupos: grupo de exposición simulada y grupo experimental, que fueron expuestos a cinco intensidades de campo magnético diferentes (0,1, 1, 3, 5 y 7 mT) en dos tiempos de exposición diferentes (0,5 y 1 h). Los resultados histológicos indican que la exposición de *C. carpio* a ELF-EMF artificiales causó cambios histopatológicos graves en el cerebro a intensidades de campo ≥ 3 mT que llevaron a necrosis cerebral. La intensidad del campo y la duración de la exposición fueron parámetros clave en la inducción de lesiones en el cerebro. Se necesitan más estudios para dilucidar el mecanismo exacto de la exposición a EMF en el cerebro.

(E) Savić T, Janać B, Todorović D, Prolić Z. El desarrollo embrionario y postembrionario en dos especies de *Drosophila* expuestas al campo magnético estático de 60 mT. *Electromagn Biol Med*. 30(2):108-114, 2011. (AS, CE, DE)

En este estudio, se investigó la influencia del campo magnético estático en el desarrollo y la viabilidad de dos especies diferentes, *Drosophila melanogaster* y *Drosophila hydei*. Ambas especies completaron su desarrollo (huevo-adulto), dentro y fuera del campo magnético estático inducido por un imán de doble herradura. Los viales tratados con huevos se colocaron en el espacio entre los polos magnéticos (47 mm) y se expusieron a la inducción magnética promedio de 60 mT, mientras que los de control se mantuvieron lo suficientemente lejos de la fuente del campo magnético. Descubrimos que la exposición al campo magnético estático redujo el tiempo de desarrollo en ambas especies, pero solo se encontró significancia estadística para *D. hydei*.

Además, encontramos que la viabilidad media de ambas especies de *Drosophila* expuestas al campo magnético fue significativamente menor en comparación con las de control. Estos resultados indican que el campo magnético estático de 60 mT podría considerarse un factor estresante potencial, que influye en diferentes niveles en el desarrollo embrionario y postembrionario de los individuos.

(E) Schmid MR, Murbach M, Lustenberger C, Maire M, Kuster N, Achermann P, Loughran SP. Alteraciones del EEG del sueño: efectos de los campos magnéticos pulsados frente a los campos magnéticos pulsados.

Campos electromagnéticos de radiofrecuencia modulados. J Sleep Res. 22 de junio de 2012. doi: 10.1111/j.1365-2869.2012.01025.x. [Publicación electrónica antes de la impresión] (HU, AE, EE)

Los estudios han demostrado repetidamente que la potencia electroencefalográfica durante el sueño aumenta en el rango de frecuencia del huso después de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia modulados por pulsos con componentes de frecuencia fundamental de 2, 8, 14 o 217 Hz y combinaciones de estos. Sin embargo, las señales utilizadas en estudios anteriores también tenían componentes armónicos significativos por encima de los 20 Hz. El estudio actual tenía como objetivo: (i) determinar si los componentes de modulación por encima de los 20 Hz Hz, en combinación con radiofrecuencia, son necesarios para alterar el electroencefalograma; y (ii) para probar la hipótesis de demodulación, si los mismos efectos ocurren después de la exposición al campo magnético con la misma secuencia de pulsos utilizada en la exposición a radiofrecuencia modulada por pulsos. En un diseño cruzado, doble ciego y aleatorizado, 25 hombres jóvenes sanos fueron expuestos a intervalos semanales a tres condiciones diferentes durante 30 minutos antes de dormir. También se realizaron tareas cognitivas durante la exposición. Las condiciones fueron un campo de radiofrecuencia modulada por pulsos de 2 Hz, un campo magnético pulsado de 2 Hz y una simulación. La exposición a radiofrecuencia aumentó la potencia del electroencefalograma en el rango de frecuencia del huso. Además, la actividad delta y theta (sueño sin movimientos oculares rápidos) y la actividad alfa y delta (sueño con movimientos oculares rápidos) se vieron afectadas después de ambas condiciones de exposición. No se observó ningún efecto sobre la arquitectura del sueño ni un impacto claro de la exposición sobre la cognición. Estos resultados demuestran que tanto la radiofrecuencia modulada por pulsos como los campos magnéticos pulsados afectan la fisiología cerebral y la

La presencia de componentes de frecuencia significativos por encima de los 20 Hz no es fundamental para que se produzcan estos efectos. Dado que las respuestas no fueron idénticas para todas las exposiciones, el estudio no respalda la hipótesis de que los efectos de la exposición a radiofrecuencias se basen únicamente en la demodulación de la señal.

(E) Sekar S, Zhang Y, Mahabadi HM, ParviziA, Taghibiglou C. La estimulación magnética de campo bajo restaura las funciones cognitivas y motoras en el modelo de ratón de lesión cerebral traumática repetida: papel de la proteína priónica celular. J Neurotrauma 36(22):3103-3114, 2019. (AS, CE, BE, CE, MA)

La lesión cerebral traumática (LCT)/conmoción cerebral es una epidemia creciente en todo el mundo. Las disfunciones de la memoria y neuroconductuales se encuentran entre las secuelas de la LCT. El desprendimiento de la proteína priónica celular (PrPc) y la alteración del ritmo circadiano se han relacionado con la LCT. La estimulación magnética de campo bajo (LFMS) es una nueva técnica de estimulación magnética transcraneal repetitiva (rTMS) no invasiva que genera una estimulación magnética difusa y de baja intensidad en áreas corticales y subcorticales profundas. En el presente estudio se estudió el papel de la LFMS en la PrPc, las proteínas relacionadas con el ritmo circadiano y las alteraciones del comportamiento en un modelo murino de LCT repetido. La LCT se indujo a los ratones (hemisferio derecho) utilizando el método de caída de peso, una vez al día durante 3 días. El tratamiento con LFMS se administró durante 20 minutos una vez al día durante 4 días (inmediatamente después de cada inducción de LCT).

Los resultados mostraron que los ratones con TCE tratados con LFMS mejoraron significativamente la función cognitiva y motora, como se evidenció en las tareas de exploración de campo abierto, rotarod y reconocimiento de nuevas ubicaciones. Además, se observó un aumento significativo de PrPc y una disminución de los niveles de proteína ácida fibrilar glial en las regiones corticales e hipocámpales del cerebro de los ratones con TCE tratados con LFMS en comparación con los ratones con TCE tratados con placebo, mientras que el nivel de núcleos neuronales aumentó significativamente en la región cortical. En ratones tratados con LFMS, se observó una disminución de las proteínas relacionadas con el ritmo circadiano,

En comparación con ratones con TCE tratados con placebo, los resultados obtenidos en el estudio demostraron el efecto neuroprotector de la LFMS, que puede ser a través de la regulación de la PrPc y/o proteínas relacionadas con el ritmo circadiano. Por lo tanto, el presente estudio sugiere que la LFMS puede mejorar la condición neurológica del sujeto después de un TCE.

(E) Selaković V, Rauš Balind S, Radenović L, Prolić Z, Janać B. Efectos dependientes de la edad de ELF-MF sobre el estrés oxidativo en el cerebro de jerbos de Mongolia. *Cell Biochem Biophys*. 66(3):513-521, 2013. (COMO, CE, OX)

El objetivo del estudio fue investigar los efectos del campo magnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF; 50 Hz; 0,1, 0,25 y 0,5 mT) sobre el estrés oxidativo en el cerebro de jerbos de 3 (adultos) y 10 meses (de mediana edad). El nivel de óxido nítrico (NO), la producción de superóxido (O(2) (-)), la actividad de superóxido dismutasa (SOD) y el índice de peroxidación lipídica (ILP) se midieron en la corteza del prosencéfalo, el cuerpo estriado, el hipocampo y el cerebelo inmediatamente y 3 días después del cese de la exposición de 7 días. En todos los jerbos, ELF-MF aumentó significativamente el estrés oxidativo en todas las regiones cerebrales evaluadas. Este efecto se correlacionó con el valor de la inducción magnética y fue mayor en los jerbos de mediana edad. Tres días después del cese de la exposición, los valores de los parámetros examinados estaban más cerca de los niveles de control. En jerbos adultos, el efecto de ELF-MF de 0,1 mT sobre el nivel de NO, O(2) (-) la producción de SOD y la actividad de SOD desaparecieron casi por completo, y el ILP se encontraba en el nivel de control independientemente del valor de la inducción magnética. En los jerbos de mediana edad, el efecto de ELF-MF todavía estaba presente, pero en un grado menor que los observados inmediatamente después del cese de la exposición. Estos hallazgos señalaron la capacidad de ELF-MF para inducir una modificación dependiente de la edad y la inducción magnética del estrés oxidativo en el cerebro.

(E) Seong Y, Moon J, Kim J. Egr1 media la diferenciación neuronal inducida por campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja. *Life Sci*. 25 de abril de 2014;102(1):16-27. (CS, CE, MC, ND)

OBJETIVO: Existe una frecuencia específica de campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) que promueve la diferenciación neuronal. Aunque se conocen varios mecanismos que regulan la diferenciación neuronal inducida por ELF-EMF, se desconoce en gran medida un factor clave que media los potenciales neurogénicos por el ELF-EMF. Además, aún está por determinar el uso potencial de la exposición a ELF-EMF en ensayos de trasplante de células, incluido su posible uso en la terapia basada en ELF-EMF de enfermedades neurológicas. El objetivo de este estudio es comprender los mecanismos subyacentes que median la diferenciación neuronal inducida por ELF-EMF y también aprovechar estos mecanismos para ensayos de trasplante de células. MÉTODO PRINCIPAL: Se expusieron células madre mesenquimales de médula ósea humana (hBM-MSC) a ELF-EMF (frecuencia de 50 Hz, intensidad de 1 mT) durante 8 días. Luego, las neuronas derivadas de hBM-MSC se analizaron mediante técnicas de biología molecular general, incluida la inmunofluorescencia y la RT-PCR cuantitativa. Para evaluar los cambios en la expresión génica inducidos por la exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF), analizamos el transcriptoma de las células neuronales después de una exposición de 8 días a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (50 Hz, 1 mT) y comparamos los perfiles transcripcionales con las células de control. HALLAZGO CLAVE: Descubrimos que la proteína 1 de respuesta al crecimiento temprano (Egr1) es uno de los factores de transcripción clave en la diferenciación neuronal inducida por campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF). Además, demostramos que los trasplantes de neuronas inducidas por campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF)

Aliviar los síntomas en modelos de ratones con enfermedades neurodegenerativas. SIGNIFICADO: Estos hallazgos indican que un factor transcripcional específico, Egr1, media las diferenciaciones neuronales inducidas por ELF-EMF y demuestran la promesa de las terapias de reemplazo celular basadas en ELF-EMF para enfermedades neurodegenerativas.

(E) ShabaniZ, Nejad DM, GhadiriT, KarimipourM. Evaluación de los efectos neuroprotectores de la vitamina E en las células neuronales de la sustancia negra de ratas expuestas a un campo electromagnético: un estudio ultraestructural. *Electromagn Biol Med* 2021;1-10.doi: 10.1080/15368378.2021.1907404. En línea antes de su impresión. (AS, CE, MC, CC, OX, MA, ND, IX)

Los campos electromagnéticos (CEM) podrían inducir estrés oxidativo (EO) en los tejidos humanos. La peroxidación lipídica (LPO) es el principal sello distintivo del EO que daña los componentes de las células neuronales, principalmente los lípidos en las vainas y membranas de mielina. La vitamina E es un antioxidante lipofílico que protege a las células de los daños relacionados con el EO e inhibe el proceso de LPO. En este estudio, las ratas macho se asignaron a tres grupos de control, EMF y EMF + vitamina E. El equipo productor de EMF produjo una corriente alterna de 50 Hz, 3 mili Tesla (mT). Al final del experimento, la mitad de la sustancia negra en cada muestra se utilizó para la medición del nivel de malondialdehído (MDA) como producto final del LPO y la actividad de la enzima superóxido dismutasa (SOD). La siguiente mitad del tejido se preparó para microscopía electrónica de transmisión (TEM). En el grupo EMF, el nivel de MDA aumentó y el valor de SOD disminuyó significativamente en comparación con el grupo de control, pero la vitamina E pudo restaurar estos cambios. En las ratas sometidas a CEM se detectó heterocromía del núcleo y destrucción de algunas porciones de la membrana nuclear. Se observó la separación segmentaria o destrucción de las láminas de la vaina de mielina en las fibras nerviosas. En los animales tratados, el núcleo era redondo, menos heterocromático, con una membrana regular. La separación de las láminas de la vaina de mielina en algunas fibras nerviosas fue menor que en el grupo de radiación. Teniendo en cuenta los resultados, la exposición a CEM induce LPO y desencadena cambios ultraestructurales en las membranas celulares, el núcleo y la vaina de mielina de las células de la sustancia negra, pero el consumo de vitamina E debilita estas alteraciones neuropatológicas.

(E) Shafiei SA, Firoozabadi SM, Rasoulzadeh Tabatabaie K, Ghabaee M. Estudio de los parámetros de frecuencia del EEG influenciados por la exposición local ELF-MF dependiente de la zona en la cabeza humana. *Electromagn Biol Med*. 31(2):112-12, 2012. (HU, AE, EE)

Se ha informado que los sujetos humanos expuestos a campos electromagnéticos presentan cambios en las señales de EEG humanas a la frecuencia de estimulación. El objetivo del presente estudio fue exponer localmente diferentes partes del cerebro a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja e investigar las alteraciones del espectro de potencia del EEG a la frecuencia de estimulación. El espectro de potencia relativa del EEG se evaluó a frecuencias de 3, 5, 10, 17 y 45 Hz en los puntos T4, T3, F3, Cz y F4, respectivamente, cuando estos puntos se expusieron a campos magnéticos con frecuencias similares e intensidad de 100 μ T. Los resultados de la prueba t pareada mostraron que el valor de potencia del EEG no se alteró significativamente a la frecuencia de estimulación ($P < 0,05$). Además, se observaron cambios significativos en diferentes bandas de EEG causados por la exposición local a ELF-MF en diferentes puntos del cerebro. Los cambios en las bandas de EEG no se limitaron necesariamente al punto de exposición.

(E) Shafiei SA, Firoozabadi SM, Tabatabaie KR, Ghabaee M. Investigación de los cambios en el EEG durante la exposición a un campo magnético de frecuencia extremadamente baja para conducir señales cerebrales. *Neurol Sci.* 27 de mayo de 2014. [Publicado electrónicamente antes de su publicación impresa] (HU, AE, EE)

Existen evidencias que confirman el efecto de los campos magnéticos (CM) sobre las señales cerebrales y algunos trastornos psicológicos como el dolor de cabeza, la migraña y la depresión. El objetivo del presente estudio fue investigar los cambios en el espectro de potencia del EEG debido a la exposición localizada en diferentes partes del cerebro por campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-CM) para extraer algunos protocolos para el tratamiento de algunos trastornos psicológicos. Además, se investigaron los efectos regulares al aumentar la intensidad de ELF-CM. Por lo tanto, el espectro de potencia relativa del EEG se evaluó en los puntos T4, T3, F3, F4 y Cz, cuando todos los puntos fueron expuestos a CM con frecuencias de 45, 17, 10, 5 y 3 Hz, por separado. La intensidad de los CM fue de 0, 100, 240 o 360 μ T en cuatro sesiones. Se observaron cambios significativos en diferentes bandas de EEG causados por la exposición local a ELF-CM en diferentes puntos del cerebro ($P < 0,05$). Algunas exposiciones a MF disminuyeron la banda alfa de las áreas frontal y central en estado de ojos cerrados. Con base en los hallazgos de este estudio, se pueden diseñar algunos protocolos utilizando una combinación de varias exposiciones a MF para conducir las señales cerebrales necesarias para la evaluación clínica.

(E) Shahbazi-Gahrouei D, Shiri L, Alaei H, Naghdi N. El efecto de los ELF-MF continuos en el nivel de 5-HIAA en el núcleo del rafe de la rata. *J Radiat Res.* 57:127-132, 2016. (AS, CE, CC, MA)

El objetivo de este estudio fue investigar el efecto de los campos magnéticos continuos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) con una frecuencia de 10 Hz y una intensidad de 690-720 μ T sobre el nivel de ácido 5-hidroxiindolacético (5-HIAA) en ratas Wistar macho adultas. Se utilizó un total de 24 ratas Wistar macho adultas y, después de la exposición a un ELF-MF durante 15 días sucesivos, todas las ratas de cada prueba fueron anestesiadas con hidrato de cloral. Luego, se colocaron en un marco estereotáxico para la cirugía y un proceso de microdialisis. Las muestras de dializado se analizaron para medir la cantidad de 5-HIAA mediante cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC) utilizando detección electroquímica.

Los resultados mostraron que la exposición a ELF-MF durante 15 días, 1 h al día, no fue eficaz para alterar el nivel de 5-HIAA. Sin embargo, la exposición a ELF-MF durante 15 días, 3 h al día, disminuyó el nivel de 5-HIAA en el núcleo del rafe. Se puede concluir que los ELF-MF afectan el sistema serotoninérgico y pueden usarse para tratar enfermedades del sistema nervioso. Este estudio es un paso inicial para ayudar a curar la depresión utilizando ELF-MF.

(E) Shen JF, Chao YL, Du L. Efectos de los campos magnéticos estáticos sobre las corrientes de los canales de potasio dependientes del voltaje en las neuronas del ganglio de la raíz del trigémino. *Neurosci Lett.* 415(2):164-168, 2007. (CS, AE, CC, FC)

Para evaluar los efectos de los campos magnéticos estáticos (SMF) de intensidad moderada en dos tipos de corrientes de canales de potasio dependientes de voltaje (VGPC): $I(K,A)$ e $I(K,V)$, se llevaron a cabo experimentos de fijación de parche de célula completa en neuronas del ganglio de la raíz del trigémino (TRG) de rata disociadas agudas. Los resultados demostraron que 125 mT SMF podría influir en la cinética de inactivación de estas dos corrientes VGPC al alterar la tasa y la velocidad de inactivación. No se observó ningún cambio significativo en las propiedades de activación. Estos hallazgos

Apoyó la hipótesis de que la membrana biológica se deformaría en condiciones moderadas.

La intensidad de la SMF y las características fisiológicas de los canales iónicos en la membrana se verían afectadas.

También se discutió el mecanismo subyacente a los diferentes efectos de la SMF en la inactivación de I(K,A) e I(K,V).

(E) Shepherd S, Hollands G, Godley VC, Sharkh SM, Jackson CW, Newland PL. Aumento de la agresividad y reducción del aprendizaje aversivo en abejas melíferas expuestas a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja. PLoS One. 10 de octubre de 2019;14(10):e0223614. (AS, BE)

Las abejas melíferas, *Apis mellifera*, son una especie polinizadora de importancia mundial y actualmente están en declive, con pérdidas atribuidas a una serie de factores estresantes ambientales que interactúan entre sí. Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (CEM de ELF) son un factor ambiental abiótico menos conocido que se emite desde una variedad de fuentes antropogénicas, incluidas las líneas eléctricas, y recientemente se ha demostrado que tienen un impacto significativo en las capacidades cognitivas y el comportamiento de las abejas melíferas. Aquí hemos investigado los efectos de los niveles realistas de CEM de ELF en el aprendizaje aversivo y los niveles de agresión, que son factores críticos para que las abejas mantengan la fuerza de la colonia. Las abejas fueron expuestas durante 17 h a 100 μ T o 1000 μ T de CEM de ELF, o un control simulado. Se realizó un ensayo de respuesta de extensión de picadura (SER) para determinar los efectos de los CEM de ELF en el aprendizaje aversivo, mientras que se realizó un ensayo de intruso para determinar los efectos de los CEM de ELF en los niveles de agresión. La exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF) de 100 μ T y 1000 μ T redujo el rendimiento de aprendizaje aversivo en más del 20 %. La exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF) de 100 μ T también aumentó los índices de agresividad en un 60 %, en respuesta a abejas intrusas de colmenas extrañas. Estos resultados indican que la exposición a corto plazo a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF), a niveles que podrían encontrarse en colmenas situadas bajo líneas eléctricas, redujo el aprendizaje aversivo y aumentó los niveles de agresividad. Estos cambios de comportamiento podrían tener implicaciones ecológicas más amplias en términos de la capacidad de las abejas para interactuar con amenazas y estímulos ambientales negativos y responder adecuadamente a ellos.

(E) Shin EJ, Jeong JH, Kim HJ, Jang CG, Yamada K, Nabeshima T, Kim HC. La exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja mejora la actividad locomotora a través de la activación de receptores similares a la dopamina D1 en ratones. J Pharmacol Sci. 105(4):367-371, 2007. (AS, AE, CE, BE, CC)

Demostramos que la exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) mejoraba los niveles de dopamina en el cuerpo estriado de ratas. Para ampliar nuestra comprensión, examinamos el papel de los receptores dopaminérgicos en los cambios de comportamiento inducidos por ELF-MF. La exposición a ELF-MF (2,4 mT, 1 h/día, durante uno o siete días) mejoró la actividad locomotora de manera dependiente del tiempo. Esta actividad hiperlocomotora fue paralela a un aumento de la inmunorreactividad similar a c-Fos (c-Fos-IR). El tratamiento previo con SCH23390, un antagonista del receptor dopaminérgico tipo D(1), pero no con sulpirida, un antagonista del receptor dopaminérgico tipo D(2), inhibió el aumento de la actividad locomotora inducido por ELF-MF y el c-Fos-IR. Por lo tanto, nuestros resultados sugieren que las respuestas conductuales inducidas por ELF-MF están mediadas, al menos en parte, por la activación de los receptores dopaminérgicos tipo D(1).

(E) Shin EJ, Nguyen XK, Nguyen TT, Pham DT, Kim HC. La exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja induce inmunorreactividad relacionada con el antígeno fos a través de la activación del receptor dopaminérgico D1. Exp Neurobiol. 20(3):130-6, 2011. (CE, BE, CC)

Anteriormente demostramos que la exposición repetida a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) aumenta la actividad locomotora a través de la estimulación del receptor dopaminérgico D1 (J. Pharmacol. Sci., 2007;105:367-371). Dado que se ha demostrado que los factores de transcripción de la proteína activadora 1 (AP-1), especialmente el antígeno relacionado con fos (FRA) de 35 kDa, desempeñan un papel clave en la adaptación neuronal y conductual en respuesta a diversos estímulos, examinamos si la exposición repetida a ELF-MF induce inmunorreactividad de FRA (FRA-IR) en el cuerpo estriado y el núcleo accumbens (complejo estriatal) de los ratones. La exposición repetida a ELF-MF (0,3 o 2,4 mT, 1 h/día, durante catorce días consecutivos) indujo significativamente la actividad hiperlocomotriz y la FRA-IR en el complejo estriatal de una manera dependiente de la intensidad del campo. La FRA-IR inducida por ELF-MF duró al menos 1 año, mientras que la actividad locomotora regresó cerca del nivel de control 3 meses después de la exposición final a ELF-MF. El tratamiento previo con SCH23390, un antagonista del receptor dopaminérgico D1, pero no con sulpirida, un antagonista del receptor dopaminérgico D2, atenuó significativamente la actividad hiperlocomotriz y la FRA-IR inducida por ELF-MF. Nuestros resultados sugieren que la exposición repetida a ELF-MF conduce a una estimulación locomotora prolongada y a una expresión a largo plazo de FRA en el complejo estriatal de los ratones a través de la estimulación del receptor dopaminérgico D1.

(E) ShuoT, Yumeng Y, Leilei Y, Yanhui H, Chao Y, Hua Y, X, Zhaoqian J, Cuicui H, Hongyan Z, YangL. El campo magnético estático induce una anomalía en el metabolismo de la glucosa en el cerebro de las ratas y provoca un comportamiento similar a la ansiedad. J Chem Neuroanat. 2021 113:101923. (AS, CE, CC, BE)

En este estudio, cincuenta y cuatro ratas Wistar macho se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos según la intensidad del campo magnético estático (SMF), a saber, grupos de control, de baja intensidad, de intensidad moderada y de alta intensidad. Todo el cuerpo de las ratas se expuso a una fuente de exposición de imán superconductor. La intensidad de exposición del SMF para los grupos de baja intensidad, intensidad moderada y alta intensidad fue de 50 m T, 100 m T y 200 m T, respectivamente, y el tiempo de exposición fue de 1 h/día durante 15 días consecutivos. Después de diferentes tiempos de exposición, se evaluó el metabolismo de la glucosa en el cerebro de las ratas mediante tomografía por emisión de micropositrones (micro-PET), y se detectó la expresión de hexoquinasa 1 (HK1) y 6-fosfato fructoquinasa-1 (PFK1) mediante transferencia Western. Las capacidades de exploración y locomoción de las ratas se evaluaron mediante la realización de una prueba de campo abierto (OFT). Además, se observaron cambios patológicos en el cerebro de las ratas bajo un microscopio utilizando tinción de hematoxilina-eosina. Los resultados de la PET mostraron que los SMF de intensidad moderada podrían causar cambios fluctuantes en el metabolismo de la glucosa en el cerebro de las ratas y las anomalías dependían de la intensidad del SMF. La expresión de las dos enzimas limitantes de la velocidad HK1 y PFK1 en el metabolismo de la glucosa en el cerebro disminuyó significativamente después de la exposición al SMF. La OFT mostró que la distancia total, la distancia circundante, el tiempo de actividad y los tiempos de escalada y de pie disminuyeron significativamente después de la exposición al SMF. Los principales cambios patológicos en el cerebro fueron picnosis, edema de neuronas y ligero ensanchamiento del espacio perivascular, que se produjo después de 15 veces de exposición. Este estudio indicó que la exposición al SMF podría conducir a un metabolismo anormal de la glucosa en el cerebro y podría resultar en comportamientos similares a la ansiedad.

(E) Sieroń A, Brus R, Szkilnik R, Plech A, Kubański N, Cieślár G. Influencia de los campos magnéticos de baja frecuencia alternados en la reactividad de los receptores centrales de dopamina en ratas neonatales tratadas con 6-hidroxidopamina. Bioelectromagnetismo. 2001 Oct;22(7):479-86. (AS, CE, FC)

El objetivo de este estudio fue evaluar la influencia de un campo magnético de frecuencia extremadamente baja (ELF MF) en la reactividad del receptor central de dopamina D(1) en ratas con neuronas dopaminérgicas dañadas químicamente por 6-hidroxidopamina (6-OHDA), un modelo animal de la enfermedad de Parkinson humana. El experimento se llevó a cabo en ratas Wistar macho. El tercer día de vida postnatal, se indujo un daño químico duradero y selectivo del sistema central de dopamina en las ratas mediante la infusión de 6-OHDA HBr (133,4 microg intracerebroventricular, forma básica) administrada bilateralmente en los ventrículos laterales del cerebro.

Los animales de control recibieron tratamientos similares, inyectando únicamente el vehículo. A los 2 meses de edad, tanto las ratas tratadas con 6-OHDA como las ratas de control se dividieron aleatoriamente en dos grupos. Las ratas del primer grupo fueron expuestas a un campo magnético sinusoidal de 10 Hz, 1,8-3,8 mT, una hora diaria durante 14 días. Las ratas del segundo grupo fueron expuestas de forma simulada, con el solenoide del aplicador apagado. El día después de la exposición final, se realizaron las evaluaciones de la irritabilidad espontánea, la actividad oral y la catalepsia de la rata. La rata expuesta a MF con daño en las neuronas de dopamina inducido químicamente mostró una reducción de la irritabilidad y la actividad oral cuando se la estimuló con SKF 38393 (el agonista del receptor central de dopamina D(1)) y cierto aumento de la catalepsia después de la administración de SCH 23390 (el antagonista del receptor central de dopamina D(1)). Estos resultados indican que el MF de ELF reduce la reactividad de los receptores centrales de dopamina D(1) en ratas.

(NE) Sorahan T, Mohammed N. Enfermedades neurodegenerativas y exposición a campos magnéticos en trabajadores de suministro eléctrico del Reino Unido. Occup Med (Londres). 7 de agosto de 2014. pii: kqu105. [Publicado electrónicamente antes de su publicación impresa]. (CE, HU, ND)

ANTECEDENTES: Investigaciones anteriores han sugerido un posible vínculo entre la enfermedad neurodegenerativa y la exposición a campos eléctricos y magnéticos de frecuencia extremadamente baja.

OBJETIVOS: Investigar si los riesgos de Alzheimer, enfermedad de la neurona motora o enfermedad de Parkinson están relacionados con la exposición ocupacional a campos magnéticos. MÉTODOS: Se investigó la mortalidad experimentada por una cohorte de 73051 empleados de la antigua Central Electricity Generating Board de Inglaterra y Gales durante el período 1973-2010. Todos los empleados fueron contratados en el período 1952-82, estuvieron empleados durante al menos 6 meses y tuvieron algún empleo después del 1 de enero de 1973. Otros habían realizado cálculos detallados para permitir una evaluación de la exposición a campos magnéticos. Se utilizó la regresión de Poisson para calcular los riesgos relativos (cocientes de tasas) de desarrollar cualquiera de las tres enfermedades en investigación para las categorías de exposición de por vida, distante (retrasada) y reciente (arrastrada). RESULTADOS: No se observaron tendencias estadísticamente significativas de aumento de los riesgos de cualquiera de estas enfermedades con las estimaciones de exposición a campos magnéticos durante la vida, reciente o distante. CONCLUSIONES: No hay evidencia convincente de que los trabajadores de generación y transmisión de electricidad del Reino Unido hayan sufrido riesgos elevados de enfermedades neurodegenerativas como consecuencia de la exposición a campos magnéticos.

(NE) Sorahan T, Nichols L Riesgo de enfermedad de la neurona motora y exposición a campos magnéticos. *Occup Med* (Londres) 23 de diciembre de 2021;kqab180. doi: 10.1093/occmed/kqab180. En línea antes de su publicación impresa.

(Huesos, Europa, Dakota del Norte)

Antecedentes: Muchos estudios han investigado la exposición a campos magnéticos y los riesgos de enfermedad de la neurona motora (EMN). Los metanálisis han encontrado asociaciones positivas, pero no se ha establecido una relación causal. Objetivos: Investigar los riesgos de EMN y la exposición ocupacional a campos magnéticos en una gran cohorte del Reino Unido. Métodos: Se investigó la mortalidad de 37 986 empleados de la antigua Central Electricity Generating Board de Inglaterra y Gales durante el período 1987-2018. Los empleados fueron empleados por primera vez en el período 1942-82 y todavía estaban empleados el 1 de noviembre de 1987. Los cálculos detallados permitieron realizar estimaciones de las exposiciones a campos magnéticos. Las muertes observadas se compararon con los números esperados basados en las tasas de mortalidad para la población general de Inglaterra y Gales y se utilizó la regresión de Poisson para calcular las razones de tasas (riesgos relativos) para las categorías de exposición a campos magnéticos de por vida, rezagada (distante) y arrastrada (reciente). Resultados: La mortalidad por ELA en la cohorte total fue similar a las tasas nacionales (observada 69, esperada 71,3, SMR 97, IC del 95% 76-122). No hubo tendencias estadísticamente significativas de aumento de los riesgos con la exposición a campos magnéticos durante la vida, reciente o distante, aunque se observaron asociaciones positivas para algunas categorías de exposición reciente. Conclusiones: El estudio no encontró que la cohorte tuviera riesgos elevados de ELA como consecuencia de la exposición ocupacional a campos magnéticos durante la vida, aunque podría investigarse útilmente un posible papel para las exposiciones recientes en otros conjuntos de datos.

(E) Spasić S, Kesić S, Stojadinović G, Petković B, Todorović D. Efectos de los campos magnéticos estáticos y de ELF en la actividad de la población neuronal en el lóbulo antenal de *Morimus funereus* (Coleoptera, Cerambycidae) revelados por análisis de wavelets. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*. 181-27-35, 2015. (AS, AE, EE)

Para estudiar la influencia de un campo magnético estático (SMF, 2mT) y un campo magnético de frecuencia extremadamente baja (ELF MF, 50Hz, 2mT) en la actividad de la población neuronal, los experimentos se realizaron en escarabajos longicornios adultos *Morimus funereus* (Coleoptera, Cerambycidae). Basándonos en un análisis wavelet de los potenciales de campo local (LFP), nuestro estudio mostró por primera vez que los efectos de la exposición prolongada y repetida al ELF MF en los LFP eran irreversibles dentro del marco de tiempo investigado. La energía wavelet relativa (RWE) de la banda de frecuencia de 4-8Hz aumentó significativamente después del ELF MF sinusoidal (SnMF)/ELF MF cuadrado (SqMF) en comparación con el valor de control. El RWE de oscilaciones más lentas (1-2Hz) disminuyó significativamente después de las exposiciones repetidas a SnMF o SqMF. El SqMF indujo la disminución de las ondas más rápidas en el rango de 64-128Hz. Sin embargo, no hemos podido demostrar con los métodos presentados que la exposición al SMF durante 5 minutos produzca efectos sobre la actividad de la población neuronal. Este estudio ha demostrado que la transformada wavelet es una herramienta valiosa para medir los efectos del SMF y el ELF MF sobre la actividad de la población neuronal en el lóbulo antenal de *M. funereus*.

(E) Stevens P. Respuesta afectiva a los cambios fisiológicos inducidos por un campo magnético de 5 microT ELF. *Bioelectromagnetismo*. 28(2):109-114, 2007. (HU, AE, BE)

La investigación sobre los efectos de los campos magnéticos débiles (MF) en frecuencias biológicamente relevantes ha producido resultados ambiguos. Aunque sí afectan la fisiología y el comportamiento humanos, la dirección de los efectos es inconsistente, siendo susceptibles una variedad de comportamientos complejos y no relacionados. Una posible explicación es que estos efectos, en lugar de ser causados directamente, están relacionados con cambios en el estado afectivo. Un estudio previo mostró que los MF alteraban el contenido afectivo de las percepciones concurrentes, pero no estaba claro si la respuesta emocional era directa o indirecta. Aquí se muestra que la exposición a un MF de 0-5 microT (forma de onda sinusoidal con desplazamiento de CC) dentro de las frecuencias de banda alfa del EEG (8-12 Hz), da como resultado un cambio informado en el estado emocional. Esto se relaciona con una disminución de la potencia del campo global pero carece de la asimetría alfa frontal que indicaría fisiológicamente un estado emocional inducido directamente, lo que sugiere que las experiencias de los participantes se deben a una interpretación de los efectos de los MF.
exposición.

(E) Strasák L, Bártošová E, Krejčí J, Fojt L, Vetterl V. Efectos de ELF-EMF sobre proteínas cerebrales en ratones. Electromagn Biol Med. 28(1):96-104, 2009. (AS, AE, CC)

Se estudió el efecto de los campos electromagnéticos de baja frecuencia en ratones. Analizamos el nivel de proteína en el cerebro de ratones. Los niveles de c-Jun y c-Fos en cerebros se midieron mediante técnicas de Western-blot. Ratones de laboratorio hembra y macho fueron expuestos durante 4 días a un campo magnético ($B_m = 2 \text{ mT}$, $f = 50 \text{ Hz}$). La exposición se llevó a cabo en una bobina cilíndrica a temperatura de laboratorio. Después del experimento, los ratones fueron sacrificados y se estimó el nivel de proteína c-Jun y c-Fos en diferentes partes del cerebro. La expresión de c-Fos no se vio afectada por el campo magnético, por otro lado, la expresión de c-Jun disminuyó después de la exposición al campo magnético. Los resultados no dependieron del sexo de los ratones.

(E) Sun H, Che Y, Liu X, Zhou D, Miao Y, Ma Y. Efectos de la exposición prenatal a un campo magnético de 50 Hz en el aprendizaje de evitación pasiva de un ensayo en pollitos de 1 día de edad. Bioelectromagnetism. 31(2):150-155, 2010. (AS, CE, BE, DE)

Investigamos el deterioro de la memoria en polluelos recién nacidos tras la exposición in ovo a un campo magnético de 50 Hz (MF) de 2 mT (60 min/día) en los días embrionarios 12 a 18. Se utilizaron polluelos aislados y emparejados para probar el efecto del estrés durante el entrenamiento, y se evaluó la retención de la memoria a los 10, 30 y 120 min, tras la exposición a una perla de sabor amargo (100 % metilantranilato). Los resultados mostraron que la memoria estaba intacta a los 10 minutos tanto en los polluelos aislados como en los emparejados con o sin exposición a MF. Sin embargo, mientras que los polluelos aislados tenían buenos niveles de retención de memoria a los 30 y 120 minutos, los expuestos a MF no. Los resultados sugieren una posible alteración de la formación de la memoria después de la exposición in ovo a MF, con este efecto solo evidente en los polluelos aislados más estresados.

(E) Sun ZC, Ge JL, Guo B, Guo J, Hao M, Wu YC, Lin YA, La T, Yao PT, Mei YA, Feng Y, Xue L. Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja facilitan la endocitosis de vesículas al aumentar la expresión del canal de calcio presináptico en una sinapsis central. Sci Rep. 6:21774, 2016. doi: 10.1038/srep21774. (AS, CE, FC)

Cada vez hay más pruebas que sugieren que los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) tienen efectos biológicos significativos. Aunque la exocitosis desempeña papeles físicos y biológicos cruciales en la comunicación neuronal, los estudios sobre cómo los ELF-EMF regulan este proceso son escasos. Al medir directamente las corrientes de calcio y la capacitancia de la membrana en una gran sinapsis del sistema nervioso central de mamíferos, el cáliz de Held, informamos por primera vez que los ELF-EMF afectan de manera crítica la transmisión y la plasticidad sinápticas. La exposición a los ELF-EMF durante 8 a 10 días aumenta drásticamente la afluencia de calcio tras la estimulación y facilita todas las formas de endocitosis de vesículas, incluidas la endocitosis lenta y rápida, la endocitosis excesiva y la endocitosis masiva, pero no afecta el tamaño de la RRP ni la exocitosis. La exposición a los ELF-EMF también potencia la PTP, una forma de plasticidad a corto plazo, aumentando su amplitud máxima sin afectar su curso temporal. Investigamos más a fondo los mecanismos subyacentes y descubrimos que la expresión de los canales de calcio, incluidos los subtipos P/Q, N y R, en la terminal nerviosa presináptica estaba aumentada, lo que explica el aumento de la afluencia de calcio tras la estimulación. Por lo tanto, concluimos que la exposición a campos electromagnéticos de baja frecuencia facilita la endocitosis de vesículas y la plasticidad sináptica de una manera dependiente del calcio al aumentar la expresión de los canales de calcio en la terminal nerviosa.

(E) Szemerszky R, Zelena D, Barna I, Bárdos G. Efectos endocrinológicos y psicopatológicos relacionados con el estrés de la exposición a campos electromagnéticos de 50 Hz a corto y largo plazo en ratas. Brain Res Bull. 81(1):92-99, 2010. (AS, CE, BE, CC)

Se cree que los diferentes campos electromagnéticos tienen efectos biológicos beneficiosos y perjudiciales. El objetivo del presente trabajo fue estudiar las consecuencias a largo plazo de la exposición a campos electromagnéticos de 50 Hz (ELF-EMF), con especial atención al desarrollo de estrés crónico y psicopatología inducida por estrés. Se expusieron ratas Sprague-Dawley macho adultas a ELF-EMF (50 Hz, 0,5 mT) durante 5 días, 8 h diarias (corto) o durante 4-6 semanas, 24 h diarias (largo). La ansiedad se estudió en la prueba del laberinto en cruz elevada, mientras que el comportamiento similar a la depresión del grupo tratado durante mucho tiempo se examinó en la prueba de natación forzada. Algunos días después del examen conductual, los animales fueron decapitados en condiciones de reposo y se midieron los pesos de los órganos, los niveles de hormonas en sangre y el nivel de ARNm de proopiomelanocortina del lóbulo anterior de la glándula pituitaria. Ambos tratamientos fueron ineficaces en los parámetros somáticos, es decir, no se presentó ninguno de los cambios característicos del estrés crónico (reducción del peso corporal, involución del timo e hipertrofia de la glándula suprarrenal). Se encontró un aumento del nivel de glucosa en sangre después de una exposición prolongada a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia ($p=0,013$). La reacción al estrés hormonal fue similar en las ratas de control y en las expuestas a corto plazo, pero se encontró un aumento significativo de la proopiomelanocortina ($p<0,000$) y un comportamiento similar a la depresión (mayor tiempo de flotación; $p=0,006$) después de una exposición prolongada a campos electromagnéticos. En conjunto, la exposición prolongada y continua a un campo electromagnético de intensidad relativamente alta puede considerarse una situación de estrés leve y podría ser un factor en el desarrollo de un estado depresivo o de trastornos metabólicos. Aunque debemos destacar que la intensidad media de la exposición humana es normalmente mucho menor que en el presente experimento.

(NE) Taormina B, Di Poi C, Agnalt AL, Carlier A, Desroy N, Escobar-Lux RH, Jean-François D'eu JF, Freyte F, Durif CMF. Impacto de los campos magnéticos generados por cables de alimentación submarinos de CA/CC en el comportamiento de la langosta europea juvenil (*Homarus gammarus*). Aquat Toxicol 2020 Mar;220:105401. (VO, CE, BE)

Se espera que el número de cables submarinos de energía que utilizan corriente continua o alterna aumente drásticamente en las próximas décadas. Los datos sobre el impacto de los campos magnéticos generados por estos cables en los invertebrados marinos son escasos. En este contexto, el objetivo de este estudio fue explorar el impacto potencial de los campos magnéticos estáticos y variables en el tiempo de origen antropogénico en el comportamiento de langostas europeas juveniles recientemente asentadas (*Homarus gammarus*) utilizando dos ensayos de comportamiento diferentes. Se utilizaron condiciones de luz diurna para estimular el comportamiento de refugio y facilitar el seguimiento por video. Mostramos que las langostas juveniles no exhibieron ningún cambio de comportamiento cuando se sometieron a un gradiente de campo magnético artificial (intensidad máxima de 200 μ T) en comparación con las langostas no expuestas al campo magnético ambiental. Además, no se observó ninguna influencia en la capacidad de las langostas para encontrar refugio ni se modificó su comportamiento exploratorio después de una semana de exposición a campos magnéticos antropogénicos (225 $\pm$ 5 μ T) que se mantuvieron similares a los observados en los individuos de control. Parece que los campos magnéticos antropogénicos estáticos y variables en el tiempo, a estas intensidades, no afectan significativamente el comportamiento de las langostas europeas juveniles en condiciones de luz diurna. Sin embargo, para formar una imagen completa de este modelo biológico, se necesitan más estudios sobre las otras etapas de la vida, ya que pueden responder de manera diferente.

(NE) Tasić T, Lozić M, Glumac S, Stanković M, Milovanovich I, M Djordjevich M, Trbovich AM, Japundžić-Žigon N, De Luka SR. Campo magnético estático sobre el comportamiento, parámetros hematológicos y daño orgánico en ratas espontáneamente hipertensas.

Ecotoxicol Medio Ambiente Saf. 207:111085. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.111085. (COMO, CE, BE)

Estudios previos mostraron resultados contradictorios de la influencia del campo magnético estático (CME) en el comportamiento, los parámetros hematológicos y el daño orgánico. El objetivo de este estudio fue investigar la influencia de la exposición continua subcrónica al CME de intensidad moderada orientado hacia arriba y hacia abajo en el comportamiento, las características hematológicas, el tejido cardíaco y renal de ratas espontáneamente hipertensas. Las ratas SH expuestas al CME orientado hacia abajo demostraron falta de comportamiento ansioso. El CME de cualquier orientación causó una disminución en el número de plaquetas en sangre periférica, granulocitos en el bazo y médula ósea y un aumento en el número de eritrocitos en el bazo, en ambos grupos expuestos. También demostramos que las ratas espontáneamente hipertensas expuestas al CME orientado hacia arriba exhibieron una disminución en el recuento de linfocitos en sangre, una disminución en el recuento de eritrocitos en médula ósea y las ratas expuestas al CME orientado hacia abajo tuvieron un aumento en el recuento de linfocitos en médula ósea. Los resultados mostraron un efecto adverso del CME orientado de manera diferente en los parámetros hematológicos de ratas espontáneamente hipertensas. Además, la exposición a SMF con diferentes orientaciones no afectó las características morfológicas de su corazón y riñón.

(E) Tasset I, Medina FJ, Jimena I, Agüera E, Gascón F, Feijóo M, Sánchez-López F, Luque E, Peña J, Drucker-Colín R, Túnez I. Efectos neuroprotectores de campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja en un modelo de rata con enfermedad de Huntington: efectos sobre factores neurotróficos y densidad neuronal. Neurociencia. 209:54-63, 2012a. (AS, CE, MC, CC, BE, OX, MA, ND)

Hay evidencia que sugiere que el efecto neuroprotector de la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) puede deberse, al menos en parte, al efecto de estos campos sobre los niveles de factores neurotróficos y la supervivencia celular, lo que lleva a una mejora en el comportamiento. Este estudio se realizó para investigar los efectos neuroprotectores de ELFEF en un modelo de rata de enfermedad de Huntington inducida por ácido 3-nitropropiónico (3NP). Se evaluaron los patrones de comportamiento y se monitorearon los cambios en los niveles de factor neurotrófico, daño celular y biomarcadores de estrés oxidativo en ratas Wistar. Las ratas recibieron 3NP durante cuatro días consecutivos (20 mg/kg de peso corporal), mientras que ELFEF (60 Hz y 0,7 mT) se aplicó durante 21 días, comenzando después de la última inyección de 3NP. Las ratas tratadas con 3NP exhibieron un comportamiento significativamente diferente en la prueba de campo abierto (OFT) y la prueba de natación forzada (FST), y mostraron diferencias significativas en los niveles de factor neurotrófico y niveles de biomarcadores de estrés oxidativo, junto con un daño neuronal y una densidad neuronal disminuida, con respecto a los controles neuronales. ELFEF mejoró las puntuaciones neurológicas, aumentó los niveles de factor neurotrófico y redujo tanto el daño oxidativo como la pérdida neuronal en ratas tratadas con 3NP. ELFEF alivia la lesión cerebral inducida por 3NP y previene la pérdida de neuronas en el cuerpo estriado de la rata, mostrando así un potencial considerable como herramienta terapéutica.

(E) Tasset I, Pérez-Herrera A, Medina FJ, Arias-Carrión O, Drucker-Colín R, Túnez I.

Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja activan la vía antioxidante Nrf2 en un modelo de rata similar a la enfermedad de Huntington. Brain Stimul. 6:84-86, 2013.

La estimulación magnética transcraneal (EMT) es una técnica no invasiva que se ha utilizado recientemente para tratar diferentes trastornos neuropsiquiátricos y neurodegenerativos. A pesar de su eficacia demostrada, los mecanismos a través de los cuales la EMT ejerce su acción beneficiosa sobre la función neuronal siguen siendo desconocidos. Estudios recientes han demostrado que sus efectos beneficiosos pueden deberse, al menos en parte, a un efecto neuroprotector sobre el daño oxidativo y celular. Este estudio demuestra que la EMT puede modular el factor transcriptor Nrf2 en un modelo de rata similar a la enfermedad de Huntington inducido por ácido 3-nitropropiónico (3-NP). El análisis Western blot demostró que el 3-NP provocó una reducción de Nrf2 tanto en el citoplasma como en el núcleo, mientras que la EMT aplicada a ratas tratadas con 3-NP desencadenó un aumento de los niveles de Nrf2 en el citoplasma y el núcleo. Por tanto, se concluyó que la EMT modula la expresión y translocación de Nrf2 y que estos mecanismos pueden explicar en parte el efecto neuroprotector de la EMT, así como su capacidad antioxidante y de protección celular.

(E) TéglásT, Dörnyei G, Bretz K, Nyakas C. La estimulación electromagnética pulsada de cuerpo entero mejora la actividad cognitiva y psicomotora en ratas senescentes. Behav Brain Res 349:163-168, 2018.

(Asunto: Licenciatura, Doctorado, Licenciatura en Artes, Maestría)

Durante el envejecimiento avanzado, el ejercicio pasivo (EF) se está convirtiendo en una valiosa intervención terapéutica para mejorar el rendimiento físico y mental. En el presente estudio, se presentó exposición crónica a campos electromagnéticos pulsados de baja frecuencia (CEM) a ratas senescentes con el fin de aclarar los efectos conductuales relacionados con las funciones cognitivas y de motilidad. Se trató a ratas Wistar macho de 30 a 32 meses de edad con CEM durante seis semanas, 3 veces por semana, 24 minutos por sesión antes de los 32 meses de edad. Las intensidades de estimulación variaron de 45 a 1250 μ T. Se estimó la psicomotilidad

en un campo abierto (OF), la capacidad de atención en el reconocimiento de objetos nuevos (NOR) y el aprendizaje espacial en las pruebas del laberinto acuático de Morris (MWM). Los resultados mostraron que la estimulación con EMF mejoró la motilidad inducida por la novedad de tipo vertical, es decir, aumentó la frecuencia de la actividad de encabritado. En las pruebas cognitivas, la exposición a EMF aumentó la discriminación basada en la atención en NOR y facilitó el aprendizaje espacial de tipo memoria de trabajo en las pruebas MWM. No se pudo obtener ningún tipo de efecto secundario indeseable incluso después de la dosis más alta utilizada. Se concluye que la estimulación con EMF en la edad senescente apoya la función cognitiva y psicomotora en ratas. La noción de que la EP puede tener una acción beneficiosa complementaria sobre las funciones cerebrales y motoras en la edad senescente se ve reforzada por los presentes resultados experimentales.

(E) Terraneo A, Leggio L, Saladini M, Ermani M, Bonci A, Gallimberti L. La estimulación magnética transcraneal de la corteza prefrontal dorsolateral reduce el consumo de cocaína: un estudio piloto. *Eur Neuropsychopharmacol.* 26:37-44, 2016. (HU, CE, BE, MA)

Estudios recientes realizados en animales demuestran que la búsqueda compulsiva de cocaína reduce fuertemente la actividad de la corteza frontal prelímbica, mientras que la estimulación optogenética de esta área cerebral inhibe significativamente la búsqueda compulsiva de cocaína, lo que proporciona una sólida justificación para aplicar estimulación cerebral para reducir el consumo de cocaína. Por lo tanto, empleamos estimulación magnética transcraneal repetitiva (EMTr) para probar si la estimulación de la corteza prefrontal dorsolateral (CPDL) podría prevenir el consumo de cocaína en humanos. Treinta y dos pacientes adictos a la cocaína fueron asignados aleatoriamente al grupo experimental (EMTr) en la CPDL izquierda, o a un grupo de control (agentes farmacológicos) durante un estudio de 29 días (Etapa 1). A esto le siguió un seguimiento de 63 días (Etapa 2), durante el cual a todos los participantes se les ofreció tratamiento con EMTr. Entre los pacientes que completaron la Etapa 1, 16 estaban en el grupo de EMTr (100%) y 13 en el grupo de control (81%). No se observaron eventos adversos significativos. Durante la Etapa 1, hubo un número significativamente mayor de pruebas de detección de drogas en orina sin cocaína en el grupo rTMS en comparación con el grupo de control ($p = 0,004$). El ansia por la cocaína también fue significativamente menor en el grupo rTMS en comparación con los controles ($p = 0,038$). De los 13 pacientes que completaron la Etapa 1 en el grupo de control, 10 pacientes recibieron tratamiento rTMS durante la Etapa 2 y mostraron una mejora significativa con resultados favorables que se volvieron comparables a los del grupo rTMS. Los hallazgos preliminares actuales respaldan la seguridad de la rTMS en pacientes adictos a la cocaína y sugieren su posible papel terapéutico para la estimulación de la corteza prefrontal impulsada por rTMS en la reducción del consumo de cocaína, lo que proporciona una sólida justificación para desarrollar estudios más amplios controlados con placebo.

Terzi M, Ozberk B, Deniz OG, Kaplan S. El papel de los campos electromagnéticos en los trastornos neurológicos. *J Chem Neuroanat.* 2016 Sep;75(Pt B):77-84. (Revisión)

En el mundo moderno, las personas están expuestas a campos electromagnéticos (CEM) como parte de su vida diaria; la pregunta importante es "¿Cuál es el efecto de los CEM en la salud humana?" La mayoría de los estudios previos son epidemiológicos y aún no tenemos evidencia concreta de la fisiopatología de los CEM. Diversos factores pueden provocar alteraciones químicas, morfológicas y eléctricas en el sistema nervioso de forma directa o indirecta. Se ha informado de que los campos electromagnéticos no ionizantes tienen efectos sobre animales y células. Los cambios que provocan en los sistemas orgánicos pueden causar estrés oxidativo, que es esencial para el proceso neurofisiológico; se asocia con un aumento de la oxidación en las especies o una reducción de los sistemas de defensa antioxidantes. El estrés oxidativo grave puede provocar desequilibrios en las especies reactivas de oxígeno, que pueden desencadenar neurodegeneración. Esta revisión tiene como objetivo

Se detallan estos cambios. Se presta especial atención a los datos actuales sobre los efectos de los campos electromagnéticos en las enfermedades neurológicas y los síntomas asociados, como el dolor de cabeza, los trastornos del sueño y la fatiga.

(E) Todorović D, Kalauzi A, Prolić Z, Jović M, Mutavdžić D. Un método para detectar el efecto del campo magnético en los cambios de actividad de las poblaciones neuronales de *Morimus funereus* (Coleoptera, Cerambycidae). *Bioelectromagnetismo*. 28(3):238-241, 2007. (AC, AS, EE)

Se describe la modificación de un nuevo método para detectar cambios en las actividades de la población neuronal y de la neurona más cercana. Se incluyen mediciones preliminares de la influencia de un campo magnético estático (2 mT) sobre la actividad de la población neuronal en ocho individuos de una especie de insecto en peligro de extinción, *Morimus funereus*. La exposición de cinco minutos produjo un efecto excitatorio (5/8) e inhibidor (3/8) sobre la actividad de la población neuronal del lóbulo antenal de *M. funereus*. Sin embargo, cuando se analizó cuantitativamente la reversibilidad de los efectos inducidos, nuestros resultados mostraron que eran predominantemente irreversibles: (7/8) para la población, (6/8) para la

neurona más cercana.

(E) Todorović D, Marković T, Prolić Z, Mihajlović S, Rauš S, Nikolić L, Janać B. La influencia del campo magnético estático (50 mT) en el desarrollo y el comportamiento motor de *Tenebrio* (Insecta, Coleoptera). *Int J Radiat Biol*. 89(1):44-50, 2013. (AS, CE, DE, BE)

OBJETIVO: Existe una considerable preocupación sobre los efectos potenciales asociados con la exposición a campos magnéticos en los organismos. Por lo tanto, se analizó la duración del desarrollo de pupa-adulto y el comportamiento motor de los adultos en *Tenebrio obscurus* y *Tenebrio molitor* después de la exposición a un campo magnético estático (50 mT). MATERIAL Y MÉTODOS: Los grupos experimentales fueron: control (mantenidos a 5 m de los imanes), grupos cuyas pupas y adultos fueron colocados más cerca del polo norte, o más cerca del polo sur del dipolo magnético. Las pupas fueron expuestas al campo magnético hasta el momento de la eclosión del adulto. La dinámica del desarrollo de pupa-adulto se registró diariamente. Posteriormente, se monitoreó el comportamiento (distancia recorrida, velocidad promedio e inmovilidad) de los adultos expuestos al campo magnético en una arena circular de campo abierto. RESULTADOS: El campo magnético estático no afectó la dinámica del desarrollo de pupa-adulto de las especies de *Tenebrio* examinadas. La exposición al campo magnético no cambió significativamente el comportamiento motor de los adultos de *T. obscurus*. Los cambios en el comportamiento motor de *T. molitor* inducidos por el campo magnético estático fueron opuestos en dos grupos experimentales desarrollados más cerca del polo norte o más cerca del polo sur del dipolo magnético. CONCLUSIÓN: El campo magnético estático (50 mT) no afectó la dinámica del desarrollo pupa-adulto de dos especies de *Tenebrio* examinadas, pero moduló su comportamiento motor.

(E) Todorović D, Prolić Z, Petković B, Kalauzi A. Efectos de dos formas de onda diferentes de las frecuencias de campo ultrabajo en la actividad bioeléctrica de las neuronas del lóbulo antenal de *Morimus funereus* (Insecta, Coleoptera). *Int J Radiat Biol*. 91:435-442, 2015. (AS, AE, EE) (forma de onda)

OBJETIVO: Los campos magnéticos externos (CM) interactúan con los organismos en todos los niveles, incluido el sistema nervioso. Se analizó la actividad bioeléctrica de las neuronas del lóbulo antenal de *Morimus funereus* adulto bajo la influencia de CM de frecuencia extremadamente baja (CM de ELF, 50 Hz, 2 mT) de diferentes características (duración de la exposición y forma de onda). MATERIAL Y MÉTODOS:

La actividad neuronal (población neuronal de fondo y las más cercanas al electrodo de registro) en escarabajos longicornios adultos se registró a través de varias fases de exposición a las frecuencias medias de onda sinusoidal y cuadrada durante 5, 10 y 15 minutos. RESULTADOS: Las frecuencias medias de onda sinusoidal, independientemente de la duración de la exposición, no cambiaron el factor de reversibilidad de la actividad neuronal del lóbulo antenal en *M. funereus* adultos. En contraste, los factores de reversibilidad de las neuronas más cercanas cambiaron significativamente después de la exposición a frecuencias medias de onda cuadrada durante 10 y 15 minutos. CONCLUSIÓN: Los individuos de *M. funereus* son sensibles a frecuencias medias de onda sinusoidal y cuadrada ELF (50 Hz, 2 mT) de diferente duración, por lo que sus reacciones dependen de las características de las frecuencias medias aplicadas y de la especificidad de cada individuo.

(E) Touitou Y, Selmaoui B, Lambrozo J. Evaluación del patrón de secreción de cortisol en trabajadores expuestos crónicamente a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF) generados por líneas de transmisión de alto voltaje y subestaciones. *Environ Int* 2022 1 de febrero;161:107103. doi: 10.1016/j.envint.2022.107103. En línea antes de su publicación. (HU, CE, CC)

Investigamos los efectos de los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF; 50 Hz) en la secreción de cortisol en 14 hombres (edad media = $38,0 \pm 0,9$ años) que trabajaban en subestaciones de extra alta tensión (EHV). Los trabajadores vivían en casas cercanas a subestaciones y líneas de alta tensión, por lo que tenían un largo historial (1-20 años) de exposición prolongada a ELF-EMF. La intensidad del campo magnético se registró utilizando dosímetros Emdex que los voluntarios usaron día y noche durante siete días; la media geométrica de una semana varió de 0,1 a 2,6 μT . Se tomaron muestras de sangre cada hora desde las 20:00 hasta las 08:00 de la mañana siguiente. Las concentraciones y patrones de cortisol se compararon con sujetos de control no expuestos de la misma edad cuyo nivel de exposición fue diez veces menor. La comparación del grupo de control ($n = 15$) y los grupos expuestos a campos de 0,1-0,3 μT ($n = 5$) y $> 0,3 \mu\text{T}$ ($n = 9$), respectivamente, reveló un efecto significativo de la intensidad del campo en el patrón de secreción de cortisol. Este estudio sugiere firmemente que la exposición crónica a campos electromagnéticos de ELF altera los niveles séricos de cortisol en el momento pico. Se requieren estudios sobre el efecto de esta alteración en poblaciones de alto riesgo, como niños, ancianos y pacientes con cáncer.

(NE) Türközer Z, Güler G, Seyhan N. Efectos de la exposición a un campo eléctrico de 50 Hz de diferentes intensidades sobre el estrés oxidativo y las actividades enzimáticas antioxidantes en el tejido cerebral de cobayos. *Int J Radiat Biol.* 84(7):581-590, 2008. (AS, CE, OX)

OBJETIVO: El objetivo de este estudio fue evaluar los posibles efectos de la exposición variada a un campo eléctrico (FE) de frecuencia extremadamente baja (ELF) de 50 Hz sobre los niveles de peroxidación lipídica y las actividades enzimáticas antioxidantes en los homogeneizados cerebrales de cobayos. Los sujetos fueron expuestos a campos eléctricos de 2 kV/m, 2,5 kV/m, 3 kV/m, 3,5 kV/m, 4 kV/m, 4,5 kV/m y 5 kV/m durante tres días, 8 h al día en direcciones verticales y horizontales. MATERIALES Y MÉTODOS: Se midieron las actividades de malondialdehído (MDA), superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y glutatión peroxidasa (GSH-Px) para identificar posibles alteraciones en los niveles de peroxidación lipídica y el estado antioxidante debido a la exposición al campo eléctrico. También se evaluaron las actividades de la xantina oxidasa (XO), la mieloperoxidasa (MPO) y la adenosina desaminasa (ADA) en las mismas muestras. RESULTADOS: Aunque el estudio mostró varios hallazgos positivos pero no significativos ($p > 0,05$), no encontramos diferencias significativas entre todos los grupos expuestos y los grupos simulados en los niveles de peroxidación lipídica y las actividades enzimáticas ($p > 0,05$) en todas las concentraciones y en ambas direcciones. Además, el resultado fue el mismo cuando se realizó la comparación

entre los grupos en direcciones verticales y horizontales ($p > 0,05$). CONCLUSIÓN: El presente estudio observó efectos de la exposición a 50 Hz EF sobre los niveles de peroxidación lipídica y los mecanismos de defensa antioxidante, pero estos no fueron estadísticamente significativos en el nivel de confianza del 95%. Se justifica una mayor investigación sobre los efectos de la exposición a ELF-EF sobre los niveles de peroxidación lipídica y los mecanismos de defensa antioxidante.

(E) Urnukhsaikhan E, Cho H, Mishig-Ochir T, Seo YK, Park JK. Los campos electromagnéticos pulsados promueven la supervivencia y la diferenciación neuronal de las células madre mesenquimales humanas. Life Sci. 15 de abril de 2016;151:130-138. (CS, AE, CC, MC)

Se sabe que los campos electromagnéticos pulsados (PEMF) afectan a propiedades biológicas como la diferenciación, la regulación del factor de transcripción y la proliferación celular. Sin embargo, el efecto protector celular de la exposición a los PEMF es en gran medida desconocido. El objetivo de este estudio es comprender los mecanismos subyacentes a la supresión de la apoptosis mediada por PEMF y la promoción de la supervivencia, incluida la diferenciación neuronal inducida por PEMF. El tratamiento de BM-MSC humanas inducidas con PEMF aumentó la expresión de marcadores neuronales como NF- κ B, NeuroD1 y Tau. Además, el tratamiento de BM-MSC humanas inducidas con PEMF redujo en gran medida la muerte celular de una manera dependiente de la dosis y el tiempo. Existe evidencia de que Akt y Ras están involucrados en la supervivencia y protección neuronal. La activación de Akt y Ras da como resultado la regulación de proteínas de supervivencia como Bad y Bcl-xL. Por lo tanto, la vía de señalización Akt/Ras puede ser un objetivo deseable para mejorar la supervivencia celular y el tratamiento de enfermedades neurológicas. Nuestros análisis indicaron que la exposición a PEMF aumentó drásticamente la actividad de Akt, Rsk, Creb, Erk, Bcl-xL y Bad a través de la fosforilación. La protección celular dependiente de PEMF se revirtió mediante el pretratamiento con LY294002, un inhibidor específico de la fosfatidilinositol 3-quinasa (PI3K). Nuestros datos sugieren que la vía de señalización PI3K/Akt/Bad puede ser un posible mecanismo para los efectos protectores de las células de PEMF.

(E) Urnukhsaikhan E, Mishig-Ochir T, Kim SC, Park JK, Seo YK. Efecto neuroprotector de los campos electromagnéticos pulsados de baja frecuencia en el accidente cerebrovascular isquémico. Appl Biochem Biotechnol 2017 abril;181(4):1360-1371. (AS, CE, CC, MA)

Los campos electromagnéticos pulsados de baja frecuencia (LF-PEMF) afectan a muchos procesos biológicos; sin embargo, los mecanismos fundamentales responsables de estos efectos siguen sin estar claros. Nuestro estudio tuvo como objetivo investigar el efecto de los LF-PEMF en la neuroprotección después de un accidente cerebrovascular isquémico. Se expuso a ratones C57B6 a LF-PEMF ($F = 60$ Hz, $B_m = 10$ mT) después de una oclusión fototrombótica. Medimos la vía de señalización BDNF/TrkB/Akt, las expresiones de proteínas y genes proapoptóticos y prosupervivencia, y la expresión de mediadores inflamatorios y realizamos pruebas de comportamiento tanto en ratones con accidente cerebrovascular isquémico tratados con LF-PEMF como en ratones sin tratamiento. Nuestros resultados mostraron que el tratamiento con LF-PEMF promueve la activación de la vía de señalización BDNF/TrkB/Akt. Posteriormente, las proteínas prosupervivencia aumentaron significativamente, mientras que las proteínas proapoptóticas y los mediadores inflamatorios disminuyeron en ratones con accidente cerebrovascular isquémico después del tratamiento con LF-PEMF. Los resultados demostraron que la exposición a LF-PEMF tiene un efecto neuroprotector después de un accidente cerebrovascular isquémico en ratones durante el proceso de recuperación.

(NE) van der Mark M, Vermeulen R, Nijssen PC, Mulleners WM, Sas AM, van Laar T, Kromhout H, Huss A. Exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja, descargas eléctricas y riesgo de enfermedad de Parkinson. Int Arch Occup Environ Health. 18 de junio de 2014. [Publicado electrónicamente antes de su impresión] (HU, ND)

OBJETIVO: Los estudios previos no aportaron pruebas sólidas de un mayor riesgo de enfermedad de Parkinson (EP) tras la exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF), pero su alcance fue limitado para abordar otras exposiciones relacionadas con el uso de la electricidad, como las descargas eléctricas. Evaluamos las asociaciones de la EP con la exposición a ELF-MF, las descargas eléctricas y el hecho de haber trabajado en "ocupaciones eléctricas". MÉTODOS: Realizamos un estudio de casos y controles en un hospital, que incluyó a 444 pacientes con EP y 876 controles emparejados por edad y sexo. Los antecedentes laborales se recogieron en entrevistas telefónicas y se vincularon a matrices de exposición laboral sobre exposición a ELF-MF y descargas eléctricas. Además, se formularon preguntas sobre el uso de electrodomésticos que implicaban exposición a ELF-MF, descargas eléctricas experimentadas y posibles factores de confusión. RESULTADOS: No se observó asociación del riesgo de EP con ninguna de las exposiciones evaluadas relacionadas con la electricidad. Sin embargo, observamos estimaciones de riesgo reducidas de manera bastante consistente en la mayoría de las categorías de exposición exploradas. Dados los resultados de los estudios anteriores y la ausencia de cualquier mecanismo postulado, es poco probable que esto represente un verdadero efecto protector de ELF-MF o descargas eléctricas en la aparición de EP.

CONCLUSIONES: Los resultados de este estudio sugieren que no existe asociación entre la EP y la exposición a frecuencias ELF-MF, descargas eléctricas o haber trabajado en "ocupaciones eléctricas".

(E) van Nierop LE, Slottje P, van Zandvoort MJE, de Vocht F, Kromhout H. Efectos de los campos magnéticos parásitos de un escáner de resonancia magnética de 7 Tesla sobre la neurocognición: un estudio cruzado, aleatorio, doble ciego. Occup Environ Med doi:10.1136/oemed-2011-100468 (HU, BE)

Objetivo: Este estudio caracteriza los dominios neurocognitivos que se ven afectados por los campos magnéticos variables en el tiempo (TVMF) inducidos por el movimiento dentro de un campo magnético estático (SMF) de 7 Escáner de resonancia magnética Tesla (T). Métodos: Mediante un diseño cruzado aleatorizado doble ciego, 31 voluntarios sanos fueron evaluados en una condición de exposición simulada (0 T), baja (0,5 T) y alta (1,0 T) a SMF. Se realizaron movimientos de cabeza estandarizados antes de cada tarea neurocognitiva para inducir TVMF. Resultados: De los seis dominios neurocognitivos evaluados, demostramos que la atención y la concentración se vieron afectadas negativamente cuando se expuso a TVMF dentro de un SMF (variando de 5.0% a 21.1% por exposición de Tesla, $p < 0.05$), particularmente en situaciones en las que se requirió un alto rendimiento de la memoria de trabajo. Además, la orientación visoespacial se vio afectada después de la exposición (46.7% por exposición de Tesla, $p = 0.05$). Conclusión: El funcionamiento neurocognitivo se modula cuando se expone a TVMF inducido por movimiento dentro de un SMF de un escáner de resonancia magnética de 7 T. Los dominios que se vieron afectados incluyen atención/concentración y orientación visoespacial. Se necesitan más estudios para comprender mejor los mecanismos y las posibles implicaciones prácticas de seguridad y salud de estos efectos neurocognitivos agudos.

(E) van Nierop LE, Slottje P, van Zandvoort M, Kromhout H. La exposición simultánea a campos magnéticos estáticos y de baja frecuencia inducidos por el movimiento relacionados con la resonancia magnética que varían en el tiempo afecta el rendimiento neurocognitivo: un estudio cruzado aleatorizado doble ciego. Magn Reson Med.

15 de septiembre de 2014. doi: 10.1002/mrm.25443. [Publicación electrónica antes de la impresión] (AE, HU, BE)

OBJETIVO: Este estudio experimental tiene como objetivo separar los efectos neurocognitivos resultantes de la exposición a campos magnéticos estáticos (SMF) solos y la combinación de SMF y campos magnéticos variables en el tiempo inducidos por el movimiento de baja frecuencia (TVMF) utilizando un escáner de resonancia magnética de 7 Tesla (T) en modo de espera. **MÉTODOS:** En un experimento cruzado aleatorio doble ciego, 36 voluntarios sanos se sometieron a cuatro sesiones, dos condiciones de exposición y dos condiciones simuladas correspondientes. Las condiciones de exposición fueron frente al orificio del escáner y consistieron en 1,0 T SMF con o sin 2,4 T/s TVMF, inducidos por movimientos de cabeza estandarizados antes de cada una de las cinco tareas neurocognitivas. Estas tareas específicas se seleccionaron porque los experimentos anteriores mostraron efectos negativos de la exposición a SMF + TVMF en el rendimiento de la prueba. **RESULTADOS:** La exposición a SMF en combinación con TVMF disminuyó significativamente el rendimiento de la memoria verbal y cambió la agudeza visual. De manera similar, la atención y la concentración se vieron afectadas negativamente con una significación limítrofe. La exposición a SMF por sí sola no tuvo efectos significativos en el desempeño en ninguna de las tareas. **CONCLUSIÓN:** Los efectos neurocognitivos solo se observaron cuando se expuso simultáneamente a SMF y TVMF de un escáner de resonancia magnética de 7 T. Por lo tanto, la exposición a TVMF parece esencial para provocar los efectos neurocognitivos en nuestro estudio actual y, presumiblemente, en experimentos anteriores.

Vanderstraeten J, Burda H, Verschaeve L, De Brouwer C. ¿Podrían los campos magnéticos afectar la función del reloj circadiano de los criptocromos? Prueba de la premisa básica de la hipótesis de los criptocromos (campos magnéticos ELF). *Health Phys.* 109(1):84-89, 2015. (opinión)

Se ha sugerido que los campos magnéticos débiles de 50/60 Hz [de frecuencia extremadamente baja (ELF)] podrían afectar los biorritmos circadianos al alterar la función del reloj de los criptocromos (la "hipótesis del criptocromo", actualmente en estudio). Esa hipótesis se basa en la premisa de que los campos magnéticos estáticos débiles (de intensidad terrestre) afectan el equilibrio redox de los criptocromos, y posiblemente también su estado de señalización. Un método apropiado para probar este postulado podría ser el estudio en tiempo real o a corto plazo de la función del reloj circadiano de los criptocromos retinianos bajo exposición a las intensidades de campo estático que provocan los mayores cambios redox (efectos máximos de "campo bajo" y "campo alto", respectivamente) en comparación con el campo cero. Los resultados positivos podrían alentar un estudio más profundo de la hipótesis del criptocromo en sí. Sin embargo, indicarían la necesidad de realizar un estudio similar, esta vez comparando los efectos de solo cambios de intensidad leves (rango de campo bajo) para explorar el posible papel de la proximidad de estructuras metálicas y muebles como factor de confusión bajo la hipótesis del criptocromo.

(E) Varró P, Szemerszky R, Bárdos G, Világi I. Cambios en la eficacia sináptica y la susceptibilidad a las convulsiones en cortes de cerebro de rata tras la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja. *Bioelectromagnetismo.* 30(8):631-640, 2009. (AS, CS, FC)

Los efectos de los campos electromagnéticos (CEM) en los organismos vivos han sido recientemente objeto de interés científico, ya que pueden influir en la vida cotidiana de varias maneras. Aunque los efectos neuronales de los CEM han sido objeto de un número considerable de investigaciones, los resultados son difíciles de comparar ya que se han aplicado protocolos de exposición diferentes en diferentes preparaciones o animales. En la presente serie de experimentos, ratas enteras o cortes de cerebro de rata extirpados fueron expuestos a un nivel de intensidad de referencia de CEM (250-500 microT, 50 Hz) para examinar los efectos sobre la eficacia sináptica en el sistema nervioso central. La investigación electrofisiológica se llevó a cabo ex vivo, en cortes neocorticales e hipocámpales; se probaron las funciones sinápticas básicas, la plasticidad a corto y largo plazo y la susceptibilidad a las convulsiones. El efecto más pronunciado fue una disminución de la actividad sináptica básica en cortes tratados directamente ex vivo observados como una disminución en la amplitud de los potenciales evocados. Por otra parte, tras la exposición de todo el cuerpo también se observó una mayor facilitación sináptica a corto y largo plazo en cortes del hipocampo y una mayor susceptibilidad a las convulsiones en cortes neocorticales. Sin embargo, estos efectos parecen ser transitorios. Podemos concluir que la exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia ejerce efectos significativos sobre la actividad sináptica, pero los cambios generales pueden depender en gran medida de la estructura sináptica y la red neuronal de la región afectada junto con los parámetros espaciales específicos y la constancia de los campos electromagnéticos.

(E) Volkow ND, Tomasi D, Wang GJ, Fowler JS, Telang F, Wang R, Alexoff D, Logan J, Wong C, Pradhan K, Caparelli EC, Ma Y, Jayne M. Efectos de la estimulación magnética de campo bajo en el metabolismo de la glucosa cerebral. *Neuroimage*. 51(2):623-628, 2010. (HU, AE, FC)

La ecografía planar (EPI), la técnica de referencia para la resonancia magnética funcional (fMRI), se basa en el cambio rápido de gradiente de campo magnético. Estos campos magnéticos que varían con el tiempo inducen campos eléctricos (E) en el cerebro que podrían influir en la actividad neuronal; pero esto no se ha probado. Aquí evaluamos los efectos de la EPI en el metabolismo de la glucosa cerebral (marcador de la función cerebral) utilizando PET y 18F 2-fluoro-2-desoxi-D-glucosa ((18)FDG). Quince sujetos sanos estuvieron en un imán de 4 T durante el período de captación de (18)FDG dos veces: con (ON) y sin (OFF) pulsos de gradiente de EPI a lo largo del eje z ($G(z)$: 23 mT/m; tiempo de subida de 250 μ s; 920 Hz). El campo E de estos pulsos EPI no es homogéneo y aumenta linealmente desde el isocentro del gradiente (direcciones radial y z), lo que nos permitió evaluar la correlación entre la fuerza local del campo E y las diferencias metabólicas regionales entre las sesiones ON y OFF. Las imágenes metabólicas se normalizaron a la actividad metabólica en el plano posicionado en el isocentro del gradiente donde $E=0$ tanto para las condiciones ON como OFF. Los análisis paramétricos estadísticos utilizados para identificar las regiones que diferían entre ON y OFF ($p < 0,05$, corregido) mostraron que el metabolismo relativo era menor en las áreas de los polos del cerebro (corteza occipital inferior y frontal y parietal superior) para ON que para OFF, lo que también se documentó con el análisis de la región de interés individual.

Además, la magnitud de las disminuciones metabólicas se correlacionó significativamente con la fuerza estimada de E ($r = 0,68$, $p < 0,0001$); cuanto más fuerte es el campo E, mayores son las disminuciones.

Sin embargo, no detectamos diferencias entre las condiciones ON y OFF en las valoraciones del estado de ánimo ni en el metabolismo cerebral total absoluto. Estos datos proporcionan evidencia preliminar de que las secuencias de EPI pueden afectar la actividad neuronal y merecen una mayor investigación.

(E) Walker JL, Kryscio R, Smith J, Pilla A, Siskin BF. Tratamiento con campo electromagnético de la lesión por aplastamiento de nervios en un modelo de rata: efecto de la configuración de la señal en la recuperación funcional. *Bioelectromagnetism*. 2007, 28(4):256-263. (AS, CE, FC, MA)

Se ha demostrado que los campos electromagnéticos (CEM) mejoran la regeneración de los nervios periféricos de los mamíferos in vitro e in vivo. Utilizando una señal de CEM que ha demostrado mejorar el crecimiento de las neuritas in vitro, probamos este campo in vivo utilizando tres amplitudes diferentes. Se aplastó el nervio ciático de la rata. Se realizó una exposición de todo el cuerpo durante 4 h/día durante 5 días en una bobina de solenoide de 96 vueltas controlada por un generador de señales y un amplificador de potencia. El campo eléctrico inducido en el tejido objetivo consistía en un pulso rectangular bipolar, con duraciones de 1 y 0,3 ms en cada polaridad, respectivamente. La frecuencia de repetición del pulso era de 2 por segundo. Al variar la corriente, las bobinas produjeron campos que consistían en campos magnéticos simulados (sin corriente) y pico de 0,03 mT, 0,3 mT y 3 mT, correspondientes a campos eléctricos inducidos pico de 1, 10 y 100 microV/cm, respectivamente, en el tejido objetivo. La función de la marcha se evaluó durante 43 días mediante una grabación de vídeo y la medición de la separación de los dedos de 1 a 5, utilizando un programa de imágenes. Comparando las extremidades traseras lesionadas con las no lesionadas, las respuestas medias se evaluaron utilizando un modelo estadístico lineal mixto. No se encontraron diferencias en la recuperación de la función de separación de los dedos entre los tratamientos con EMF en comparación con el tratamiento simulado.

(E) Wang CX, Hilburn IA, Wu DA Bernstein, Mizuhara Y, Cousté CP, Abrahams JNH, SE, Matani A, Shimojo S, Kirschvink JL. Transducción del campo geomagnético como lo demuestra la actividad de la banda alfa en el cerebro humano. *eNeuro*. 6(2). pii: ENEURO.0483-18.2019. (HU, AE, EE)

La magnetorrecepción, la percepción del campo geomagnético, es una modalidad sensorial bien establecida en todos los grupos principales de vertebrados y algunos invertebrados, pero su presencia en humanos ha sido probada en raras ocasiones, lo que ha producido resultados no concluyentes. Informamos aquí sobre una respuesta cerebral humana fuerte y específica a rotaciones ecológicamente relevantes de campos magnéticos de fuerza terrestre. Después de la estimulación geomagnética, se produjo una caída en la amplitud de las oscilaciones alfa de electroencefalografía (8-13 Hz) de manera repetible. Esta respuesta, denominada desincronización relacionada con eventos alfa (alfa-ERD), se ha asociado anteriormente con el procesamiento sensorial y cognitivo de estímulos externos, incluidas las señales visuales, auditivas y somatosensoriales. La alfa-ERD en respuesta al campo geomagnético se desencadenó solo por rotaciones horizontales cuando el campo magnético vertical estático se dirigió hacia abajo, como ocurre en el hemisferio norte; no se observó ninguna actividad cerebral. Las mismas rotaciones horizontales provocaron respuestas cuando el componente vertical estático se dirigió hacia arriba. Esto implica una respuesta biológica adaptada a la ecología de la población humana local, en lugar de un efecto físico genérico. Las pruebas biofísicas mostraron que la respuesta neuronal era sensible a los componentes estáticos del campo magnético. Esto descarta todas las formas de inducción eléctrica (incluidos los artefactos de los electrodos) que se determinan únicamente en los componentes dinámicos del campo. La respuesta neuronal también fue sensible a la polaridad del campo magnético. Esto descarta los mecanismos de "brújula cuántica" de radicales libres como la hipótesis del criptocromo, que solo puede detectar la alineación axial. El ferromagnetismo sigue siendo un mecanismo biofísico viable.

para la transducción sensorial y proporciona una base para iniciar la exploración conductual de la magnetorrecepción humana.

(E) Wang L, Yang J, Wang F, Zhou P, Wang K, Ming D. Modulación del campo magnético pulsado de baja frecuencia en la oscilación neuronal del hipocampo en ratas deprimidas. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc* 2018:259-262, 2018. (AS, LE, BE, EE, MA)

La estimulación magnética transcraneal (EMT), como técnica de estimulación cerebral no invasiva, ha sido aprobada por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos para el tratamiento de la depresión resistente a algunos medicamentos. Sin embargo, la mayoría de estos estudios se han centrado en los efectos de la EMT de alta frecuencia y se sabe poco sobre la EMT de baja frecuencia en el tratamiento de la depresión. Además, los mecanismos electroneurofisiológicos potenciales de la TMS en la mejora y la función del cerebro siguen siendo poco conocidos. En el presente estudio, se estableció un modelo de rata de depresión por estrés crónico impredecible (CUS). Las ratas fueron expuestas a un campo magnético pulsado de baja frecuencia (LFPMF) (1 Hz, 20 mT) durante 14 días, una hora por día, luego se evaluó la prueba del laberinto en cruz elevada y se registraron los potenciales de campo local (LFP) en el hipocampo. Para analizar los LFP, se calculó la entropía de la muestra para realizar un análisis de complejidad, mientras que el valor de bloqueo de fase y el índice de modulación de acoplamiento de fase-amplitud se utilizaron para determinar la correlación de las oscilaciones. Nuestros datos mostraron que el LFPMF alivió significativamente los comportamientos de depresión inducidos por CUS y mejoró los cambios indeseables de la sincronización de frecuencia idéntica y el acoplamiento de fase-amplitud theta-gamma en ratas CUS. Estos hallazgos indicaron que los efectos antidepresivos del LFPMF podrían estar asociados con la mejora inducida por el LFPMF en la oscilación neuronal.

(E) Wang S, Mao S, Yao B, Xiang D, Fang C. Efectos de la estimulación magnética transcraneal repetitiva de baja frecuencia sobre conductas similares a la depresión y la ansiedad en ratas epilépticas. *J Integr Neurosci* 18(3):237-243, 2019. (AS, CE, BE, MA)

La estimulación magnética transcraneal repetitiva de baja frecuencia (EMTr) se ha considerado como una opción de tratamiento para la depresión y la ansiedad. Sin embargo, su papel en la epilepsia comórbida con depresión y ansiedad no está claro. Por lo tanto, evaluamos si la EMTr de baja frecuencia puede aliviar el comportamiento similar a la depresión y la ansiedad en ratas epilépticas. Cuarenta y ocho ratas adultas fueron asignadas al azar a cuatro grupos: Control, Pentilentetrazol (PTZ), EMTr-EMTr y EMTr-simulado. El grupo de control recibió inyecciones intraperitoneales de solución salina normal, mientras que los otros grupos recibieron inyecciones intraperitoneales de pentilentetrazol (35 mg/kg/d) una vez al día durante 15 días. Se administró EMTr de baja frecuencia o estimulación simulada al grupo PTZ-EMTr y al grupo PTZ-simulado, respectivamente, durante el período de dos semanas. Antes del experimento, el día 8 y el día 15, se realizaron la prueba de campo abierto (OFT), la prueba del laberinto elevado (EPM) y la prueba de natación forzada (FST) para evaluar el comportamiento similar a la depresión y la ansiedad en las ratas. Dos semanas de tratamiento con rTMS de baja frecuencia no pudieron reducir el aumento de la gravedad de las convulsiones en ratas epilépticas. Sin embargo, en relación con el grupo PTZ y PTZ-Sham, el tratamiento con rTMS de baja frecuencia de dos semanas redujo significativamente el tiempo de inmovilidad en la prueba de natación forzada y atenuó la disminución progresiva de la distancia total recorrida, la frecuencia de encabritamiento, la velocidad en la prueba de campo abierto, el número de entradas en los brazos abiertos (%) y el tiempo transcurrido en los brazos abiertos (%) en la prueba del laberinto elevado en cruz del grupo PTZ-rTMS. Propusimos que la rTMS de baja frecuencia puede

beneficia a las ratas epilépticas a través de la mejora de la depresión y la ansiedad comórbidas, pero no puede aliviar la gravedad de las convulsiones.

(E) Wang X, Liu Y, Lei Y, Zhou D, Fu Y, Che Y, Xu R, Yu H, Hu X, Ma Y. La exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja durante el tratamiento crónico con morfina refuerza la regulación negativa de los receptores de dopamina D2 en el hipocampo dorsal de ratas después de la abstinencia de morfina. *Neurosci Lett.* 433(3):178-82, 2008. (AS, CE, CC)

El objetivo de este estudio fue investigar el efecto de la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) durante el tratamiento con morfina sobre la densidad del receptor D2 de dopamina (D2R) en el hipocampo dorsal de ratas después de la abstinencia. Las ratas fueron expuestas a ELF-EMF (20 Hz, 14 mT) o expuestas simuladamente durante 1 h por día antes de la inyección de morfina (10 mg/kg, ip) una vez al día durante 12 días. El grupo de control con solución salina fue expuesto simuladamente durante el mismo período. Se utilizó inmunohistoquímica para detectar la densidad de D2R en los días 1, 3 y 5 de abstinencia de morfina. Los resultados mostraron que la densidad de D2R en ratas tratadas con morfina expuestas simuladamente en los días 1 y 3 de abstinencia de morfina fue significativamente menor que la del grupo de control con solución salina.

El grupo de morfina expuesto a campos electromagnéticos de baja frecuencia (ELF-EMF) también mostró una densidad significativamente menor de D2R en el primer y tercer día de abstinencia en relación con el grupo de morfina expuesto simuladamente. Sin embargo, la densidad de D2R en ambos grupos tendió a recuperarse a medida que aumentaban los días de abstinencia de morfina. Los resultados sugieren que los D2R del hipocampo dorsal son sensibles a la abstinencia de morfina y que esto se potencia con la preexposición a campos electromagnéticos de baja frecuencia (ELF-EMF) durante el tratamiento con morfina.

(E) Wang X, Zhao K, Wang D, Adams W, Fu Y, Sun H, Liu X, Yu H, Ma Y. Efectos de la exposición a un campo magnético sinusoidal de 50 Hz durante el período de la adolescencia temprana sobre la memoria espacial en ratones. *Bioelectromagnetism.* 34(4):275-284, 2013. (AS, CE, BE)

La adolescencia es una etapa crítica del desarrollo durante la cual se produce una remodelación sustancial en las áreas del cerebro involucradas en los procesos emocionales y de aprendizaje. Si bien se ha documentado una sólida bibliografía sobre los efectos biológicos de los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF), los datos sobre los efectos de la exposición a ELF-MF durante este período en las funciones cognitivas siguen siendo escasos.

En este estudio, se expuso a ratones machos en la adolescencia temprana desde el día posnatal (P) 23-35 a una frecuencia modulada de 50 Hz a 2 mT durante 60 min/día. En P36-45, se examinaron los posibles efectos de la exposición a la frecuencia modulada en el rendimiento de la memoria espacial utilizando las tareas del laberinto en Y y del laberinto acuático de Morris. Los resultados mostraron que la exposición a la frecuencia modulada no afectó al rendimiento del laberinto en Y, pero mejoró la adquisición del aprendizaje espacial y la retención de la memoria en la tarea del laberinto acuático en las presentes condiciones experimentales.

(E) Wang Y, Feng L, Liu S, Zhou X, Yin T, Liu Z, Yang Z. La estimulación magnetoacústica transcraneal mejora la neuroplasticidad en el hipocampo de ratones modelo con enfermedad de Parkinson. *Neurotherapeutics* 16(4):1210-1224, 2019. (VO, CE, BE, CC, MA)

En este estudio hemos demostrado por primera vez los efectos beneficiosos de la estimulación magnetoacústica transcraneal (TMAS), una técnica basada en la estimulación ultrasónica focalizada.

dentro del campo magnético estático, sobre las capacidades de aprendizaje y memoria y la neuroplasticidad del 1-Modelo murino de enfermedad de Parkinson (EP) que comprende metil-4-fenil-1,2,3,6-tetrahidropiridina (MPTP). Nuestros resultados mostraron que el tratamiento crónico con TMAS (2 semanas) mejoró el resultado del laberinto acuático de Morris, la potenciación a largo plazo (LTP) y las densidades de espinas dendríticas en la región del giro dentado (DG) del hipocampo de ratones modelo de EP. Para investigar más a fondo los mecanismos subyacentes de estos efectos beneficiosos del TMAS, cuantificamos las proteínas en el hipocampo que regulan la neuroplasticidad. Los resultados mostraron que el nivel de proteína de densidad postsináptica 95 estaba elevado en el cerebro de ratones modelo de EP tratados con TMAS, mientras que el nivel de sinaptofisina (SYP) no mostró ningún cambio. Cuantificamos además las proteínas que mediaban los mecanismos de neuroplasticidad, como el factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF) y otras proteínas importantes que mediaban la neuroplasticidad. Los resultados mostraron que el tratamiento con TMAS elevó los niveles de BDNF, proteína de unión al elemento de respuesta al AMPc (CREB) y proteína quinasa B (p-Akt) en el hipocampo del ratón modelo con EP, pero no en el hipocampo del ratón sin EP. Estos resultados sugieren que los efectos beneficiosos sobre la neuroplasticidad de los ratones modelo con EP tratados con TMAS podrían posiblemente ser llevados a cabo a través de regulaciones postsinápticas y mediados por BDNF.

(E) Wang Z, Che PL, Du J, Ha B, Yarema KJ. La exposición a un campo magnético estático reproduce los efectos celulares del fármaco candidato para la enfermedad de Parkinson ZM241385. PLoS One.

5(11):e13883, 2010. (Edad, Ciencias, Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas)

ANTECEDENTES: Este estudio se inspiró en la evidencia acumulada de que la terapia magnética puede ser una opción de tratamiento viable para ciertas enfermedades. Esta premisa se basa en la capacidad de los campos de intensidad moderada (es decir, de 0,1 a 1 Tesla) de alterar las propiedades biofísicas de las bicapas lipídicas y, a su vez, modular las vías de señalización celular. En particular, los resultados previos de nuestro laboratorio (Wang et al., BMC Genomics, 10, 356 (2009)) establecieron que la exposición a campos magnéticos estáticos (SMF) de intensidad moderada alteraba los puntos finales celulares asociados con la función y la diferenciación neuronal. Sobre la base de estos antecedentes, el presente artículo investigó el SMF centrándose en el receptor de adenosina A(2A) (A(2A)R) en la línea celular de feocromocitoma suprarrenal de rata PC12 que muestra características metabólicas de la enfermedad de Parkinson (EP). METODOLOGÍA Y RESULTADOS PRINCIPALES: SMF reprodujo varias respuestas provocadas por ZM241385, un antagonista selectivo de A(2A)R, en células PC12, incluyendo flujo de calcio alterado, niveles aumentados de ATP, niveles reducidos de AMPc, producción reducida de óxido nítrico, fosforilación reducida de p44/42 MAPK, proliferación inhibida y absorción reducida de hierro. SMF también contrarrestó varios puntos finales relevantes para la EP exacerbados por el agonista de A(2A)R CGS21680 de una manera similar a ZM241385; estos incluyen reducción de la expresión aumentada de A(2A)R, reversión del eflujo de calcio alterado, amortiguación de la producción aumentada de adenosina, reducción de la proliferación mejorada y fosforilación asociada de p44/42 MAPK e inhibición del crecimiento de neuritas. CONCLUSIONES Y SIGNIFICADO: Al medirlo frente a múltiples criterios de valoración, el SMF provocó respuestas cualitativamente similares a las del ZM241385, un fármaco candidato para la EP. Siempre que los resultados in vitro presentados en este artículo se apliquen in vivo, el SMF promete ser un interesante enfoque no invasivo para tratar la EP y, potencialmente, otros trastornos neurológicos.

(E) Wu CL, Fu TF, Chiang MH, Chang YW, Her JL, Wu T. La magnetorrecepción regula la actividad de cortejo de los machos en *Drosophila*. PLoS One. 19 de mayo de 2016;11(5):e0155942. (AS, CE, BE)

Los posibles efectos neurológicos y biofísicos de los campos magnéticos en animales son un área de estudio activo. Aquí, informamos que la actividad de cortejo de la *Drosophila* macho aumenta en un campo magnético y que este efecto está regulado por el criptocromo fotorreceptor dependiente de la luz azul (CRY). Las moscas macho ingenuas exhibieron actividades de cortejo significativamente aumentadas cuando fueron expuestas a un campo magnético estático ≥ 20 Gauss, en comparación con su comportamiento en el entorno natural (0 Gauss). Las moscas deficientes en CRY, cryb y crym, no mostraron un aumento del índice de cortejo en un campo magnético. La supresión mediada por ARNi de cry en neuronas cry-GAL4-positivas interrumpió el aumento de la actividad de cortejo masculino en un campo magnético. La expresión genética de cry bajo el control de cry-GAL4 en las moscas deficientes en CRY restableció el aumento del índice de cortejo masculino que se produjo en un campo magnético. Curiosamente, la activación artificial de las neuronas que expresan cry-GAL4, que incluyen neuronas ventrales laterales grandes y neuronas ventrales laterales pequeñas, mediante la expresión del canal catiónico termosensible dTrpA1, también aumentó el índice de cortejo masculino. Esta mejora se eliminó mediante la adición del transgén cry-GAL80. Nuestros resultados resaltan el fenómeno del aumento de la actividad de cortejo masculino causada por un campo magnético a través de la sensación magnética dependiente de CRY en las neuronas de expresión de CRY en *Drosophila*.

(E) Wyszowska J, Shepherd S, Sharkh S, Jackson CW, Newland PL. La exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja altera el comportamiento y la fisiología y niveles de proteínas de estrés en langostas del desierto. Sci Rep. 6:36413, 2016. (AS, AE, BE, CC, EE)

Los campos electromagnéticos (CEM) están presentes en todo el mundo moderno y provienen de muchas fuentes creadas por el hombre, incluidas las líneas aéreas de transmisión. Los riesgos de los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF) son particularmente poco conocidos, especialmente en el caso de intensidades de campo elevadas, ya que rara vez se encuentran a nivel del suelo. Sin embargo, los insectos voladores pueden acercarse a líneas de transmisión de alta intensidad de campo, lo que plantea la pregunta de cómo estos altos niveles de exposición afectan el comportamiento y la fisiología.

En este trabajo, utilizamos el sistema nervioso accesible de la langosta para preguntarnos cómo la exposición a altos niveles de campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF) impacta en múltiples niveles. Demostramos que la exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF) superiores a 4 mT conduce a una reducción de la capacidad de caminar. Además, los registros intracelulares de una neurona motora identificada, la neurona motora del extensor rápido de la tibia, muestran una mayor latencia de la punta y un ensanchamiento de su punta en los animales expuestos. Además, la fuerza de patada de la pata trasera, producida al estimular el músculo extensor de la tibia, se redujo después de la exposición, mientras que los niveles de proteína de estrés (Hsp70) aumentaron. En conjunto, estos resultados sugieren que la exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF) tiene la capacidad de causar efectos dramáticos desde el comportamiento hasta la fisiología y la expresión de proteínas, y este estudio sienta las bases para explorar la importancia ecológica de estos efectos en otros insectos voladores.

(E) Xia P, Zheng Y, Dong L, Tian C. El campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja a corto plazo inhibe la plasticidad sináptica de las sinapsis CA1 colaterales de Schaffer en

Hipocampo de rata a través de la vía Ca^{2+} /calcineurina. ACS Chem Neurosci 2021 9 de septiembre. doi: 10.1021/acscchemneuro.1c00500. En línea antes de su impresión. (CS, AE, EE)

En este estudio, investigamos el mecanismo intrínseco por el cual un campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) influye en las neuronas en la región CA1 colateral de Schaffer (SC-CA1) del hipocampo de rata utilizando técnicas electrofisiológicas. El ELF-EMF tiene un efecto interesante sobre la plasticidad sináptica: debilita la potenciación a largo plazo y mejora la depresión a largo plazo. En este estudio, el efecto del campo magnético desapareció después de un bloqueo de los canales de calcio dependientes del voltaje y la calcineurina, que son componentes clave en la vía Ca^{2+} /calcineurina, con dos bloqueadores, cloruro de cadmio y ciclosporina A. Esto establece plenamente que el efecto del ELF-EMF sobre la plasticidad sináptica está mediado por la vía Ca^{2+} /calcineurina y representa una técnica novedosa para estudiar los mecanismos de acción específicos del ELF-EMF sobre el aprendizaje y la memoria.

(E) Xiong J, He C, Li C, Tan G, Li J, Yu Z, Hu Z, Chen F. Cambios en la densidad y morfología de las espinas dendríticas en las capas superficiales de la corteza entorinal medial inducidos por la exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja. PLoS One. 8(12):e83561, 2013. (AS, CE, MC)

En el presente estudio, investigamos los efectos de la exposición crónica (14 y 28 días) a un campo magnético de frecuencia extremadamente baja (ELM) de 0,5 mT 50 Hz sobre la densidad y la forma de las espinas dendríticas en las capas superficiales de la corteza entorinal medial (MEC). Realizamos una tinción de Golgi para revelar las espinas dendríticas de las neuronas principales en ratas. Los resultados mostraron que la exposición a ELM indujo una disminución en la densidad de espinas en las dendritas de las neuronas estrelladas y las dendritas basales de las neuronas piramidales tanto a los 14 días como a los 28 días, lo que se debió en gran medida a la pérdida de las espinas delgadas y ramificadas. La alteración en la densidad de espinas en forma de hongo y rechonchas después de la exposición a ELM fue específica del tipo de célula. Para las neuronas estrelladas, la exposición a ELM aumentó ligeramente la densidad de espinas rechonchas a los 28 días, mientras que no afectó la densidad de espinas en forma de hongo al mismo tiempo. En las dendritas basales de las neuronas piramidales, observamos una disminución significativa en la densidad de espinas en forma de hongo solo en el último momento posterior a la exposición al ELM, mientras que la densidad de espinas rechonchas se redujo a los 14 días y se restableció parcialmente a los 28 días posteriores a la exposición al ELM. La reducción inducida por la exposición al ELM en la densidad de espinas en las dendritas apicales de las neuronas piramidales solo se observó a los 28 días, lo que refleja la vulnerabilidad distintiva de las espinas en las dendritas apicales y basales. Teniendo en cuenta que los cambios en el número y la forma de las espinas están involucrados en la plasticidad sináptica y que el MEC es una parte de la red neuronal que está estrechamente relacionada con el aprendizaje y la memoria, estos hallazgos pueden ser útiles para explicar el deterioro inducido por la exposición al ELM en las funciones cognitivas.

(E) Xu Y, Gu X, Di G Efecto dependiente de la duración de la exposición a un campo eléctrico estático sobre la capacidad de aprendizaje y memoria en ratones. Environ Sci Pollut Res Int 2018 agosto;25(24):23864-

23874. (Año Nuevo, Edad Media, Edad Media)

Con el rápido desarrollo de la transmisión de corriente continua de voltaje ultra alto (UHVDC), La intensidad del campo eléctrico estático ambiental (SEF) alrededor de las líneas de transmisión UHVDC aumentó sustancialmente, lo que ha despertado una amplia atención pública sobre los posibles efectos del SEF en la salud. En este estudio, se investigó el efecto de la exposición al SEF en la capacidad de aprendizaje y memoria. Instituto

Los ratones de Cancer Research fueron expuestos a 56,3 kV/m SEF durante un período corto (7 días) o largo (49 días). Se examinaron los comportamientos en la prueba del laberinto acuático de Morris (MWM), los contenidos de neurotransmisores del hipocampo y los indicadores de estrés oxidativo. Los resultados mostraron que la exposición a SEF a corto plazo prolongó significativamente la latencia de escape y disminuyó el número de cruces de plataforma-sitio, así como el tiempo transcurrido en el cuadrante objetivo en la prueba MWM.

Mientras tanto, el nivel de serotonina y la relación entre el nivel de glutamato y el nivel de ácido γ -aminobutírico cambiaron significativamente. Además, el contenido de malondialdehído y la actividad de la glutatión peroxidasa aumentaron significativamente, mientras que la actividad de la superóxido dismutasa disminuyó significativamente. Después de la exposición a largo plazo al SEF, todos los índices anteriores no mostraron diferencias significativas entre los grupos de exposición al SEF y al grupo de exposición simulada. Estos datos indicaron que la exposición a corto plazo a 56,3 kV/m SEF podría causar niveles anormales de neurotransmisores y estrés oxidativo en el hipocampo, lo que llevó a la disminución de la capacidad de aprendizaje y memoria. Bajo la condición de exposición a largo plazo, las alteraciones inducidas por SEF en el contenido de neurotransmisores y el equilibrio redox fueron compensadas por las respuestas compensatorias de los ratones y, por lo tanto, la capacidad de aprendizaje y memoria regresó al nivel normal. La disminución temporal y reversible de la capacidad de aprendizaje y memoria fue solo un efecto biológico común del SEF en lugar de un peligro para la salud.

(E) Yakir-Blumkin MB, Loboda Y, Schächter L, Finberg JPM La exposición a campos magnéticos estáticos in vivo mejora la generación de nuevas células que expresan doblecortina en la zona subventricular y el neocórtex de ratas adultas. Neuroscience 2020 425:217-234. (AS, CS, CE, MC)

El campo magnético estático (SMF) está ganando interés como una técnica potencial para modular la actividad neuronal del SNC. Estudios previos han demostrado un efecto proneurogénico de períodos cortos de campos magnéticos pulsátiles (PMF) de frecuencia extremadamente baja in vivo y un efecto pro-supervivencia de SMF de baja intensidad en neuronas cultivadas in vitro, pero se sabe poco sobre los efectos in vivo de SMF de intensidad baja a moderada en las funciones cerebrales. Investigamos el efecto de SMF aplicado continuamente en la neurogénesis de la zona subventricular (SVZ) y células inmaduras que expresan doblecortina (DCX) en el neocórtex de ratas adultas jóvenes y en cultivos primarios de neuronas corticales in vitro. Se implantó un disco magnético pequeño (3 mm de diámetro) en el cráneo de ratas en bregma, produciendo una intensidad de campo promedio de 4,3 mT en SVZ y 12,9 mT en el neocórtex interno. Los niveles de proliferación de células madre de SVZ se determinaron mediante el marcaje con 5-etinil-2'-desoxiuridina (EdU), y el desarrollo temprano del fenotipo neuronal se determinó mediante la expresión de doblecortina (DCX). Para determinar el efecto de SMF en la neurogénesis in vitro, se colocaron imanes permanentes debajo de las placas de cultivo. Descubrimos que la exposición a SMF de baja intensidad mejora la proliferación celular en SVZ y las nuevas células que expresan DCX en regiones neocorticales de ratas adultas jóvenes. En cultivos neuronales corticales primarios, la exposición a SMF aumentó la expresión de células recién generadas comarcadas con EdU y DCX o el marcador neuronal maduro NeuN, al tiempo que activaba un conjunto de genes pro neuronales bHLH. La exposición a SMF tiene potencial para el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas y afecciones como traumatismos del sistema nervioso central y trastornos afectivos en los que es deseable una mayor neurogénesis.

(E) Yang G, Ren Z, Mei YA. La exposición a un campo magnético de 50 Hz modula las corrientes de GABAA en las neuronas granulares cerebelosas a través de una vía PKC mediada por el receptor EP. J Cell Mol Med. 14 de julio de 2015. doi: 10.1111/jcmm.12626. [Publicación electrónica antes de la impresión](CS, AE, FC, CC)

Trabajos previos tanto de nuestro laboratorio como de otros han indicado que la exposición a campos magnéticos de 50 Hz (ELF-MF) fue capaz de modificar las funciones de los canales iónicos. Sin embargo, muy pocos estudios han investigado los efectos de los MF en el funcionamiento del canal de los receptores de ácido γ -aminobutírico (GABA) tipo A (GABAA Rs), que son fundamentales para la excitabilidad neuronal general. Aquí, nuestro objetivo principal es revelar los efectos potenciales de ELF-MF en la actividad de GABAA Rs en neuronas granulares cerebelosas de rata (CGNs). Nuestros resultados indicaron que la exposición de CGNs a 1 mT ELF-MF durante 60 min. aumentó significativamente las corrientes GABAA R sin modificar la sensibilidad a GABA. Sin embargo, la activación de PKA por db-cAMP no lo hizo, pero condujo a una ligera disminución en su lugar. Por otro lado, la activación o inhibición de PKC por PMA o ácido Bis y docosahexaenoico (DHA) imitó o eliminó el aumento inducido por el campo de las corrientes GABAA R. El análisis Western blot indicó que los niveles intracelulares de PKC fosforilada (pPKC) se elevaron significativamente después de 60 minutos de exposición a ELF-MF, que posteriormente se bloqueó mediante la aplicación de DHA o antagonista específico del receptor EP1 (receptor 1 de prostaglandina E) (SC19220), pero no mediante antagonistas específicos del receptor EP2-EP4. SC19220 también inhibió significativamente la elevación inducida por ELF-MF en las corrientes R de GABAA. En conjunto, estos datos demostraron obviamente por primera vez que el GABAA neuronal

Las corrientes de ELF-MF aumentan significativamente y también sugieren que estos efectos están mediados por una vía PKC mediada por el receptor EP1. El trabajo futuro se centrará en un análisis más exhaustivo de las consecuencias fisiológicas y/o patológicas de estos efectos.

(E) Yi G, Wang J, Wei X, Deng B, Tsang KM, Chan WL, Han C. Efectos de campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja en la respuesta de un modelo de neurona basado en conductancia. *Int J Neural Syst*. 2014 Feb; 24(1):1450007. doi: 10.1142/S0129065714500075. Publicado electrónicamente el 11 de diciembre de 2013. (CS, AE, EE)

Para proporcionar información sobre la modulación de la actividad neuronal por el campo magnético (MF) de frecuencia extremadamente baja (ELF), presentamos un modelo de neurona basado en la conductancia e introducimos el MF sinusoidal ELF como una entrada de voltaje aditivo. Al analizar los tiempos de pico y la frecuencia de pico, se observa que las neuronas con patrones de pico distintos exhiben diferentes propiedades de respuesta en presencia de exposición al MF. Para las neuronas con picos tónicos, las perturbaciones de la exposición al MF en los tiempos de pico se maximizan en los armónicos de la frecuencia de pico intrínseca neuronal, mientras que se maximizan en los armónicos de la frecuencia de ráfaga para las neuronas con picos de ráfaga. A medida que aumenta la intensidad del MF, las perturbaciones también aumentan. En comparación con los picos tónicos, la dinámica de ráfaga es menos sensible a las perturbaciones de la exposición al MF ELF. Además, la exposición al MF ELF es más propensa a perturbar los tiempos de pico neuronal en relación con la frecuencia de pico. Nuestro hallazgo sugiere que la resonancia puede ser uno de los mecanismos neuronales subyacentes a los efectos moduladores de las MF de ELF de baja intensidad sobre las actividades neuronales. Los resultados destacan los impactos de la exposición a las MF de ELF sobre la actividad neuronal a nivel de célula individual y demuestran que varios factores, incluidas las propiedades de las MF de ELF y las características de activación neuronal, podrían determinar el resultado de Estos conocimientos sobre el mecanismo de exposición a los MF pueden ser relevantes para el diseño de protocolos de estímulo magnético de múltiples intensidades e incluso pueden contribuir a la interpretación de los efectos de los MF en los sistemas nerviosos centrales.

(E) Yin C, Luo X, Duan Y, Duan W, Zhang H, He Y, Sun G, Sun X. Efectos neuroprotectores de las procianidinas de la vaina de la semilla de loto en frecuencias extremadamente bajas.

Neurotoxicidad inducida por campos electromagnéticos en neuronas hipocampales de cultivo primario. *Biomed Pharmacother.* 82:628-639, 2016. (CS, AE, OX, MA)

El presente estudio investigó los efectos protectores de las procianidinas de la vaina de la semilla de loto (LSPC) sobre la neurotoxicidad inducida por campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) en neuronas de hipocampo de ratas de cultivo primario y el mecanismo molecular subyacente. Los resultados de MTT, observación morfológica, ensayos de superóxido dismutasa (SOD) y malondialdehído (MDA) mostraron que, en comparación con el control, la incubación de neuronas bajo exposición a ELF-EMF disminuyó significativamente la viabilidad celular y aumentó el número de células apoptóticas, mientras que las LSPC evidentemente protegieron a las neuronas del hipocampo contra el daño celular inducido por ELF-EMF. Además, una cierta concentración de LSPC inhibió la elevación de las especies reactivas de oxígeno (ROS) intracelulares y el nivel de Ca^{2+} , así como también evitó la alteración del potencial de membrana mitocondrial inducido por la exposición a ELF-EMF. Además, la suplementación con LSPC podría aliviar el daño del ADN, bloquear la detención del ciclo celular en la fase S e inhibir la apoptosis y la necrosis de las neuronas del hipocampo bajo la exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF). Estudios posteriores demostraron que las LSPC regulaban positivamente las activaciones de las proteínas Bcl-2 y Bcl-xl y suprimían las expresiones de las proteínas Bad y Bax causadas por la exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF). En conclusión, estos hallazgos revelaron que las LSPC protegían contra la neurotoxicidad inducida por campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF) al inhibir el estrés oxidativo y la vía apoptótica mitocondrial.

(E) Zeng Y, Shen Y, Hong L, Chen Y, Shi X, Zeng Q, Yu P. Efectos de la exposición única y repetida a un campo electromagnético de 50 Hz y 2 mT en neuronas hipocampales cultivadas primariamente. *Neurosci Bull.* 33(3):299-306, 2017. (CS, AE, CE, OX, FC)

La prevalencia de electrodomésticos domésticos e industriales ha suscitado inquietudes sobre el riesgo para la salud de los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF). En la actualidad, los efectos de los ELF-MF en el sistema nervioso central siguen siendo muy controvertidos y pocos estudios han investigado sus efectos en neuronas cultivadas. Aquí, evaluamos los efectos biológicos de diferentes patrones de exposición a ELF-MF en neuronas hipocampales cultivadas primarias en términos de viabilidad, apoptosis, inestabilidad genómica y estrés oxidativo. Los resultados mostraron que la exposición repetida a 50 Hz 2-mT ELF-MF durante 8 h por día después de diferentes tiempos en cultivo disminuyó la viabilidad y aumentó la producción de especies oxidativas reactivas intracelulares en neuronas hipocampales. El mecanismo estaba potencialmente relacionado con la regulación positiva de la expresión de Nox2. Además, ninguno de los patrones de exposición repetida tuvo efectos significativos en el daño del ADN, la apoptosis o la autofagia, lo que sugirió que la exposición a ELF-MF no tiene consecuencias biológicas graves en neuronas hipocampales cultivadas.

Zhang B, Tian L. Especies reactivas de oxígeno: posibles moléculas reguladoras en respuesta a la exposición a campos hipomagnéticos. *Bioelectromagnetics* 2020 Dic;41(8):573-580. (Revisión)

Los organismos, incluidos los humanos, podrían estar expuestos a campos hipomagnéticos (HMF, intensidad $<5 \mu\text{T}$), por ejemplo, en algunos entornos magnéticos protegidos artificialmente y durante vuelos al espacio profundo. Estudios previos han demostrado que la exposición al HMF podría tener efectos negativos en la

El sistema nervioso central y el desarrollo embrionario de muchos animales. Sin embargo, los mecanismos subyacentes siguen siendo desconocidos. Los estudios han revelado que los HMF afectan los niveles de especies reactivas de oxígeno (ROS) celulares y, por lo tanto, alteran los procesos fisiológicos y biológicos en los organismos. Se planteó la hipótesis de que las ROS, el componente principal de los radicales libres altamente activos, que son omnipresentes en los sistemas biológicos, eran las moléculas de señalización candidatas que regulaban diversos procesos fisiológicos en respuesta a los cambios en los campos magnéticos. En este artículo, resumimos los avances recientes en el estudio de los efectos negativos inducidos por el HMF en el sistema nervioso central y el desarrollo embrionario temprano en animales, centrándonos en las ROS celulares y su papel en respuesta a los HMF. Además, analizamos el mecanismo potencial a través del cual los HMF regulan los niveles de ROS en las células.

(NE) Zhang C, Li Y, Wang C, Lv R, Song T. La exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja parece no tener efecto sobre la patogénesis de la enfermedad de Alzheimer en ratas con sobrecarga de aluminio. PLoS One. 12 de agosto de 2013;8(8):e71087. doi: 10.1371/journal.pone.0071087. eCollection 2013. (AS, CE, BE, MC, ND)

OBJETIVO: Se ha informado durante años que el campo magnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) tiene una relevancia patogénica potencial para la enfermedad de Alzheimer (EA). Sin embargo, la evidencia que confirma esta función sigue sin ser concluyente. El tratamiento crónico con Al se ha identificado como un factor que contribuye al deterioro de la función cognitiva en la EA. Este estudio tiene como objetivo examinar si el ELF-MF y el Al tienen o no efectos sinérgicos hacia la patogénesis de la EA mediante la investigación de los efectos del ELF-MF con o sin tratamiento crónico con Al en ratas SD. MÉTODOS: Las ratas Sprague-Dawley (SD) fueron sometidas a uno de los siguientes tratamientos: tratamiento simulado (grupo de control), Al oral (grupo Al), ELF-MF (100 μ T a 50 Hz) con Al oral (grupo MF + Al), o ELF-MF (100 μ T a 50 Hz) sin Al oral (grupo MF). RESULTADOS: Después de 12 semanas de tratamiento, los grupos de tratamiento oral con Al (grupos Al y MF+Al) mostraron deterioro del aprendizaje y la memoria, así como características morfológicas, incluida la pérdida de células neuronales y una alta densidad de amiloide- β ($A\beta$) en el hipocampo y la corteza cerebral. El tratamiento con ELF-MF sin Al no mostró un efecto significativo en la patogénesis de la EA. El tratamiento con ELF-MF+Al no indujo más daño que el tratamiento con Al. CONCLUSIONES: Nuestros resultados no mostraron evidencia de ninguna asociación entre la exposición a ELF-MF (100 μ T a 50 Hz) y la EA, y la exposición a ELF-MF no influye en la patogénesis de la EA inducida por sobrecarga de Al.

(E) Zhang H, Dai Y, Cheng Y, He Y, Manyakara Z, Duan Y, Sun G, Sun X. Influencia de los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja en la señalización de Ca^{2+} y el sistema de doble mensajero en el hipocampo de ratones y la función de reversión de las procianidinas extraídas de la vaina de la semilla de loto. Bioelectromagnetismo. 38(6):436-446, 2017. (AS, CE, CC)

Esta investigación investigó la influencia de campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja. (ELF-MF; 50 Hz, 8 mT, 4 h por día, durante 28 días) sobre la señalización del ion calcio y el sistema de doble mensajero en el hipocampo de ratones. Los mensajeros que se estudiaron incluyeron: proteína G, Ins(1,4,5)P3 (IP3), diacilglicerol (DAG), proteína quinasa dependiente de AMPc (PKA) y proteína quinasa C dependiente de Ca^{2+} (PKC). Los resultados mostraron que ELF-MF provocó un aumento en los niveles de proteína Gi, IP3, DAG, PKA y PKC beta,

calcinación de la fosfatasa dependiente de calcio y calmodulina (PP2B), y el contenido intracelular de Ca^{2+} , y una disminución de la proteína quinasa II dependiente de calcio/calmodulina (CaMK II) y PKC alfa. Además, la exposición a ELF-MF disminuyó el nivel de factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF), que jugó un papel clave en la muerte celular neuronal del hipocampo. Sin embargo, la administración oral de procianidinas de la vaina de la semilla de loto (LSPC) (especialmente 90 mg kg^{-1}) recuperó significativamente estos cambios y casi alcanzó niveles normales. Todos estos mostraron que las LSPC pueden mediar la señal de calcio y

sistema de doble mensajero a través de las vías de señalización Ca^{2+} /CaMK II/CREB/BDNF y DG/PKC/MAPK para revertir la alteración causada por ELF-MF.

(E) Zhang X, Li JF, Wu QJ, Li B, Jiang JC. Efectos del campo hipomagnético en las actividades noradrenérgicas en el tronco encefálico del hámster dorado. *Bioelectromagnetics* 2007 Feb;28(2):155-158.

(AS, LE, CC, MA)

Estudios previos han demostrado que la eliminación del campo geomagnético (GMF) interfiere en las funciones cerebrales normales, pero el mecanismo subyacente sigue siendo desconocido. El presente estudio examinó los efectos de la exposición prolongada a un entorno magnético cercano a cero sobre las actividades noradrenérgicas en el tronco encefálico de hámsteres dorados. Tanto el contenido de noradrenalina (NE) como la densidad de neuronas inmunopositivas a NE en el tejido disminuyeron significativamente después del tratamiento, y los efectos podrían ser progresivos con el tiempo. Estas variaciones pueden contribuir sustancialmente a los trastornos conductuales y del estado de ánimo informados en otros estudios cuando los animales están protegidos del GMF.

(E) Zhang X, Lv M, Zhu X, Tian L, Li J, Shao Y, Gao C, Sun X. El precondicionamiento con isoflurano mejora el daño neuronal inducido por pulsos electromagnéticos al cambiar la polarización de la microglía hacia un fenotipo antiinflamatorio a través de la regulación positiva de SOCS1. *Int Immunopharmacol.* 68:48-57, 2019. (AS, CE, FC, MA)

Con los rápidos avances tecnológicos de las últimas décadas, la exposición humana a los campos electromagnéticos (CEM) se ha vuelto cada vez más común. La exposición a los CEM puede inducir lesiones neuronales y disfunción de varios órganos, probablemente involucrando neuroinflamación y activación de células microgliales. Se ha demostrado que el precondicionamiento con isoflurano (IP) proporciona neuroprotección en varias enfermedades neurológicas al inhibir las respuestas neuroinflamatorias excesivas. Las muestras de cerebro extraídas de ratas expuestas a pulsos electromagnéticos (EMP) con o sin IP se sometieron a qPCR, ensayo Western blot e inmunohistoquímica para determinar la expresión de marcadores de microglia proinflamatorios/antiinflamatorios y una variedad de mediadores proinflamatorios y antiinflamatorios.

Se utilizó el ARNi supresor de la señalización de citocinas 1 (SOCS1) en células de microglia N9 cultivadas para examinar las funciones de SOCS1 en el efecto de IP. En experimentos tanto in vivo como in vitro, la microglia expuesta a EMP era predominantemente microglia proinflamatoria, acompañada de una mayor expresión de citocinas y quimiocinas proinflamatorias, y la activación de la vía TLR4, lo que conduce a la muerte neuronal. IP revirtió los cambios inducidos por EMP y cambió la microglia activada a un fenotipo antiinflamatorio. El ARNi de SOCS1 eliminó los efectos beneficiosos de IP. IP mejora las lesiones neuronales inducidas por EMP al cambiar la polarización de la microglia del fenotipo proinflamatorio al antiinflamatorio a través de la regulación positiva de SOCS1.

(E) Zhang XQ, LiL, Huo JT, Cheng M, LiL-H. Efectos de la estimulación magnética transcraneal repetitiva sobre la función cognitiva y la actividad colinérgica en el hipocampo de ratas después de la demencia vascular. *Neural Regen Res* 13(8):1384-1389, 2018. (AS, CE, BE, MC, CC, MA)

La estimulación magnética transcraneal repetitiva (EMTr) es un tratamiento no invasivo que puede mejorar la recuperación de la función neurológica después de un accidente cerebrovascular. Si puede promover de manera similar la recuperación La función cognitiva después de la demencia vascular sigue siendo desconocida. En este estudio, se estableció un modelo de rata para la demencia vascular mediante el método de oclusión de dos vasos. Dos días después de la lesión, se administraron 30 pulsos de rTMS a cada hemisferio cerebral a una frecuencia de 0,5 Hz y una intensidad de campo magnético de 1,33 T. Se utilizó la prueba del laberinto acuático de Morris para evaluar la función de aprendizaje y memoria. Se realizó el método Karnovsky-Rosenthal para determinar la densidad de neuronas colinérgicas en la región CA1 del hipocampo. Se utilizó tinción inmunohistoquímica para determinar el número de células inmunorreactivas al factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF) en la región CA1 del hipocampo. El tratamiento con rTMS durante 30 días mejoró significativamente la función de aprendizaje y memoria, aumentó la actividad de la acetilcolinesterasa y la colina acetiltransferasa, aumentó la densidad de neuronas colinérgicas y aumentó el número de células inmunorreactivas al BDNF.

Estos resultados indican que la rTMS puede mejorar las deficiencias de aprendizaje y memoria en ratas con demencia vascular. El mecanismo por el cual esto ocurre podría estar relacionado con la promoción de la expresión de BDNF y la posterior restauración de la actividad del sistema colinérgico en la región CA1 del hipocampo.

(NE) Zhang Y, Liu X, Zhang J, Li N. Efectos a corto plazo de la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja en la enfermedad de Alzheimer en ratas. *Int J Radiat Biol.* 13 de agosto de 2014:1-35. [Publicación electrónica antes de la impresión] (AS, CE, BE, ND)

Objetivo: Con el desarrollo y el uso generalizado de la tecnología de campos electromagnéticos (CEM), los estudios recientes se están centrando en los efectos de los CEM en la salud humana. Recientemente, los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (CEM-ELF) han sido estudiados con gran interés debido a sus posibles efectos en la enfermedad de Alzheimer (EA). El objetivo del presente estudio fue investigar la interacción entre la exposición a CEM-ELF y el deterioro de la memoria en ratas.

Materiales y métodos: Veinte ratas macho sanas Sprague Dawley (SD) se dividieron aleatoriamente en dos grupos (n = 10). Los animales fueron expuestos a 100 μ T/50 Hz ELF-EMF o sometidos a exposición simulada cuando tenían 12 semanas de edad. Después de 12 semanas, se utilizó el laberinto acuático de Morris (MWM) para probar los cambios en la capacidad cognitiva y de memoria. El contenido de beta amiloide ($A\beta$) en la corteza, el hipocampo y el plasma se midió mediante ensayos ELISA. La morfología de las neuronas se detectó mediante tinción HE. Resultados: Después de la exposición, el peso corporal de las ratas no mostró diferencias en comparación con el grupo de control. La aplicación de ELF-EMF no indujo ningún deterioro cognitivo o de memoria en comparación con el grupo de exposición simulada. La determinación de $A\beta$ no mostró cambios significativos entre los dos grupos. Y no hubo cambios histológicos en el grupo de exposición a ELF-EMF. Conclusión: El presente estudio indicó que la exposición a corto plazo a campos electromagnéticos de baja frecuencia (ELF) de 100 μ T/50 Hz no tuvo efectos sobre la cognición y la memoria de las ratas, y no alteró la expresión de $A\beta$ ni la morfología neuronal. Sin embargo, aún se necesitan estudios más exhaustivos.

Es necesario dilucidar los posibles efectos y los mecanismos subyacentes de la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (FEB) en organismos vivos.

(NE) Zhang Y, Liu X, Zhang J, Li N. Efectos a corto plazo de la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja en la enfermedad de Alzheimer en ratas. *Int J Radiat Biol.* 91(1):28-34, 2015. (COMO, CE, BE, MA, ND, CC)

OBJETIVO: Con el desarrollo y el uso generalizado de la tecnología de los campos electromagnéticos (CEM), estudios recientes se están centrando en los efectos de los CEM en la salud humana. Recientemente, los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) han sido estudiados con gran interés debido a sus posibles efectos sobre la enfermedad de Alzheimer (EA). El objetivo del presente estudio fue investigar la interacción entre la exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF) y el deterioro de la memoria en ratas. **MATERIALES Y MÉTODOS:** Se dividieron al azar veinte ratas Sprague Dawley (SD) macho sanas en dos grupos ($n = 10$). Los animales fueron expuestos a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF) de $100 \mu\text{T}/50 \text{ Hz}$ o sometidos a una exposición simulada cuando tenían 12 semanas de edad. Después de 12 semanas, se utilizó el laberinto acuático de Morris (MWM) para evaluar los cambios en la capacidad cognitiva y de memoria. El contenido de beta-amiloide ($A\beta$) en la corteza, el hipocampo y el plasma se midió mediante ensayos ELISA. La morfología de las neuronas se detectó mediante tinción H&E. **RESULTADOS:** Después de la exposición, el peso corporal de las ratas no mostró diferencias en comparación con el grupo de control. La aplicación de campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF) no indujo ningún deterioro cognitivo o de memoria en comparación con el grupo de exposición simulada. La determinación de $A\beta$ no mostró cambios significativos entre los dos grupos, y no hubo cambios histológicos en el grupo de exposición a ELF-EMF. **CONCLUSIÓN:** El presente estudio indicó que la exposición a corto plazo a $100 \mu\text{T}/50 \text{ Hz}$ ELF-EMF no tuvo efectos sobre la cognición y la memoria de las ratas, y no alteró la expresión de $A\beta$ ni la morfología neuronal. Sin embargo, aún se requieren estudios más exhaustivos para dilucidar los posibles efectos y los mecanismos subyacentes de la exposición a ELF-EMF en los organismos vivos.

(E) Zhao QR, Lu JM, Yao JJ, Zhang ZY, Ling C, Mei YA. La neuritina revierte los déficits en la memoria de reconocimiento asociativo de objetos nuevos en ratones causados por la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (50 Hz). *Sci Rep.* 5:11768, 2015. (AS, CE, BE, MA)

Estudios en animales han demostrado que la exposición a campos electromagnéticos puede interferir con la actividad de las células cerebrales, generando así alteraciones conductuales y cognitivas. Sin embargo, los mecanismos subyacentes y las posibles prevenciones aún son desconocidos. En este estudio, utilizamos un modelo de ratón para examinar los efectos de la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (50 Hz) (ELF MFs) en una tarea de memoria de reconocimiento y cambios morfológicos de las neuronas del hipocampo. Los datos mostraron que la exposición a ELF MFs (1 mT , 12 h/día) indujo un déficit dependiente del tiempo en la memoria de reconocimiento asociativo de objetos nuevos y también disminuyó la densidad de espinas dendríticas del hipocampo. Este efecto se observó sin cambios correspondientes en la actividad locomotora espontánea y fue transitorio, lo que solo se ha visto después de exponer ratones a ELF MFs durante 7-10 días. La sobreexpresión de neuritina hipocampal, un factor neurotrófico dependiente de la actividad, utilizando un vector de virus adenoasociado (AAV) aumentó significativamente la neuritina

nivel y densidad de espinas dendríticas. Este aumento fue paralelo a los déficits inducidos por la exposición a MF ELF en la memoria de reconocimiento y las reducciones en la densidad de espinas dendríticas.

En conjunto, nuestro estudio aporta evidencia de la asociación entre la exposición a las fibras de baja frecuencia (ELF) y el deterioro de la memoria de reconocimiento, y los cambios resultantes en la densidad de las espinas dendríticas del hipocampo. La neuritina impidió este efecto inducido por la exposición a las fibras de baja frecuencia (ELF) al aumentar la densidad de las espinas del hipocampo.

(E) Zhen J, Qian Y, Fu J, Su R, An H, Wang W, Zheng Y, Wang X. La estimulación magnética cerebral profunda promueve la neurogénesis y restaura la actividad colinérgica en un modelo de ratón transgénico de la enfermedad de Alzheimer. *Front Neural Circuits*. 11:48, 2017. (AS, CE, MC, ND, MA)

La enfermedad de Alzheimer (EA) se caracteriza por un deterioro progresivo de la memoria y de las funciones cognitivas. Se ha informado de que la estimulación magnética profunda (DMS), una estimulación cerebral no invasiva y no farmacológica, alivia el deterioro cognitivo relacionado con el estrés en los trastornos neuropsiquiátricos. Nuestro estudio anterior también descubrió el efecto preventivo de la DMS sobre el deterioro cognitivo en un modelo de ratón con EA. Sin embargo, el mecanismo subyacente debe explorarse más a fondo. En este estudio, investigamos el efecto de la DMS sobre el aprendizaje espacial y las funciones de memoria, la neurogénesis en el giro dentado (DG), así como la expresión y la actividad del sistema colinérgico en un modelo de ratón transgénico de EA (5XFAD). La administración de DMS mejoró eficazmente el rendimiento en el aprendizaje espacial y la memoria de los ratones 5XFAD. Además, la neurogénesis en el DG del hipocampo de los ratones 5XFAD tratados con DMS mejoró claramente. Además, el DMS aumentó significativamente el nivel de acetilcolina y evitó el aumento de la actividad de la acetilcolinesterasa, así como la disminución de la actividad de la acetiltransferasa en el hipocampo de los ratones 5XFAD. Estos hallazgos indican que el DMS puede ser una herramienta no invasiva prometedora para el tratamiento y la prevención del deterioro cognitivo de la enfermedad de Alzheimer al promover la neurogénesis y mejorar la función del sistema colinérgico.

(E) Zheng Y, Ma W, Dong L, Dou JR, Gao Y, Xue J. Influencia de la estimulación ELF-EMF en línea sobre las propiedades electrofisiológicas de las neuronas CA1 del hipocampo de rata in vitro. *Rev Sci Instrum*. 88(10):105106, 2017. (CS, AE, CC, EE)

Se ha demostrado que los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) tienen un efecto ambiental negativo sobre la salud humana; sin embargo, su efecto terapéutico es beneficioso para los pacientes que sufren trastornos neurológicos. A pesar de este éxito, la aplicación de ELF-EMF ha superado la comprensión de su mecanismo interno. Recientemente, se descubrió que la estimulación magnética en línea puede ofrecer ventajas sobre la exposición magnética fuera de línea y ha demostrado ser eficaz para activar las neuronas piramidales de la corteza prefrontal in vitro. Aquí, realizamos simulaciones computacionales de las bobinas de estimulación en el modelado COMSOL para describir la uniformidad de la distribución del campo magnético en línea. Curiosamente, los datos del modelado y las mediciones reales mostraron que las densidades del flujo magnético generado por las bobinas de estimulación en línea eran similares. El estimulador magnético en línea indujo corrientes de canal de sodio, así como potenciales postsinápticos excitatorios de campo de las neuronas CA1 del hipocampo de rata y demostró con éxito sus amplias aplicaciones para activar el tejido neuronal. Estos hallazgos plantean aún más la posibilidad de que el instrumento

La estimulación magnética en línea puede ser una alternativa eficaz para estudios en el campo del bioelectromagnetismo.

(E) Zheng Y, Dou JR, Gao Y, Dong L, Li G. Efectos de los campos magnéticos de onda cuadrada de 15 Hz en los canales de sodio y potasio dependientes del voltaje en las neuronas piramidales de la corteza prefrontal. Int J Radiat Biol. 93(4):449-455, 2017. (CS, AE, FC)

OBJETIVO: Aunque los campos magnéticos tienen efectos significativos sobre las neuronas, se sabe poco sobre los mecanismos detrás de sus efectos. El presente estudio tuvo como objetivo medir los efectos de los campos magnéticos sobre los canales iónicos en las neuronas piramidales corticales. MATERIALES Y MÉTODOS: Se aislaron neuronas piramidales corticales de ratones Kunming y luego se sometieron a estimulación con campos magnéticos de onda cuadrada de 15 Hz, 1 mT (relación de trabajo del 50%). Las corrientes de sodio (INa), las corrientes transitorias de potasio (IA) y las corrientes de potasio rectificadoras retardadas (IK) se registraron mediante el método de fijación de parche de célula completa. RESULTADOS: Descubrimos que la exposición al campo magnético deprimió las densidades de corriente del canal y alteró la cinética de activación de los canales de sodio y potasio. Las propiedades de inactivación de INa y IA también se vieron alterados. CONCLUSIÓN: La exposición al campo magnético altera la función del canal iónico en las neuronas. Es probable que las estructuras de los canales de sodio y potasio se vieran influenciadas por el campo aplicado. El ácido siálico, que es un componente importante de los canales, podría ser la molécula responsable de los resultados informados.

(E) Zheng Y, Ma XX, Dong L, Gao Y, Tian L. Efectos de las estimulaciones de campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja de frecuencia única e híbrida sobre la potenciación a largo plazo en la vía colateral de Schaffer del hipocampo. Int J Radiat Biol. 95(9):1319-1325, 2019. (CS, AE, EE)

Objetivo: Estudiar los diferentes efectos de los campos magnéticos de frecuencia única e híbrida sobre la potenciación a largo plazo (PLP) en la plasticidad sináptica. Materiales y métodos: Basándonos en el sistema de estimulación de campo electromagnético en línea y el sistema de registro de potenciales postsinápticos excitatorios de campo (fEPSP), aplicamos cuatro campos magnéticos de frecuencia única e híbrida diferentes con una intensidad de 1 mT a la vía colateral de Schaffer (CA1) de cortes de hipocampo de rata in vitro. Resultados: La amplitud de los fEPSP disminuyó significativamente bajo estimulación magnética de frecuencia única e híbrida. La estimulación magnética de frecuencia única más baja en LTP tuvo un mayor efecto regulador, mientras que el efecto regulador entre cuatro diferentes estimulaciones híbridas de campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) en LTP no mostró diferencias significativas. Conclusión: La estimulación magnética de frecuencia única produce efectos reguladores más significativos, y cuanto menor es la frecuencia, más significativo es el efecto regulador. El efecto de la estimulación magnética de frecuencia híbrida en cada grupo fue similar, y no hubo diferencias significativas entre cada grupo. El grupo de estimulación magnética de frecuencia única de 15 Hz mostró el efecto regulador más significativo, pero una vez que se mezcló con otra estimulación magnética de frecuencia más alta, su efecto regulador se debilitó significativamente.

(E) Zheng Y, Cheng J, Dong L, Ma X, Kong Q. Efectos de la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja sobre la potenciación a largo plazo en la región CA1 del hipocampo. Biochem Biophys Res Commun. 517(3):513-519, 2019
(CS, AE, EE)

Exposición a campos electromagnéticos ambientales, especialmente a los de muy baja potencia.

Los campos electromagnéticos (CEM) de baja frecuencia (ELF < 300 Hz) pueden producir efectos de modulación en la actividad neuronal. Los cambios a largo plazo en la plasticidad sináptica, como la potenciación a largo plazo (LTP) involucrada en el aprendizaje y la memoria, pueden contribuir a una serie de enfermedades neurológicas. Sin embargo, los efectos de modulación de los CEM de ELF en la LTP aún no se comprenden por completo. En nuestro presente estudio, nos propusimos evaluar los efectos de la exposición a los CEM de ELF en la LTP en la región CA1 del hipocampo en ratas. Se expusieron cortes de hipocampo a campos magnéticos generados por el sistema sXcELF con diferentes frecuencias (15, 50 y 100 Hz [Hz]), intensidades (0,5, 1 y 2 mT [mT]) y duración (10 s [s], 20 s, 40 s, 60 s y 5 min), luego se registraron las señales de referencia durante 20 min y los potenciales postsinápticos excitatorios de campo evocado (fEPSP). Descubrimos que las amplitudes de LTP disminuyeron después de la exposición al campo magnético, y las amplitudes de LTP disminuyeron en proporción a las dosis y duraciones de exposición, lo que sugiere que los ELF-EMF pueden tener efectos de inhibición dependientes de la dosis y la duración. Entre múltiples combinaciones de dosis y duración de exposición, tras 5 min de exposición al campo magnético, 15 Hz/2 mT inhibieron al máximo la LTP.

Con campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF) de 15 Hz/2 mT, la amplitud de la LTP disminuye en proporción a la duración de la exposición en un período de 5 minutos. Nuestros hallazgos ilustraron los posibles efectos de los campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF-EMF) en la plasticidad sináptica y conducirán a una mejor comprensión de su influencia en el aprendizaje y la memoria.

(E) Zheng Y, Ma XX, Dong L, Ma W, Cheng JH. Efectos de la estimulación electromagnética de baja frecuencia sinusoidal ininterrumpida sobre la LTP inducida por diferentes combinaciones de TBS/HFS en la CA1 colateral de Schaffer de las sinapsis. Brain Res. 15 de diciembre de 2019;1725:146487. (CS, AE, EE, CC)

La potenciación a largo plazo (PLP) es un aspecto importante de la plasticidad sináptica y es uno de los principales mecanismos implicados en la memoria. Los campos electromagnéticos de baja frecuencia (LF-EMF), como la estimulación magnética transcraneal, son herramientas de neuromodulación emergentes para la regulación de la LTP.

Sin embargo, aún no se ha verificado si los campos magnéticos de baja frecuencia tienen diferentes efectos en distintos tipos de LTP. En este trabajo, estudiamos los efectos reguladores del campo magnético sinusoidal de 15 Hz/2 mT como estimulación premagnética en varios tipos de LTP, que fueron inducidos por ráfaga theta (TBS) o estimulación de alta frecuencia (HFS) o alguna combinación de ellas, y aplicamos antagonistas del receptor N-metil-D-aspartato (NMDAR) para observar la relación entre la regulación de LTP por los campos magnéticos de baja frecuencia y el NMDAR en la vía colateral de Schaffer de cortes de cerebro de rata in vitro.

Los resultados presentados en este artículo son que el rendimiento de TBS y HFS no fue exactamente el mismo y la velocidad de recuperación de TBS-LTP fue más rápida que HFS-LTP después de recibir la regulación de LF-EMF; además, el nivel de LTP se vio afectado por el orden de combinación y el efecto de la estimulación premagnética pudo mantener todo el proceso del experimento de inducción combinado, mientras que los antagonistas de NMDAR no pudieron compensar por completo la influencia de LF-EMF. Los patrones de memoria son diversos, y este estudio ha demostrado que los LF-EMF pueden regular LTP como TBS-LTP y HFS-LTP y pueden afectar continuamente múltiples procesos de inducción de LTP. Sin embargo, diferentes procesos de memoria pueden tener un rendimiento diferente frente a la regulación de LF-EMF. En términos del mecanismo de regulación de LTP inducida por LF-EMF, los NMDAR pueden estar involucrados en el proceso de regulación de LTP por LF-EMF, pero no son el único factor.

Zheng Y, Xia P, Dong L, Tian L, Xiong C. Efectos de la modulación de las corrientes de los canales de sodio y potasio mediante estimulación con campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja en las células piramidales CA1 del hipocampo. Electromag. Biol. Med. 40(2):274-285, 2021.

Investigar los efectos de la estimulación con campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) sobre las corrientes del canal de sodio (INa), las corrientes transitorias de salida del canal de potasio (IA) y las corrientes rectificadoras retardadas del canal de potasio (IK) en el hipocampo. Neuronas piramidales CA1 de ratas jóvenes Sprague Dawley. Las neuronas piramidales CA1 de cortes de hipocampo de rata se sometieron a estimulación con campos electromagnéticos de baja frecuencia (ELF-EMF) con diferentes frecuencias (15 y 50 Hz), intensidades (0,5, 1 y 2 mT) y duraciones (10, 20 y 30 min). El INa, IA e IK de las neuronas se registraron mediante un método de fijación de parche de célula completa. La estimulación con campos electromagnéticos de baja frecuencia aumentó las densidades de INa y redujo las densidades de IA e IK. En detalle, el INa fue más sensible a la variación de intensidades y frecuencias de los campos electromagnéticos de ELF, mientras que IA e IK se vieron afectados principalmente por la variación de la duración de los campos electromagnéticos de ELF. La estimulación con campos electromagnéticos de ELF alteró las propiedades de activación y desactivación de INa, IA e IK. La estimulación de los campos electromagnéticos desempeña un papel como regulador más que como inductor de los canales iónicos. Cambia la probabilidad de transición de apertura o cierre del canal iónico, y también podría cambiar la estructura y función del canal iónico que deben comprobarse mediante el método técnico adicional.

(E) Zheng Y, Zhao W, Ma X, Dong L, Tian L, Zhou M Comparación de la estimulación con campos electromagnéticos de baja frecuencia (ELF) con la estimulación con corriente sobre la regulación de la LTP de las sinapsis de SC-CA1 en el hipocampo de ratas jóvenes. *Int J Radiat Biol* 2021 97(7):1032-1041. (CS, AE, EE, FC)

Antecedentes: La potenciación a largo plazo (PLP) es un indicador funcional importante de la plasticidad sináptica. Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) son un medio físico para regular la LTP, que induce corrientes inducidas. Se desconoce si la corriente inducida es el factor clave cuando la LTP está regulada por ELF-EMF. Nuevo método: Se propone un método para calcular el valor de corriente inducido por ELF-EMF. Luego, se realizó una comparación de ELF-EMF con la corriente en la regulación de la LTP de ráfaga theta o estimulación de alta frecuencia (TBS/HFS).

Resultados: La LTP después de la regulación de los ELF-EMF y la corriente μA se redujo significativamente. El efecto regulador de la corriente de 0,1 μA en la LTP fue similar con 100 Hz/2 mT ELF-EMF, mientras que 0,2 μA tuvo un efecto regulador más fuerte que 200 Hz/2 mT en HFS-LTP. Comparación con los métodos existentes: La mayoría de los métodos existentes se utilizaron para calcular la corriente inducida en modelos humanos, mientras que presentamos un modelo más preciso para calcular la corriente inducida por ELF-EMF en los cortes de cerebro de rata. Conclusiones: Este trabajo indicó que la corriente μA y la estimulación con ELF-EMF redujeron la LTP. Además, demostramos que el efecto regulador de los ELF-EMF en la LTP no se deriva completamente de la corriente inducida, ya que su mecanismo magnético podría haber jugado un cierto papel.

(E) Zheng Y, Zhao L, Dong L, Tian C, Xia P, Jin Z. Dependencia temporal de tres modos diferentes de estimulación ELF-EMF en LTP en sinapsis CA1 colaterales de Schaffer. *Bioelectromagnetism* 27 de agosto de 2021. doi: 10.1002/bem.22369. En línea antes de su publicación. (CS, AE, EE)

La potenciación a largo plazo (PLP) se considera la base celular del aprendizaje y la memoria. Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) son herramientas de neuromodulación para

regulación de la LTP. Sin embargo, aún no se conocen los efectos temporales de la estimulación ELF-EMF de corto plazo sobre la LTP. En este estudio, evaluamos los efectos dependientes del tiempo de la estimulación ELF-EMF de 15 Hz/2 mT sobre la LTP en las sinapsis CA1 colateral de Schaffer (SC-CA1) en ratas Sprague-Dawley. Se expusieron cortes de hipocampo a tres modos diferentes de campos electromagnéticos de baja frecuencia (sinusoidal, pulso de frecuencia única y pulso rítmico) y duraciones (10, 20, 40 y 60 s). Se registró la línea base durante 20 min y el potencial postsináptico excitatorio de campo (fEPSP) se registró durante 60 min utilizando conjuntos de electrodos múltiples (MEA) después de la inducción de plasticidad utilizando estimulación eléctrica de alta frecuencia (HFS) de 100 Hz. En comparación con el grupo de control, la LTP disminuyó bajo tres campos magnéticos diferentes y fue proporcional al tiempo; es decir, cuanto mayor sea el tiempo, mayor será la inhibición. También comparamos los tres campos magnéticos y demostramos que el campo magnético sinusoidal continuo tuvo la mayor tasa inhibitoria de LTP, mientras que los campos magnéticos pulsados y rítmicos fueron similares. Demostramos que diferentes modos de estimulación ELF-EMF tenían un efecto dependiente del tiempo sobre la LTP en las sinapsis CA1 colaterales de Schaffer, lo que proporciona evidencia experimental para el tratamiento de enfermedades neurológicas relacionadas.

(E) Zuo H, Liu X, Wang D, Li Y, Xu X, Peng R, Song T. La señalización NF- κ B mediada por RKIP está implicada en la mejora mediada por ELF-MF en ratas con EA. *Int J Med Sci*. 15(14):1658-1666, 2018. (COMO, CE, CC, BE, MA, ND)

En un estudio previo, informamos sobre los efectos positivos de la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) en ratas con enfermedad de Alzheimer (EA); sin embargo, el mecanismo subyacente sigue sin estar claro. Además, descubrimos que la proteína inhibidora de la quinasa Raf-1 (RKIP) se reguló a la baja por la exposición a microondas en el hipocampo de la rata. Nuestra hipótesis fue que la señalización de la vía NF- κ B mediada por RKIP está involucrada en el efecto de ELF-MF en la rata con EA. En este estudio, se implementaron inyecciones intraperitoneales de D-galactosa (50 mg/kg/día durante 42 días) y de A β 25-35 en el hipocampo (5 μ L/unilateral, bilateral, dosis única) para establecer un modelo de rata con EA. Los animales estuvieron expuestos a 50 Hz y 400 μ T ELF-MF durante 60 días continuos. Luego, se probó la capacidad de memoria espacial de la rata utilizando el laberinto acuático de Morris. La expresión e interacción de proteínas se detectaron mediante transferencia Western y co-inmunoprecipitación para los factores de la vía NF- κ B mediada por RKIP. Los resultados mostraron que la exposición a ELF-MF mejoró parcialmente el trastorno cognitivo, aumentó los niveles de RKIP, TAK1 y la interacción RKIP/TAK1, pero disminuyó los niveles de p-IKK en ratas con EA. Estos resultados indicaron que la señalización de la vía NF- κ B mediada por RKIP desempeña un papel importante en las mejoras mediadas por la exposición a ELF-MF en la rata con EA. Nuestro estudio sugirió que la exposición a ELF-MF podría tener un valor terapéutico potencial para la EA. Se requieren estudios más profundos en el futuro.