

Actualizado al 4 de mayo de 2022

## Estudios de daño oxidativo (radicales libres) RFR

De un total de 288 estudios:

E = 263 (91%)

NE = 25 (9%)

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

(E) Abu Khadra KM, Khalil AM, Abu Samak M, Aljaberi A. Evaluación de parámetros bioquímicos seleccionados en la saliva de hombres jóvenes que usan teléfonos móviles. *Electromagn Biol Med.* 5 de febrero de 2014. [Publicado electrónicamente antes de su publicación impresa]

Se ha evaluado el estado bioquímico en la saliva de 12 hombres antes/después de utilizar el teléfono móvil. Se utilizaron señales de radiofrecuencia de 1800 MHz (transmisión de onda continua, modulación de 217 Hz y Sistema Global para Comunicaciones Móviles [GSM - no DTX]) con un valor de tasa de absorción específica (SAR) de 1,09 w/kg durante 15 y 30 min. La radiación del teléfono móvil indujo un aumento significativo de la superóxido dismutasa (SOD); hubo un efecto estadísticamente significativo del tiempo de conversación sobre los niveles de SOD,  $F(2, 33) = 8,084$ ,  $p < 0,05$ ,  $\omega = 0,53$ . El análisis de tendencias sugiere una tendencia cuadrática significativa,  $F(1, 33) = 4,891$ ,  $p < 0,05$ ; lo que indica que después de 15 min de conversación los niveles de SOD aumentaron, pero a medida que aumentaba el tiempo de conversación la actividad de SOD comenzó a disminuir. En cambio, no se observó un efecto estadísticamente significativo del tiempo de conversación sobre el nivel de albúmina salival, citocromo c, catalasa o ácido úrico. Los resultados sugieren que la exposición a la radiación electromagnética puede ejercer un estrés oxidativo sobre las células humanas, como lo demuestra el aumento de la concentración del anión radical superóxido liberado en la saliva de los usuarios de teléfonos

(E) Achudume A, Onibere B, Aina F, Tchokossa P. Inducción de estrés oxidativo en ratas macho expuestas subcrónicamente a campos electromagnéticos a intensidades no térmicas. *J Electromagnetic Analysis and Applications* 2(8), 482-487, 2010. (LI)

Para investigar el potencial inductor de estrés oxidativo de los campos electromagnéticos no térmicos en ratas, se expusieron ratas Wister macho a una intensidad de campo eléctrico de  $2,3 \pm 0,82 \mu\text{V/m}$ . La exposición se realizó en tres formas: ondas continuas, moduladas a 900 MHz o GSM-no DTX modulado. La radiación de radiofrecuencia (RFR) fue de 1800 MHz, radiación de absorción específica (SAR) (0,95-3,9 W/kg) durante 40 y/o 60 días de forma continua. Los animales de control se ubicaron a  $> 300$  m de la estación base, mientras que los animales de control simulado se ubicaron en condiciones ambientales similares, pero en las proximidades de una estación base no funcional. Se evaluó el contenido de especies tiobarbitúricas y reactivas (TBARS), glutatión reducido (GSH), actividad de catalasa, glutatión reductasa (GR) y residuos de glucosa en las ratas después de 40 y 60 días de exposición.

A los 40 días, la radiación electromagnética no indujo alteraciones significativas. Sin embargo, a los 60 días de exposición, varios atributos evaluados disminuyeron. Las respectivas disminuciones tanto en el fosfato de dinucleótido de nicotinamida y adenina (NADPH) como en la peroxidación lipídica ligada al ascorbato (LPO) con la disminución concomitante en los sistemas de defensa antioxidante enzimáticos dieron como resultado una disminución de los residuos de glucosa. Los estudios actuales mostraron algunos cambios bioquímicos que pueden estar asociados con una exposición prolongada a campos electromagnéticos y su relación con la actividad del sistema antioxidante en ratas. Se recomienda la evaluación regular y la detección temprana del sistema de defensa antioxidante entre las personas que trabajan alrededor de las estaciones base.

(E) Agarwal A, Desai NR, Makker K, Varghese A, Mouradi R, Sabanegh E, Sharma R.

Efectos de las ondas electromagnéticas de radiofrecuencia (RF-EMW) de los teléfonos celulares en el semen eyaculado humano: un estudio piloto in vitro. Fertil Steril. 92(4) 1318-1325, 2009.

OBJETIVO: Evaluar los efectos de las ondas electromagnéticas de radiofrecuencia (RF-EMW) de los teléfonos celulares durante el modo de conversación en el semen humano eyaculado sin procesar (puro).

DISEÑO: Estudio piloto prospectivo. ESCENARIO: Laboratorio de medicina reproductiva en un hospital terciario. MUESTRAS: Muestras de semen puro de donantes sanos normales (n = 23) y pacientes infértiles (n = 9). INTERVENCIÓN(ES): Después de la licuefacción, las muestras de semen puro se dividieron en dos alícuotas. Una alícuota (experimental) de cada paciente se expuso a la radiación del teléfono celular (en modo de conversación) durante 1 h, y la segunda alícuota (no expuesta) sirvió como muestra de control en condiciones idénticas.

MEDIDA(S) PRINCIPAL(ES) DE RESULTADO: Evaluación de los parámetros del esperma (movilidad, viabilidad), especies reactivas de oxígeno (ROS), capacidad antioxidante total (TAC) del semen, puntuación ROS-TAC y daño al ADN del esperma.

RESULTADO(S): Las muestras expuestas a RF-EMW mostraron una disminución significativa de la movilidad y viabilidad del esperma, un aumento del nivel de ROS y una disminución de la puntuación ROS-TAC. Los niveles de TAC y daño en el ADN no mostraron diferencias significativas con respecto al grupo no expuesto.

CONCLUSIÓN(ES): Las ondas electromagnéticas de radiofrecuencia emitidas por los teléfonos celulares pueden provocar estrés oxidativo en el semen humano. Especulamos que mantener el teléfono celular en el bolsillo del pantalón en modo de conversación puede afectar negativamente a los espermatozoides y perjudicar la fertilidad masculina.

(E) Ahmed NA, Radwan NM, Aboul Ezz HS, Salama NA. El efecto antioxidante del Mega EGCG del té verde contra el estrés oxidativo inducido por la radiación electromagnética en el hipocampo y el cuerpo estriado de ratas. Electromagn Biol Med. 2017;36(1):63-73, 2017.

La radiación electromagnética (REM) de los teléfonos celulares puede afectar los sistemas biológicos al aumentar los radicales libres y cambiar los sistemas de defensa antioxidante de los tejidos, lo que eventualmente conduce al estrés oxidativo. El té verde ha atraído recientemente una atención significativa debido a sus beneficios para la salud en una variedad de trastornos, que van desde el cáncer hasta la pérdida de peso. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue investigar el efecto de la REM (frecuencia de 900 MHz modulada a 217 Hz, densidad de potencia de 0,02 mW/cm<sup>2</sup>, SAR de 1,245 W/kg) sobre diferentes parámetros de estrés oxidativo en el hipocampo y el cuerpo estriado de ratas adultas. Este estudio también se extiende para evaluar el efecto terapéutico del mega EGCG del té verde sobre los parámetros anteriores en

Animales expuestos a EMR después y durante la exposición a EMR. Los animales experimentales se dividieron en cuatro grupos: animales expuestos a EMR, animales tratados con té verde mega EGCG después de 2 meses de exposición a EMR, animales tratados con té verde mega EGCG durante la exposición a EMR y animales de control. La exposición a EMR resultó en estrés oxidativo en el hipocampo y el cuerpo estriado como es evidente a partir de las alteraciones en los parámetros oxidantes y antioxidantes. La coadministración de té verde mega EGCG al comienzo de la exposición a EMR durante 2 y 3 meses tuvo un efecto más beneficioso contra el estrés oxidativo inducido por EMR que la administración oral de té verde mega EGCG después de 2 meses de exposición. Esto recomienda el uso de té verde antes de cualquier estresor para atenuar el estado de estrés oxidativo y estimular el mecanismo antioxidante del cerebro.

(E) Akbal, A., Kiran, Y., Sahin, A., Turgut-Balik, D., Balik HH. Efectos de las ondas electromagnéticas emitidas por teléfonos móviles en la germinación, el crecimiento de las raíces y la división mitótica de las células de la punta de la raíz de *Lens culinaris medik*. Pol. J. Environ. Stud. 21:23–29, 2012.

En este estudio, se investigaron los efectos de las ondas electromagnéticas emitidas por teléfonos móviles que funcionan a 1800 MHz sobre la germinación, el crecimiento de las raíces y la división mitótica de las puntas de las raíces de *Lens culinaris Medik*. Las semillas se dividieron en tres grupos. El primer grupo estuvo expuesto a un campo electromagnético de teléfono móvil durante 48 horas en el estado de latencia, y el segundo grupo estuvo expuesto al mismo campo electromagnético en el estado de división. El tercer grupo, el grupo de control, no estuvo expuesto a un campo electromagnético más allá del fondo natural. Los resultados obtenidos en el estudio indican que las ondas electromagnéticas emitidas por teléfonos móviles afectan a las semillas en estado de latencia más que en estado de germinación. La tasa de germinación no se vio afectada en las condiciones de exposición especificadas, pero el crecimiento de las raíces disminuyó debido a un posible efecto del estrés oxidativo en el estado de las semillas latentes. También hubo un aumento notable en las tasas de c-mitosis, especialmente en el estado de semillas latentes. La razón de este aumento podría ser problemas en la función del huso.

(E) Akakin D, Tok OE, Anil D, Akakin A, Sirvanci S, Sener G, Ercan F.

Las ondas electromagnéticas de los teléfonos móviles pueden afectar el cerebro de ratas durante el desarrollo. Turk Neurosurg 2021;31(3):412-421.

Objetivo: Investigar los efectos de las ondas electromagnéticas (EMW) de los teléfonos móviles (MP) en los cerebros de ratas mediante análisis morfológico y bioquímico. Material y métodos:

Se aplicaron EMW durante dos horas/día hasta el nacimiento en los grupos fetales de espera y fetales EMW y 60 días después del nacimiento en los grupos de espera y EMW. El grupo de control no estuvo expuesto a MP. El día 60 después del nacimiento, se midieron los niveles de malondialdehído (MDA) y glutatión (GSH) cerebrales, y se realizó un análisis de transferencia Western para determinar el contenido de proteína ácida fibrilar glial (GFAP).

Se aplicaron tinciones de hematoxilina y eosina e inmunohistoquímica de GFAP. Se examinaron los nervios trigéminos utilizando el microscopio electrónico de transmisión. Resultados: En comparación con los controles, las ratas expuestas a MP en modo de espera o de conversación presentaron un daño neuronal significativamente mayor en la corteza y el hipocampo. Se encontraron mayores niveles de MDA en el grupo EMW y menores niveles de GSH en los grupos de espera, EMW fetal y EMW en comparación con los controles. Mayor contenido de GFAP en el grupo EMW y mayor tinción de GFAP en el grupo

Se observaron grupos EMW fetales y EMW en comparación con los controles. El grupo EMW tuvo una cantidad significativamente menor de axones mielinizados que los animales de control. Conclusión: Los resultados de este estudio sugieren que la exposición a EMW de 1800 MHz (SAR = 1,79 W/kg) en la vida prenatal y posnatal temprana puede provocar daño al nervio trigémino además de degeneración neuronal inducida por estrés oxidativo y activación astrogial en el cerebro de la rata. Los efectos parecen estar relacionados con el modo, siendo más perjudiciales en los grupos expuestos a MP durante el modo de conversación.

(E) Akbari A, Jelodar G, Nazifi S. La vitamina C protege el cerebelo y el encéfalo de ratas del estrés oxidativo tras la exposición a ondas de radiofrecuencia generadas por un modelo de antena BTS. *Toxicol Mech Methods*. 24(5):347-352, 2014.

Se ha informado que las ondas de radiofrecuencia (RFW) generadas por una estación transreceptora base producen efectos nocivos en la función del sistema nervioso central, posiblemente a través del estrés oxidativo. Este estudio se realizó para evaluar el efecto del estrés oxidativo inducido por RFW en el cerebelo y el encéfalo y el efecto profiláctico de la vitamina C en estos tejidos midiendo la actividad de las enzimas antioxidantes, incluidas: glutatión peroxidasa, superóxido dismutasa, catalasa y malondialdehído (MDA). Treinta y dos

Las ratas Sprague-Dawley macho adultas se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos iguales. El grupo de control; el grupo de control con vitamina C recibió ácido L-ascórbico (200 mg/kg de peso corporal/día por sonda) durante 45 días. El grupo RFW fue expuesto a RFW y el grupo RFW+ vitamina C fue expuesto a RFW y recibió vitamina C. Al final del experimento, todos los grupos fueron sacrificados y el encéfalo y el cerebelo de todas las ratas fueron extraídos y almacenados a -70 °C para la medición de la actividad de las enzimas antioxidantes y MDA. Los resultados indican que la exposición a RFW en el grupo de prueba disminuyó la actividad de las enzimas antioxidantes y aumentó MDA en comparación con los grupos de control ( $p < 0,05$ ). El papel protector de la vitamina C en el grupo tratado mejoró la actividad de las enzimas antioxidantes y redujo MDA en comparación con el grupo de prueba ( $p < 0,05$ ). Se puede concluir que RFW causa estrés oxidativo en el cerebro y la vitamina C mejora la actividad de las enzimas antioxidantes y disminuye MDA.

---

(E) Akoev IG, Pashovkina MS, Dolgacheva LP, Semenova TP, Kalmykov VL.

[Actividad enzimática de algunos tejidos y suero sanguíneo de animales y humanos expuestos a microondas e hipótesis sobre el posible papel de los procesos de radicales libres en los efectos no lineales y la modificación del comportamiento emocional de los animales]. [Artículo en ruso] *Radiats Biol Radioecol*. 42(3):322-330, 2002. (LI)

Se estudió la dependencia de las actividades de la ATPasa de actomiosina, la fosfatasa alcalina, la aspartatoaminotransferasa, la monoaminoxidasa y la del comportamiento afectivo de las ratas de la frecuencia de modulación de las microondas (0,8-10 microW/cm<sup>2</sup>) en acciones de corta duración. Se revelaron una serie de fenómenos no lineales, inexplicables desde las posiciones de los enfoques energéticos. Se propuso la hipótesis de trabajo que explica la posibilidad de un alto rendimiento de las microondas débiles y superdébiles y otros fenómenos revelados por la interacción resonante de dicha radiación de radiofrecuencia electromagnética con moléculas paramagnéticas de tejidos biológicos. Esta interacción resonante activa los radicales libres e inicia el automantenimiento y la autointensificación de las reacciones químicas en cadena. La oxidación autocatalítica espontánea de las catecolaminas amplía un espectro común.

El grupo de radicales libres, capaz de participar en esta generación mejorada, se postula el papel protector de la monoaminoxidasa. La monoaminoxidasa se encuentra básicamente en la superficie externa de las mitocondrias y desamina las monoaminas. La desaminación impide la penetración de catecolaminas dentro de las mitocondrias y su oxidación quinona allí con la formación de semiquinonas de radicales libres, capaces de destruir el sistema de síntesis de ATP. Estas inferencias se confirman indirectamente por la correlación revelada experimentalmente entre la actividad de la monoaminoxidasa y la actividad integradora del cerebro de la rata.

(E) Alkis ME, Bilgin HM, Akpolat V, Dasdag S, Yegin K, Yavas MC, Akdag MZ. Efecto de la radiación de radiofrecuencia de 900, 1800 y 2100 MHz sobre el ADN y el estrés oxidativo en el cerebro. *Electromagn Biol Med.* 38(1):32-47, 2019.

El uso cada vez más extendido de los teléfonos móviles ha suscitado una creciente preocupación por los efectos de la radiación de radiofrecuencia (RFR) emitida por estos teléfonos en los sistemas biológicos. El objetivo de este estudio es explorar si la exposición prolongada a la RFR a diferentes frecuencias afecta al daño del ADN y a los parámetros oxidantes-antioxidantes en la sangre y el tejido cerebral de ratas. Se dividieron aleatoriamente 28 ratas Sprague Dawley macho en cuatro grupos iguales ( $n = 7$ ). Se identificaron como Grupo 1: grupo de control simulado, Grupo 2: 900 MHz, Grupo 3: 1800 MHz y Grupo 4: 2100 MHz. Los grupos experimentales de ratas estuvieron expuestos a RFR 2 h/día durante 6 meses. El grupo de ratas de control simulado estuvo sujeto a la misma condición experimental, pero el generador se apagó. Las tasas de absorción específica (SAR) en el cerebro con un promedio de 1 g se calcularon como 0,0845 W/kg, 0,04563 W/kg y 0,03957, a 900 MHz, 1800 MHz y 2100 MHz, respectivamente. Además, se administró malondialdehído (MDA), 8-hidroxi-2'-deoxiguanosina (8-OHdG), estado antioxidante total (TAS) y estado oxidante total (TOS) en las muestras de tejido cerebral. Los resultados del estudio mostraron que los indicadores de daño del ADN y estrés oxidativo se encontraron más altos en los grupos de exposición a RFR que en el grupo de control simulado. En conclusión, la RFR de 900, 1800 y 2100 MHz emitida por los teléfonos móviles puede causar daño oxidativo, inducir un aumento en la peroxidación lipídica y aumentar la formación de daño oxidativo del ADN en el lóbulo frontal de los tejidos cerebrales de ratas. Además, la RFR de 2100 MHz puede causar la formación de roturas de cadena simple de ADN.

(E) Alkis MS, Akdag MZ, Dasdag S, Yegin K, Akpolat V. Roturas de ADN de cadena sencilla y cambios oxidativos en testículos de ratas expuestos a radiación de radiofrecuencia emitida por teléfonos celulares, *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 33:1, 1733-1740, 2019.

Los testículos son un órgano sensible a la contaminación electromagnética y la gente está preocupada por los efectos nocivos de la radiación de radiofrecuencia (RFR) emitida por los teléfonos celulares. Por lo tanto, el propósito de este estudio fue investigar los efectos de la exposición a largo plazo a diferentes frecuencias de RFR en las roturas de ADN monocatenario y los cambios oxidativos en el tejido testicular de ratas. Veintiocho machos de la raza Sprague-Dawley se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos. Tres grupos fueron expuestos a la radiación emitida por generadores de RF de 900, 1800 y 2100 MHz, 2 h/día durante 6 meses. El grupo de control simulado se mantuvo bajo las mismas condiciones experimentales, pero el generador de RFR se apagó. Inmediatamente después de la última exposición, los testículos

Se eliminaron los radicales libres y se analizaron los daños en el ADN, la 8-hidroxidesoxiguanosina (8-OHdG), el malondialdehído (MDA), el estado antioxidante total (TAS), el estado oxidante total (TOS) y el índice de estrés oxidativo (OSI). Los resultados de este estudio indicaron que la RFR aumentó el TOS, el OSI, la MDA y la 8-OHdG ( $p < 0,05$ ). Los niveles de TAS en el grupo expuesto fueron inferiores a los del grupo placebo ( $p < 0,05$ ). En términos de ADN

En el ensayo de cometa, las intensidades de la cola fueron mayores en los grupos de exposición ( $p < 0,05$ ). Este estudio demostró que la exposición prolongada a la RFR emitida por los teléfonos celulares puede causar estrés oxidativo y daño oxidativo del ADN en el tejido testicular de ratas y puede generar roturas de una sola hebra del ADN a altas frecuencias (1800 y 2100 MHz). Nuestros resultados mostraron que cierta RFR emitida por los teléfonos celulares tiene el potencial de provocar daño celular en los testículos.

(E) Almášiová V, Holovská K, Andrašková S, Cigánková V, Ševčíková Z, Raček A, Andrejčáková Z, Beňová K, Tóth S, Tvrdá E, Molnár J, Račeková E. Influencia potencial de la exposición prenatal al campo electromagnético de radiofrecuencia de 2,45 GHz en los testículos de ratas albinas Wistar. *Histol Histopathol* 2021 25 de marzo;18331.

El uso cada vez mayor de dispositivos inalámbricos en las últimas décadas ha obligado a los científicos a aclarar su impacto en los sistemas vivos. Dado que el desarrollo prenatal es muy sensible a numerosos agentes nocivos, incluida la radiación, nos centramos en la evaluación de los posibles efectos adversos de la radiación de microondas (RM) en el desarrollo testicular. Se expusieron ratas albinas Wistar preñadas (de 3 meses de edad, con un peso de  $282 \pm 8$  g) a RM pulsada a una frecuencia de 2,45 GHz, una densidad de potencia media de  $2,8 \text{ mW/cm}^2$  y una tasa de absorción específica de  $1,82 \text{ W/kg}$  durante 2 horas al día durante todo el embarazo. Las crías macho ya no estuvieron expuestas a RM después del nacimiento.

Se recogieron muestras de material biológico después de alcanzar la edad adulta (75 días). La exposición intrauterina a RM provocó cambios degenerativos en el parénquima testicular de ratas adultas. La forma de los túbulos seminíferos era irregular, las células germinales estaban degeneradas y a menudo descamadas.

Los diámetros de los túbulos seminíferos y la altura del epitelio germinal disminuyeron significativamente (ambos a  $p < 0,01$ ), mientras que el espacio intersticial aumentó significativamente ( $p < 0,01$ ) en comparación con los controles. En el grupo de ratas expuestas prenatalmente a MR, las células somáticas y germinales fueron ricas en vacuolas y sus organelos a menudo estaban alterados. Las células necrosantes fueron más frecuentes y se observaron espacios vacíos entre las células de Sertoli y las células germinales. Las células de Leydig contenían más gotitas de lípidos. Se detectó un aumento de la positividad de Fluoro Jade - C y superóxido dismutasa 2 en las ratas expuestas a MR.

Nuestros resultados confirmaron los efectos adversos de la RM en el desarrollo testicular.

(cáncer) Anghileri LJ, Mayayo E, Domingo JL. Sinergismo hierro-radiofrecuencia en linfomagénesis. *Immunopharmacol Immunotoxicol.* 28(1):175-183, 2006.

Se investigaron los efectos de la administración parenteral de hierro sobre la aceleración de la linfomagénesis por exposición a radiofrecuencia utilizando un modelo animal que desarrolla linfomas espontáneos con el envejecimiento. Estudios complementarios de la captación in vivo de gluconato férrico marcado con  $^{59}\text{Fe}$  y complejo férrico-ATP mostraron diferencias en la absorción y excreción entre ambos compuestos de hierro. Los ensayos in vitro de sus efectos sobre la captación celular de calcio utilizando un modelo celular y homogeneizados de tejidos mostraron una dependencia de la estructura molecular. Los resultados actuales

(mortalidad, exámenes clínicos e histopatológicos) demostraron un sinergismo entre la radiofrecuencia y el gluconato férrico, y el aumento del riesgo de exposición a la radiofrecuencia cuando es simultánea a la administración de hierro parenteral .

(E) Arbabi-Kalati F, Salimi S, Vaziry-Rabiee A, Noraei M. Efecto del tiempo de uso del teléfono móvil en la capacidad antioxidante total de la saliva y la inmunoglobulina salival a. Iran J Public Health. 43(4):480-484, 2014.

ANTECEDENTES: Hoy en día, el teléfono móvil es muy popular, lo que genera preocupación por el efecto que tiene en la salud de las personas. Las glándulas salivales parótidas están en estrecho contacto con el teléfono móvil mientras se habla por teléfono y existe la posibilidad de que se vean afectadas por ellas. Estudios limitados han evaluado el efecto del uso del teléfono móvil en las secreciones de estas glándulas; por lo que este estudio fue diseñado para investigar los efectos de la duración del uso del teléfono móvil en la capacidad antioxidante total de la saliva. MÉTODOS: Se recolectó saliva no estimulada de 105 voluntarios sin lesiones bucales. Los voluntarios, según el uso diario de teléfonos móviles, se dividieron en tres grupos y luego se midió la capacidad antioxidante total de la saliva mediante el método de capacidad reductora férrica del plasma (FRAP). Los datos se analizaron con el software SPSS versión 19. Se utilizó ANOVA para comparar 3 grupos y la prueba post-hoc de Tukey para comparar entre dos grupos. RESULTADOS: La capacidad antioxidante total promedio de la saliva en los tres grupos fue de 657,91  $\mu\text{mol/lit}$ , 726,77  $\mu\text{mol/lit}$  y 560,17  $\mu\text{mol/lit}$ , respectivamente. Los dos grupos presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $P = 0,039$ ). CONCLUSIÓN: Hablar durante más de una hora con un teléfono celular disminuye la capacidad antioxidante total de la saliva en comparación con hablar menos de veinte minutos.

(E) Asl JF, Goudarzi M, Shoghi H. El efecto radioprotector del ácido rosmarínico contra el estrés oxidativo inducido por la radiación de los teléfonos móviles y el wifi en los cerebros de ratas. Pharmacol Rep. 72:857-866, 2020.

ANTECEDENTES: Rosmarinus officinalis L. es una hierba perenne aromática de la que se puede extraer ácido rosmarínico (AR). Esta investigación se realizó para evaluar la eficacia del AR contra el estrés oxidativo inducido por la radiación de radiofrecuencia (RF) debido a las frecuencias de 915 MHz (teléfono móvil) y 2450 MHz (Wi-Fi) en ratas.

MÉTODOS: Los animales se dividieron en seis grupos, incluyendo el grupo 1 que recibió solución salina normal (NS), el grupo 2 (NS/Wi-Fi) y el grupo 4 (NS/móvil), que recibieron NS más 60 min/día de exposición a la radiación electromagnética (REM) durante 1 mes, el grupo 3 (RA/Wi-Fi) y el grupo 5 (RA/móvil) recibieron RA (20 mg/kg/día, po) más 60 min/día de EMR, y el grupo 6 (RA) recibió solo RA. RESULTADOS: Hubo una elevación significativa de la carbonilación de proteínas (PC), óxido nítrico (NO) y malondialdehído (MDA) y una reducción significativa de glutatión (GSH), glutatión peroxidasa (GPx), capacidad antioxidante total (TAC), superóxido dismutasa (SOD) y catalasa (CAT) en el cerebro de las ratas expuestas a radiación de RF en comparación con el grupo de control. RA redujo los niveles de NO, PC y MDA y también elevó los niveles de TAC, GPx, SOD, CAT y GSH en los cerebros de las ratas en los grupos RA/Wi-Fi y RA/móvil en comparación con los grupos NS/Wi-Fi y NS/móvil, respectivamente.

CONCLUSIÓN: Se puede concluir que el AR puede considerarse un candidato útil para proteger los tejidos cerebrales contra el estrés oxidativo inducido por la radiación RF a 915 y

Frecuencias de 2450 MHz a través de efectos mejoradores sobre las actividades enzimáticas antioxidantes y los índices de estrés oxidativo.

(E) \*Atasoy HI, Gunal MY, Atasoy P, Elgun S, Bugdayci G. Demostración inmunohistopatológica de los efectos nocivos de las ondas de radiofrecuencia emitidas por dispositivos Wi-Fi convencionales sobre los testículos en crecimiento de ratas. J Pediatr Urol. 9(2): 223-229, 2013. (LI)

OBJETIVO: Investigar los efectos en los testículos de ratas de la radiación de radiofrecuencia emitida por dispositivos de acceso a Internet Wi-Fi en interiores que utilizan estándares inalámbricos 802.11.g. MÉTODOS: Se dividieron diez ratas macho albinas Wistar en grupos experimentales y de control, con cinco ratas por grupo. Se utilizaron puertas de enlace inalámbricas estándar que se comunicaban a 2,437 GHz como fuentes de ondas de radiofrecuencia. El grupo experimental estuvo expuesto a energía de radiofrecuencia durante 24 horas al día durante 20 semanas. Las ratas fueron sacrificadas al final del estudio. Se tomaron muestras de sangre intracardiaca para determinar los niveles séricos de 8-hidroxi-2'-desoxiguanosina. Se extirparon los testículos y se examinaron histológicamente e inmunohistoquímicamente. Se analizaron los tejidos de los testículos para determinar los niveles de malondialdehído y las actividades enzimáticas prooxidantes-antioxidantes. RESULTADOS: Observamos aumentos significativos en los niveles séricos de 8-hidroxi-2'-desoxiguanosina y tinción de 8-hidroxi-2'-desoxiguanosina en los testículos del grupo experimental, lo que indica daño del ADN debido a la exposición ( $p < 0,05$ ). También encontramos niveles reducidos de actividad de la catalasa y la glutatión peroxidasa en el grupo experimental, lo que puede deberse a los efectos de la radiofrecuencia sobre la actividad enzimática ( $p < 0,05$ ).

CONCLUSIONES: Estos hallazgos plantean preguntas sobre la seguridad de la exposición a la radiofrecuencia de los dispositivos de acceso a Internet Wi-Fi para organismos en crecimiento en edad reproductiva, con un efecto potencial tanto sobre la fertilidad como sobre la integridad de las células germinales.

(E) \*Avci B, Akar A, Bilgici B, Tunçel ÖK. Estrés oxidativo inducido por radiación electromagnética de radiofrecuencia de 1,8 GHz y efectos del extracto de ajo en ratas. Int J Radiat Biol. 88(11):799-805, 2012.

OBJETIVO: Nuestro objetivo fue estudiar el daño oxidativo inducido por la radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF-EMR) emitida por teléfonos móviles y el efecto protector del extracto de ajo utilizado como antioxidante contra este daño. MATERIALES Y MÉTODOS: Un total de 66 ratas Wistar albinas se dividieron en tres grupos. El primer grupo de ratas recibió 1,8 GHz, 0,4 W/kg de tasa de absorción específica (SAR) durante 1 hora al día durante tres semanas. El segundo grupo recibió 500 mg/kg de extracto de ajo además de RF-EMR. El tercer grupo de ratas se utilizó como grupo de control. Al final del estudio, se recogieron muestras de sangre y tejido cerebral de las ratas. RESULTADOS: Después de la exposición a RF-EMR, los niveles de producto de proteína de oxidación avanzada (AOPP) del tejido cerebral aumentaron en comparación con el grupo de control ( $p < 0,001$ ). Por otra parte, la administración de ajo junto con la RF-EMR redujo significativamente los niveles de AOPP en el tejido cerebral ( $p < 0,001$ ). Los niveles séricos de óxido nítrico (NO) aumentaron significativamente tanto en el primer como en el segundo grupo ( $p < 0,001$ ). Sin embargo, en el grupo en el que la administración de ajo acompañó a la RF-EMR, no hubo diferencias en los niveles séricos de NO en comparación con el grupo expuesto a RF-EMR ( $p > 0,05$ ). No hubo diferencias significativas entre los grupos con respecto a los niveles de malondialdehído (MDA) en el tejido cerebral y las muestras de sangre ( $p > 0,05$ ). De manera similar, no se detectaron diferencias entre los grupos con respecto a los niveles séricos de paroxonasa (PON) ( $p > 0,05$ ). No detectamos ninguna PON

CONCLUSIONES: La exposición a radiofrecuencias electromagnéticas similares a las de 1,8 GHz del sistema global de comunicaciones móviles (GSM) provoca la oxidación de proteínas en el tejido cerebral y un aumento del NO sérico. Observamos que la administración de ajo redujo la oxidación de proteínas en el tejido cerebral y que no tuvo ningún efecto sobre los niveles séricos de NO.

(E) Aweda MA, Gbenebitse S, Meidinyo RO. Efectos de la exposición a microondas de 2,45 GHz en el estado de peroxidación en ratas Wistar. Niger Postgrad Med J. 10(4):243-246, 2003.

Una de las consecuencias de la exposición a las radiaciones de microondas (MW) es el aumento de la producción de O<sub>2</sub> libre, radicales libres, peróxidos y superóxidos. Los efectos sobre el estado de peroxidación lipídica (LPS) de la irradiación corporal total de 120 ratas Wistar con 2,45 GHz Se han estudiado los MW a una densidad de potencia de 6 mWcm<sup>-2</sup> utilizando el generador de MW modelo ER6660E de Toshiba UK Ltd. Se monitoreó el LPS en las ratas durante un período de 8 semanas después de la irradiación utilizando el método del ácido tiobarbitúrico (TRA). Las exposiciones a MW provocaron un aumento del LPS desde el valor de control medio de 4,18 x 10<sup>-6</sup> g 1<sup>-1</sup> hasta un máximo de 6,50 x 10<sup>-6</sup> g 1<sup>-1</sup> en las primeras 24 horas, y luego se redujeron gradualmente hasta el valor de control después de aproximadamente una semana. 1 mg kg<sup>-1</sup> de ácido ascórbico administrado antes de la irradiación provocó una disminución del LPS desde el valor de control hasta un mínimo de 2,86 x 10<sup>-6</sup> g 1<sup>-1</sup> en la primera semana. El valor aumentó gradualmente hasta un máximo de 3,96 x 10<sup>-6</sup> g 1<sup>-1</sup> dentro del período de monitoreo. 1 mg kg<sup>-1</sup> de a-tocoferol también administrado antes de la irradiación también causó una disminución en el LPS desde el valor de control a un mínimo de 2,10 x 10<sup>-6</sup> g 1<sup>-1</sup> dentro de la primera semana. Luego, el valor aumentó gradualmente hasta un máximo de 3,94 x 10<sup>-6</sup> g 1<sup>-1</sup> dentro del período de monitoreo. Los resultados obtenidos de este estudio demuestran que las exposiciones a MW causan un aumento significativo en el LPS y existen efectos protectores de los antioxidantes ácido ascórbico y alfa-tocoferol.

(E) Ayata A, Mollaoglu H, Yilmaz HR, Akturk O, Ozguner F, Altuntas I. El daño cutáneo mediado por estrés oxidativo en un modelo experimental de teléfono móvil se puede prevenir con melatonina. J Dermatol. 31(11):878-883, 2004.

La mayoría de los teléfonos móviles emiten una radiación de 900 MHz que se absorbe principalmente en los órganos externos. Se evaluaron los efectos de la radiación de 900 MHz sobre la fibrosis, la peroxidación lipídica y las enzimas antioxidantes, así como los efectos mejoradores de la melatonina (Mel) en la piel de ratas. Se utilizaron treinta ratas Wistar-Albino en el estudio. Los grupos experimentales fueron el grupo de control, el grupo irradiado (IR) y el grupo irradiado+tratado con Mel (IR+Mel). Se aplicó una dosis de radiación de 900 MHz, 2 W al grupo IR todos los días durante 10 días (30 min/día). El grupo IR+Mel recibió 10 mg/kg/día de melatonina en agua del grifo durante 10 días antes de la irradiación. Al final del décimo día, se extirpó una muestra de piel del área toracoabdominal. Se estudiaron los niveles de malondialdehído (MDA) e hidroxiprolina y las actividades de la superóxido dismutasa (SOD), la glutatión peroxidasa (GSH-Px) y la catalasa (CAT) en las muestras de piel. Los niveles de MDA e hidroxiprolina y las actividades de la CAT y GSH-Px aumentaron significativamente en el grupo IR en comparación con el grupo de control (p<0,05) y disminuyeron significativamente en el grupo IR+Mel (p<0,05). La actividad de la SOD disminuyó significativamente en el grupo IR y esta disminución no se evitó con el tratamiento con Mel. Estos resultados sugieren que las ratas irradiadas con 900 MHz sufren un aumento de la fibrosis y la peroxidación lipídica (LPO). El tratamiento con Mel puede reducir la fibrosis y la LPO causadas por la radiación.

(E) \*Aydin B, Akar A. Efectos de un campo electromagnético de 900 MHz sobre los parámetros de estrés oxidativo en órganos linfoides de ratas, leucocitos polimorfonucleares y plasma. Arch Med Res. 42(4):261-267, 2011.

ANTECEDENTES Y OBJETIVOS: El presente estudio investigó los efectos de un campo electromagnético (CEM) de 900 MHz durante 2 h/día durante 45 días sobre los órganos linfoides (bazo, timo, médula ósea), leucocitos polimorfonucleares (PMN) y plasma de ratas, centrándose en los cambios en el sistema antioxidante enzimático y no enzimático. Determinamos si hay alguna diferencia entre ratas inmaduras y maduras en términos de daño oxidativo causado por CEM y probamos grupos de recuperación para determinar si el daño inducido por CEM es reversible en ratas inmaduras y maduras. MÉTODOS: Veinticuatro ratas inmaduras y 24 maduras se dividieron aleatoriamente e igualmente en seis grupos de la siguiente manera: dos grupos de control, inmaduros (2 semanas de edad) y maduros (10 semanas de edad); dos grupos fueron expuestos a CEM de 900 MHz ( $28,2 \pm 2,1$  V/m) durante 2 h/día durante 45 días. Dos grupos de recuperación se mantuvieron durante 15 días después de la exposición a los campos electromagnéticos. RESULTADOS: Se observaron cambios bioquímicos sustanciales y perjudiciales en el metabolismo del estrés oxidativo después de la exposición a los campos electromagnéticos. La actividad de las enzimas antioxidantes, los niveles de glutatión en los órganos linfoides y la capacidad antioxidante del plasma disminuyeron, pero la peroxidación lipídica y los niveles de óxido nítrico en los PMN y el plasma, así como la actividad de la mieloperoxidasa en los PMN, aumentaron. El daño oxidativo fue específico del tejido y las mejoras observadas después del período de recuperación fueron limitadas, especialmente en ratas inmaduras. CONCLUSIONES: En el presente estudio, se observaron niveles mucho más altos de daño oxidativo irreversible en los órganos linfoides principales de ratas inmaduras que en ratas maduras.

(E) \*Aynali G, Nazırođlu M, Celik O, Dođan M, Yarıktas M, Yasan H. Modulación de la toxicidad oxidativa inducida por radiofrecuencia (2,45 GHz) en la mucosa laringotraqueal de ratas mediante melatonina. Eur Arch Otorhinolaryngol. 270(5):1695-1700, 2013. (LI)

Es bien sabido que el estrés oxidativo induce cáncer de laringe, aunque los antioxidantes inducen un papel modulador en la etiología del cáncer. Es bien sabido que la radiación electromagnética (REM) induce estrés oxidativo en diferentes sistemas celulares. El objetivo de este estudio fue investigar el posible papel protector de la melatonina sobre el estrés oxidativo inducido por la REM Wi-Fi (2,45 GHz) en la mucosa laringotraqueal de ratas. Para este propósito, 32 ratas macho se categorizaron igualmente en cuatro grupos, a saber, controles, controles simulados, ratas expuestas a REM, ratas expuestas a REM tratadas con melatonina en una dosis de 10 mg/kg/día. A excepción de los controles y los controles simulados, los animales estuvieron expuestos a radiación de 2,45 GHz durante 60 min/día durante 28 días. Los niveles de peroxidación lipídica fueron significativamente ( $p < 0,05$ ) más altos en los grupos expuestos a la radiación que en los grupos control y control simulado. El nivel de peroxidación lipídica en los animales irradiados tratados con melatonina fue significativamente ( $p < 0,01$ ) menor que en aquellos que solo estuvieron expuestos a la radiación Wi-Fi. La actividad de la glutatión peroxidasa fue menor en el grupo irradiado solo en relación con los grupos de control y control simulado, pero su actividad aumentó significativamente ( $p < 0,05$ ) en los grupos tratados con melatonina. Los niveles reducidos de glutatión en la mucosa de la rata no cambiaron en los cuatro grupos. Existe un efecto protector aparente de la melatonina sobre el estrés oxidativo inducido por Wi-Fi en la mucosa laringotraqueal de ratas mediante la inhibición de la formación de radicales libres y el apoyo del sistema antioxidante de la glutatión peroxidasa.

(E) Azimzadeh M, Jelodar G. El efecto protector de la suplementación con vitaminas (E y E + C) sobre el aprendizaje y la memoria de evitación pasiva durante la exposición a ondas de radiofrecuencia de 900 MHz emitidas por estaciones base. *Toxicol Ind Health*. 2020 Feb; 36(2):93-98.

Los efectos nocivos de la exposición a la radiación electromagnética sobre la salud pública han sido ampliamente estudiados. Este estudio se realizó para evaluar el efecto protector de la suplementación con vitaminas (E o E + C) sobre el aprendizaje de evitación pasiva (PAL) y la memoria en ratas sometidas a ondas de radiofrecuencia (RFW) de 900 MHz. Treinta ratas Sprague-Dawley macho adultas ( $190 \pm 20$  g) se dividieron aleatoriamente en seis grupos como: control I (vehículo), control II (vitamina E 250 mg/kg), control III (vitamina E 100 mg/kg + ácido L-ascórbico 200 mg/kg), y tres grupos expuestos a RFW como: exposición simulada, tratamiento I (vitamina E) y tratamiento II (vitamina E + C). La duración de la exposición fue de 30 días continuos (4 h/día). El PAL se evaluó el último día mediante la caja lanzadera. El aprendizaje y la memoria de los animales se demostraron como la duración de permanecer dentro del área de luz, que se llama tiempo de luz (LT). El grupo expuesto al placebo mostró una disminución significativa en el LT en los días de aprendizaje, consolidación y retención en comparación con otros grupos ( $p < 0,05$ ). El pretratamiento con vitaminas (E y E + C) podría proteger el PAL contra los efectos adversos del RFW, y la administración de vitamina E + C mejoró el rendimiento del PAL en el control III en comparación con los grupos de control I y tratamiento II ( $p < 0,05$ ).

La administración de vitamina E + C al grupo expuesto (tratamiento II) provocó un aumento significativo de la LT en las sesiones de aprendizaje ( $p = 0,013$ ), consolidación y retención ( $p = 0,009$ ) en comparación con el grupo de tratamiento I (vitamina E). La exposición prolongada a RFW de 900 MHz afectó la PAL y la memoria, y el tratamiento previo con vitamina (E o E + C) previno estos efectos, lo que puede ser un nuevo mecanismo potencial contra los efectos secundarios de RFW.

(E) Azimzadeh M, Jelodar G. Homeostasis de oligoelementos en el cerebro expuesto a ondas de radiofrecuencia de 900 MHz emitidas desde un modelo de antena BTS y el papel protector de la vitamina E. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*. 12 de abril de 2020. doi: 10.1111/jpn.13360. [Publicado electrónicamente antes de su impresión] Los avances en telecomunicaciones y su amplio uso en la comunidad se han convertido en una gran preocupación desde el punto de vista de la salud. El objetivo del presente estudio fue examinar los efectos de la exposición a 900 MHz RFW en la concentración de hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn) y manganeso (Mn) en el cerebro, y el papel protector del pretratamiento con vitamina E en la homeostasis de los elementos mencionados. Veinte ratas Sprague-Dawley macho adultas ( $200 \pm 20$  g) se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos. Grupo de control (sin ninguna exposición, recibió agua destilada), grupo de control de tratamiento (recibió 250 mg/kg de peso corporal/día de vitamina E por vía oral), grupo de tratamiento (recibió 250 mg/kg de peso corporal/día de vitamina E y se expuso a 900 MHz RFW) y grupo de exposición simulada (expuesto a 900 MHz RFW). Los animales (que se movían libremente en la jaula) fueron expuestos a RFW durante 30 días consecutivos (4 horas/día). Los niveles de los elementos mencionados anteriormente en el tejido cerebral se determinaron el último día mediante espectrofotometría de absorción atómica. La exposición a 900 MHz RFW indujo un aumento significativo en los niveles de Fe, Cu, Mn y la relación Cu/Zn acompañado de una disminución significativa en el nivel de Zn en el grupo expuesto simuladamente en comparación con el grupo de control. El pretratamiento con vitamina E mejoró el nivel de Fe, Cu, Mn y la relación Cu/Zn, excepto en la concentración de Zn. La exposición a 900 MHz RFW causó una alteración de la homeostasis de los oligoelementos en el tejido cerebral y la administración de vitamina E como agente antioxidante y neuroprotector mejoró la situación.

(E) Bahreyni Toossi MH, Sadeghnia HR, Mohammad Mahdizadeh Feyzabadi M, Hosseini M, Hedayati M, Mosallanejad R, Beheshti F, Alizadeh Rahvar Z. Exposición al teléfono móvil (900-1800 MHz) durante el embarazo: estrés oxidativo de los tejidos después del parto. *J Matern Fetal Neonatal Med.* 31(10):1298-1303, 2018.

ANTECEDENTES: El presente estudio ha investigado los efectos del teléfono móvil (900-1800 MHz) sobre el estado redox en el corazón, hígado, riñón, cerebelo e hipocampo de las madres y crías de ratones. MATERIALES Y MÉTODOS: Las hembras Balb/C preñadas se dividieron en dos grupos, que incluían el grupo de control y el grupo experimental. El grupo experimental estuvo expuesto a teléfonos móviles (900-1800 MHz) durante la gestación (2 h/día durante 20 días). Las madres y las crías de ambos grupos fueron sacrificadas y los tejidos de interés se recolectaron inmediatamente después del parto. Se determinó la concentración de malondialdehído (MDA), el contenido total de grupos tiol (TTG), la actividad de superóxido dismutasa (SOD) y la catalasa (CAT) en los tejidos. RESULTADOS: En los grupos experimentales, los niveles de MDA aumentaron significativamente, mientras que TTG, SOD y CAT disminuyeron significativamente en los tejidos totales de las madres y sus crías. CONCLUSIÓN: La exposición a teléfonos móviles (900-1800 MHz) durante el embarazo induce estrés oxidativo en los tejidos de las madres y sus crías.

(E) Balci M, Devrim E, Durak I. Efectos de los teléfonos móviles en el equilibrio oxidante/antioxidante en la córnea y el cristalino de ratas. *Curr Eye Res.* 32(1):21-25, 2007.

Objetivo: Investigar los efectos de la radiación emitida por los teléfonos móviles en el equilibrio oxidante/antioxidante en los tejidos de la córnea y el cristalino y observar los efectos protectores de la vitamina C en este contexto. Métodos: Se asignaron cuarenta ratas Wistar albinas hembras a uno de cuatro grupos que contenían 10 ratas cada uno. Un grupo recibió una dosis diaria estandarizada de radiación de teléfono móvil durante 4 semanas. El segundo grupo recibió este mismo tratamiento junto con una dosis oral diaria de vitamina C (250 mg/kg). El tercer grupo recibió esta dosis de vitamina C sola, mientras que el cuarto grupo recibió atención de laboratorio estándar y sirvió como control. En los tejidos de la córnea y el cristalino, se midieron los niveles de malondialdehído (MDA) y las actividades de la superóxido dismutasa (SOD), la glutatión peroxidasa (GSH-Px) y la catalasa (CAT) con métodos espectrofotométricos. Resultados: En el tejido corneal, el nivel de MDA y la actividad de CAT aumentaron significativamente en el grupo del teléfono móvil en comparación con el grupo del teléfono móvil más vitamina C y el grupo de control ( $p < 0,05$ ), mientras que la actividad de SOD disminuyó significativamente ( $p < 0,05$ ). En los tejidos del cristalino, solo el nivel de MDA aumentó significativamente en el grupo del teléfono móvil en relación con el grupo del teléfono móvil más vitamina C y los grupos de control ( $p < 0,05$ ). En el tejido del cristalino, no se encontraron diferencias significativas entre los grupos en términos de SOD, GSH-Px o CAT ( $p > 0,05$ ).

Conclusiones: Los resultados de este estudio sugieren que la radiación del teléfono móvil produce estrés oxidativo en los tejidos de la córnea y el cristalino y que los antioxidantes como la vitamina C pueden ayudar a prevenir

(E) Balci M, Namuslu M, Devrim E, Durak I. Efectos de la radiación emitida por el monitor de la computadora en el equilibrio oxidante/antioxidante en la córnea y el cristalino de ratas. *Mol Vis.* 15:2521-2525, 2009.

**OBJETIVO:** Este estudio tiene como objetivo investigar los posibles efectos de la radiación emitida por el monitor de la computadora sobre el equilibrio oxidante/antioxidante en los tejidos de la córnea y el cristalino y observar cualquier efecto protector de la vitamina C (vit C). **MÉTODOS:** Se estudiaron cuatro grupos (monitor de PC, monitor de PC más vitamina C, vitamina C y control) cada uno compuesto por diez ratas Wistar. El estudio duró tres semanas. La vitamina C se administró en dosis orales de 250 mg/kg/día. Los grupos de la computadora y la computadora más vitamina C fueron expuestos a monitores de computadora mientras que los otros grupos no. Se midieron los niveles de malondialdehído (MDA) y las actividades de superóxido dismutasa (SOD), glutatión peroxidasa (GSH-Px) y catalasa (CAT) en los tejidos de la córnea y el cristalino de las ratas. **RESULTADOS:** En el tejido corneal, se encontró que los niveles de MDA y la actividad de CAT aumentaron en el grupo de la computadora en comparación con el grupo de control. En el grupo que tomó el ordenador más vitamina C, el nivel de MDA, la actividad de SOD y GSH-Px fue mayor y la actividad de CAT menor que en los grupos que tomó el ordenador y el control. En cuanto al tejido del cristalino, en el grupo que tomó el ordenador, se observó que los niveles de MDA y la actividad de GSH-Px aumentaron, en comparación con los grupos de control y el que tomó el ordenador más vitamina C, y la actividad de SOD fue mayor que la del grupo control. En el grupo que tomó el ordenador más vitamina C, se observó que la actividad de SOD fue mayor y la actividad de CAT menor que en el grupo control. **CONCLUSIÓN:** Los resultados de este estudio sugieren que la radiación del monitor del ordenador produce estrés oxidativo en los tejidos de la córnea y el cristalino, y que la vitamina C puede prevenir los efectos oxidativos en el cristalino.

(E) Bansal D, Chhapparwal Y, Pai KM, Kumar M, Vineetha R, Chhapparwal S, Kamath S, Kamath A. Efecto de la duración del uso del teléfono móvil en el flujo salival y la capacidad antioxidante total de la saliva y el nivel de inmunoglobulina A salival: un estudio transversal. *J Int Soc Prev Community Dent.* 8 de abril de 2022;12(2):260-265.

**Introducción:** El objetivo de este estudio fue observar los efectos de la duración del uso del teléfono móvil en la saliva, el nivel de inmunoglobulina A (IgA) salival y la salivación.

**Marcadores de estrés oxidativo. Materiales y métodos:** Ochenta y un estudiantes fueron clasificados en tres grupos según la duración del uso del teléfono móvil después de la comparación por edad y género.

Los estudiantes fueron agrupados como: uso del teléfono móvil <20 min/día (Grupo A), uso del teléfono móvil 20-60 min/día (Grupo B) y uso del teléfono móvil >60 min/día (Grupo C).

Se recogió saliva para evaluar la tasa de flujo salival, el nivel de IgA salival y los marcadores salivales de estrés oxidativo. **Resultados:** La tasa de flujo salival no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos ( $P = 0,180$ ). No hubo diferencias estadísticamente significativas en la IgA salival entre los tres grupos ( $P = 0,237$ ). Hubo una diferencia estadísticamente significativa en el nivel de malondialdehído (MDA) entre los tres grupos ( $P = 0,042$ ). En la comparación por pares entre los grupos, el grupo B y el grupo C tuvieron una diferencia estadísticamente significativa ( $P = 0,019$ ) en el nivel de MDA. No hubo diferencias estadísticamente significativas en el nivel de tiol salival entre los tres grupos ( $P = 0,237$ ). **Conclusión:** La duración del uso del teléfono móvil portátil no mostró ningún efecto significativo en la tasa de flujo salival, la IgA salival y los niveles de tiol. Se observó un aumento en la concentración de MDA salival en sujetos que utilizaron teléfonos móviles portátiles durante un período más prolongado, lo que indica un mayor estrés oxidativo en las glándulas salivales expuestas a las ondas electromagnéticas de radiofrecuencia de los teléfonos móviles durante un período más prolongado.

(E) Barteri M, De Carolis R, Marinelli F, Tomassetti G, Montemiglio LC. Efectos de las microondas (900 MHz) en los sistemas de peroxidasa: una comparación entre la lactoperoxidasa y la peroxidasa de rábano picante. *Electromagn Biol Med*. 12 de enero de 2015:1-7. [Publicado electrónicamente antes de su publicación impresa]

Este trabajo muestra los efectos de la exposición a un campo electromagnético a 900MHz sobre la actividad catalítica de las enzimas lactoperoxidasa (LPO) y peroxidasa de rábano picante (HRP). La evidencia experimental de que la irradiación causa cambios conformacionales de los sitios activos e influye en la formación y estabilidad de los radicales libres intermedios está documentada mediante mediciones de cinética enzimática, espectroscopia de dicroísmo circular (CD) y voltamperometría cíclica.

(E) Bedir R, Tumkaya L, Mercantepe T, Yilmaz A. Hallazgos patológicos observados en los riñones de ratas macho postnatales expuestas al campo electromagnético de 2100 MHz. *Arch Med Res* 2018 octubre;49(7):432-440.

Antecedentes: El uso generalizado por parte de los jóvenes de dispositivos de comunicación modernos, como los teléfonos móviles, significa que están particularmente expuestos a campos electromagnéticos (CEM) y otros problemas. Sin embargo, pocos estudios han investigado los efectos de la exposición a largo plazo a los CEM en el riñón. Por lo tanto, investigamos el estrés oxidativo y la apoptosis en la exposición a largo plazo a 2100 megahercios (MHz) en un modelo de rata. Materiales y métodos: Veinticuatro ratas Sprague Dawley se dividieron en un grupo de control (n = 8, sin exposición a CEM), un grupo expuesto a 2100 MHz durante 6 h durante 30 días (n = 8) y un grupo expuesto a 2100 MHz durante 12 h durante 30 días (n = 8). Se realizó un análisis inmunohistoquímico, utilizando caspasa-3 para evaluar la apoptosis. Inmediatamente después del tratamiento, se midieron el glutatión reducido (GSH), el malondialdehído (MDA) en el tejido renal y los niveles séricos de varios compuestos bioquímicos para detectar el estrés oxidativo. Resultados: Se observó un deterioro en el borde en cepillo de los túbulos renales de los grupos EMF. Los resultados del análisis inmunohistoquímico revelaron un mayor número de células epiteliales tubulares renales teñidas positivamente en los grupos EMF en comparación con el grupo de control. En los grupos EMF, los niveles renales de MDA aumentaron y los niveles renales de GSH disminuyeron en comparación con los del grupo de control, como lo mostró un examen bioquímico (p = 0,00 y p = 0,00, respectivamente). Conclusión: Los hallazgos mostraron que la exposición a 2100 MHz durante 6 y 12 h indujo una lesión renal aguda mediada por estrés oxidativo, dependiendo de la duración de la exposición y la dosis.

(E) Bektas H, Dasdag S, Bektas MS. Comparación de los efectos de la exposición a Wi-Fi de 2,4 GHz y teléfonos móviles en la placenta humana y la sangre del cordón umbilical, *Biotechn Biotechnological Equipment*, 34:1, 154-162, 2020.

El objetivo de este estudio fue investigar los efectos de la radiación de radiofrecuencia emitida desde Sistemas Wi-Fi y teléfonos móviles en sangre de cordón umbilical y placenta. El estudio incluyó a 149 mujeres embarazadas que se dividieron en subgrupos: grupos no expuestos (control), expuestos a teléfono móvil, expuestos a Wi-Fi y expuestos a teléfono móvil más Wi-Fi. Inmediatamente después del nacimiento, se recogieron muestras de placenta y sangre de cordón umbilical y se analizaron los niveles de carbonilo proteico (PCO), malondialdehído (MDA), estado oxidante total (TOS), estado antioxidante total, 8-hidroxi-20- Se analizaron los niveles de desoxiguanosina (8-OHdG) y las roturas de cadena simple de ADN. Los resultados

El estudio mostró un aumento de 8-OHdG, MDA, PCO y TOS en la sangre del cordón umbilical y la placenta en el grupo expuesto a teléfonos móviles durante la gestación. Sin embargo, el grupo expuesto a Wi-Fi no mostró alteraciones en los parámetros de estrés oxidativo estudiados. Por otro lado, la intensidad de la cola y el momento de la cola del ADN en los grupos de exposición al teléfono móvil fueron mayores que en los grupos de control y de exposición a Wi-Fi. En conclusión, los resultados de este estudio indicaron que la exposición al teléfono móvil durante el embarazo podría tener un potencial importante para causar estrés oxidativo y daño al ADN en la sangre del cordón umbilical y la placenta. Los resultados de este estudio también indicaron que los efectos combinados de Wi-Fi más la exposición al teléfono móvil tienen un mayor potencial para causar efectos nocivos sinérgicos.

(E) \*Bilgici B, Akar A, Avci B, Tuncel OK. Efecto de la radiación de radiofrecuencia de 900 MHz sobre el estrés oxidativo en el cerebro y el suero de ratas. *Electromagn Biol Med.* 32:20-29, 2013.

El uso creciente de teléfonos móviles plantea la cuestión de los posibles efectos adversos de los campos electromagnéticos (CEM) que estos teléfonos producen. En este estudio, examinamos el estrés oxidativo en el tejido cerebral y el suero de ratas que resultó de la exposición a un CEM de 900 MHz a una tasa de absorción específica (SAR) promedio de cuerpo entero de 1,08 W/kg durante 1 h/día durante 3 semanas. También examinamos el efecto antioxidante del ajo en polvo (500 mg/kg/día) administrado por vía oral a ratas expuestas a CEM. Descubrimos que el malondialdehído (MDA) ( $p < 0,001$ ) y el producto proteico de oxidación avanzada (AOPP) ( $p < 0,05$ ) aumentaron en el tejido cerebral de ratas expuestas al CEM y que el ajo redujo estos efectos ( $p < 0,05$ ). No hubo diferencias significativas en los niveles de óxido nítrico (NO) en el cerebro. No se detectó paraoxonasa (PON) en el cerebro. Se detectó un aumento significativo de los niveles de NO ( $p < 0,001$ ) en el suero después de la exposición a los campos electromagnéticos, y la ingesta de ajo no afectó a este aumento de NO. Nuestros resultados sugieren que hay un aumento significativo de la oxidación de lípidos y proteínas cerebrales después de la exposición a la radiación electromagnética (REM) y que el ajo tiene un efecto protector contra este estrés oxidativo.

(E) Bin-Meferij MM, El-Kott AF. Efectos radioprotectores de Moringa oleifera contra la infertilidad inducida por la radiación electromagnética de los teléfonos móviles en ratas. *Int J Clin Exp Med.* 15 de agosto de 2015;8(8):12487-97. eCollection 2015.

El presente estudio ha investigado los efectos de la radiación electromagnética (REM) de los teléfonos móviles sobre la fertilidad en ratas. El propósito de este estudio fue explorar la capacidad del extracto de hoja de Moringa oleifera rico en polifenoles para proteger los testículos de ratas contra las alteraciones inducidas por la REM basándose en la evaluación del recuento de espermatozoides, la viabilidad, la motilidad, la morfología de las células espermáticas, los antioxidantes (SOD y CAT), el marcador de estrés oxidativo, la histopatología del tejido testicular y la inmunohistoquímica de PCNA. La muestra consistió en sesenta ratas Wistar macho que se dividieron en cuatro grupos iguales. El primer grupo (el control) recibió solo una dieta estándar, mientras que el segundo grupo recibió suplementos diarios y durante ocho semanas con 200 mg/kg de extracto acuoso de hojas de Moringa. El tercer grupo estuvo expuesto a campos de 900 MHz durante una hora al día y durante (7) días a la semana. En cuanto al cuarto grupo, estuvo expuesto a la radiación de los teléfonos móviles. Los resultados mostraron que el grupo tratado con EMR exhibió una disminución significativa de los parámetros espermáticos. Además, la exposición simultánea a EMR y el tratamiento con MOE mejoraron significativamente los parámetros espermáticos. Sin embargo, los resultados histológicos en el grupo EMR mostraron túbulos seminíferos irregulares, pocas espermatogonias, células multinucleadas gigantes, espermatozoides degenerados y el número de células de Leydig fue

significativamente reducido. Los índices de etiquetado de PCNA fueron significativos en el grupo EMR frente al grupo grupo de control. Además, la REM afecta la espermatogénesis y provoca apoptosis debido al calor y a otras REM relacionadas con el estrés en el tejido testicular. Este estudio concluye que la exposición crónica a la REM provocó una lesión testicular que se puede prevenir con el extracto de hojas de Moringa oleifera.

(E) \*Bodera P, Stankiewicz W, Zawada K, Antkowiak B, Paluch M, Kieliszek J, Kalicki B, Bartosiński A, Wawer I. Cambios en la capacidad antioxidante de la sangre debido a la acción mutua del campo electromagnético (1800 MHz) y el fármaco opioide (tramadol) en un modelo animal de estado inflamatorio persistente. Representante de Pharmacol 65(2):421-428, 2013.

Antecedentes: Los efectos biológicos y las implicaciones para la salud de los campos electromagnéticos (CEM) asociados a los teléfonos móviles celulares y a los sistemas y dispositivos inalámbricos relacionados se han convertido en un foco de interés científico internacional y de preocupación pública mundial. También se ha demostrado que los CEM influyen en la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) en diferentes tejidos. Métodos: Se realizaron experimentos en ratas sanas y en ratas con un estado inflamatorio persistente inducido por una inyección de adyuvante completo de Freund (CFA), que se administró 24 h antes de la exposición al CEM y de la aplicación del fármaco. Se inyectó a las ratas CFA o el mismo volumen de aceite de parafina en la superficie plantar de la pata trasera izquierda. Los animales fueron expuestos al rango de campo lejano de una antena a 1800 MHz con la modulación adicional que era idéntica a la generada por el teléfono móvil GSM 1800. Las ratas recibieron una exposición de 15 minutos o una exposición simulada sin voltaje aplicado al generador de campo en los grupos de control.

Inmediatamente antes de la exposición a los campos electromagnéticos, se inyectó tramadol intraperitonealmente a las ratas en una dosis de 20 mg/kg o en un volumen de 1 ml/kg. Resultados: Nuestro estudio reveló que la exposición única a campos electromagnéticos en una frecuencia de 1800 MHz redujo significativamente la capacidad antioxidante tanto en animales sanos como en aquellos con inflamación en las patas. Se observó un cierto modo de acción sinérgico entre los campos electromagnéticos aplicados y el tramadol administrado en ratas tratadas con CFA.

Conclusiones: El objetivo del estudio fue examinar los posibles efectos paralelos/combinados de la radiación electromagnética, la inflamación inducida artificialmente y un analgésico opioide sintético de acción central, el tramadol (utilizado en el tratamiento del dolor intenso) sobre la capacidad antioxidante de la sangre de ratas. La capacidad antioxidante de la sangre de ratas sanas fue mayor que la de las ratas que recibieron solo tramadol y estuvieron expuestas a campos electromagnéticos.

(E) Bodera P, Stankiewicz W, Antkowiak B, Paluch M, Kieliszek J, Sobiech J, Niemcewicz M. Influencia del campo electromagnético (1800 MHz) sobre la peroxidación lipídica en el cerebro, la sangre, el hígado y el riñón en ratas. Int J Occup Med Environ Health. 28(4):751-759, 2015.

OBJETIVOS: El objetivo de este estudio es la evaluación de la influencia de la exposición repetida (5 veces durante 15 min) a un campo electromagnético (CEM) de frecuencia de 1800 MHz sobre la peroxidación lipídica tisular (LPO) tanto en estado normal como inflamatorio, combinado con tratamiento analgésico. MATERIAL Y MÉTODOS: Se estimó la concentración de malondialdehído (MDA) como producto final de la peroxidación lipídica (LPO) en sangre, hígado, riñones y cerebro de ratas Wistar, tanto sanas como con inflamación persistente de la pata inducida por adyuvante completo de Freund (CFA). RESULTADOS: Se observaron niveles ligeramente elevados de MDA en sangre, riñón y cerebro entre ratas sanas en grupos expuestos a campos electromagnéticos (CEM), tratadas con tramadol (TRAM/EMF y expuestas al CEM). El malondialdehído

Los valores de MDA en el hígado se mantuvieron iguales en todos los grupos estudiados: grupo control (CON), grupo expuesto (EMF), grupo tratado con tramadol (TRAM) y grupo expuesto y tratado con tramadol (TRAM/EMF). En el grupo de animales tratados con adyuvante completo de Freund (CFA), también observamos valores ligeramente mayores de MDA en el caso del grupo control (CON) y los grupos expuestos (EMF y TRAM/EMF). Los valores de MDA en los riñones se mantuvieron iguales en el grupo control, grupo expuesto y grupo no expuesto tratado con tramadol. Los resultados para ratas sanas y animales con inflamación no difirieron significativamente. CONCLUSIONES: La exposición al campo electromagnético (EMF), aplicada de forma repetida junto con el fármaco opioide tramadol (TRAM), mejoró ligeramente el nivel de peroxidación lipídica en el cerebro, sangre y riñones.

(E) Borzoueisileh S, Shabestani Monfared A, Ghorbani H, Mortazavi SMJ, Zabihi E, Pouramir M, Doustimotlagh AH, Shafiee M, Niksirat F.

Evaluación de la función, los cambios histopatológicos y el estrés oxidativo en el tejido hepático debido a radiaciones ionizantes y no ionizantes. *Caspian J Intern Med* 2020 11(3):315-323.

Antecedentes: En comparación con décadas pasadas, los seres humanos están expuestos a niveles cada vez mayores de radiaciones electromagnéticas de radiofrecuencia (RF-EMF). A pesar de numerosos estudios, los efectos biológicos de la exposición humana a diferentes niveles de RF-EMF aún no se comprenden por completo. Este estudio tuvo como objetivo evaluar los efectos biológicos de la exposición a RF-EMF de "900/1800 MHz" y "2,4 GHz", y rayos X solos, así como sus interacciones potenciales, es decir, la inducción de efectos aditivos, adaptativos o sinérgicos simples. Métodos: 120 ratas Wistar se dividieron aleatoriamente en diez grupos de 12 cada uno. Las ratas fueron expuestas a RF-EMF, rayos X de 10 cGy y 8 Gy, una combinación de estas exposiciones o solo una exposición simulada. Los niveles de enzimas hepáticas se determinaron en muestras de suero mediante un autoanalizador. Además, se midieron los cambios histopatológicos y los niveles de malondialdehído (MDA), óxido nítrico, poder antioxidante reductor férrico, tioles totales y carbonilo proteico (PCO). Resultados: Entre los marcadores de función hepática, la gamma-glutamilttransferasa no se asoció con la irradiación, pero la aspartato transaminasa, la alanina transaminasa y la fosfatasa alcalina mostraron algunos niveles de asociación. Los niveles de MDA y PCO después de la irradiación de 8 Gy aumentaron, pero la preexposición a RF-EMF podría modular sus cambios. A nivel celular, la frecuencia de inflamación lobulillar se asoció con el tipo de intervención. Conclusión: La exposición a radiaciones ionizantes y no ionizantes podría alterar algunas pruebas de función hepática. Una preexposición a corto plazo a RF-EMF antes de la exposición a una dosis desafiante de 8 Gy de rayos X causó alteraciones en los marcadores de estrés oxidativo y pruebas de función hepática, lo que indica que el estrés oxidativo posiblemente esté involucrado en la respuesta adaptativa.

(E) Bouji M, Lecomte A, Gamez C, Blazy K, Villégier AS. Impacto de la exposición a radiofrecuencias cerebrales en el estrés oxidativo y la corticosterona en un modelo de rata de enfermedad de Alzheimer. *J Alzheimers Dis.* 73:467-476, 2020.

ANTECEDENTES: La enfermedad de Alzheimer (EA) es el tipo más común de enfermedad neurodegenerativa que conduce a la demencia. Varios estudios sugirieron que la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) de teléfonos móviles modificó los déficits de memoria de la EA en modelos de roedores.

**OBJETIVO:** Aquí nos propusimos probar la hipótesis de que la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia puede modificar la memoria a través de la corticosterona y el estrés oxidativo en el modelo de rata samaritana con EA.

**MÉTODOS:** Las ratas macho Long-Evans recibieron una infusión intracerebroventricular con sulfato ferroso, péptido amiloide-beta 1-42 y butionina-sulfoximina (ratas AD) o con vehículo (ratas de control). Para imitar el uso del teléfono celular, se expusieron campos electromagnéticos de radiofrecuencia a la cabeza durante 1 mes (5 días a la semana, en inmovilización). Para buscar umbrales de riesgo, se probaron altas tasas de absorción específica promedio cerebral (BASAR): 1,5 W/Kg (15 min), 6 W/Kg (15 min) y 6 W/Kg (45 min). El grupo de simulación estuvo inmovilizado durante 45 min. Los puntos finales fueron la memoria espacial en el laberinto radial, la corticosterona plasmática, la hemooxigenasa-1 (HO1) y las placas amiloides.

**RESULTADOS:** Los resultados indicaron niveles similares de corticosterona, pero deterioro del rendimiento de la memoria y aumento de la tinción cerebral de tioflavina y de HO1 en las ratas con EA simulada en comparación con los controles. Un aumento correlativo de la tinción de HO1 cortical fue el único efecto de los CEM de radiofrecuencia en las ratas de control. En las ratas con EA, las exposiciones a CEM de radiofrecuencia indujeron un aumento correlativo de la tinción de HO1 en el hipocampo y redujeron la corticosterona. **DISCUSIÓN:** Según nuestros datos, ni las ratas con EA ni las ratas de control mostraron una memoria modificada después de las exposiciones a CEM de radiofrecuencia. A diferencia de las ratas de control, las ratas con EA mostraron un mayor estrés oxidativo en el hipocampo y una reducción de la corticosterona con el BASAR más alto. Estos datos sugieren una mayor fragilidad relacionada con la enfermedad neurodegenerativa hacia las exposiciones a CEM de radiofrecuencia.

(E) Bourdineaud JP, Šrut M, Štambuk A, Tkalec M, Brèthes D, Malarić K, Klobučar GIV. Los campos electromagnéticos a una frecuencia de teléfono móvil (900 MHz) desencadenan la aparición de una respuesta general al estrés junto con modificaciones del ADN en las lombrices de tierra *Eisenia fetida*. *Arh Hig Rada Toksikol.* 68(2):142-152, 2017.

Las lombrices de tierra *Eisenia fetida* fueron expuestas a un campo electromagnético (CEM) a una frecuencia de teléfono móvil (900 MHz) y a niveles de campo que oscilaban entre 10 y 120 V m<sup>-1</sup> durante un período de dos horas (que corresponde a tasas de absorción específicas que oscilaban entre 0,13 y 9,33 mW kg<sup>-1</sup>). Los efectos potenciales de una exposición más prolongada (cuatro horas), la modulación del campo y un período de recuperación de 24 h después de dos horas de exposición se abordaron al nivel de campo de 23 V m<sup>-1</sup>. Todos los tratamientos de exposición indujeron modificaciones significativas del ADN, según se evaluó mediante una PCR cuantitativa de ADN polimórfico amplificado al azar. Incluso después de 24 h de recuperación tras una exposición de dos horas, el número de sitios de hibridación de la sonda mostró una disminución significativa del doble en comparación con las lombrices de tierra de control no tratadas, lo que implica una pérdida de sitios de hibridación y un efecto genotóxico persistente del CEM. La expresión de genes implicados en la respuesta al estrés general (HSP70, que codifica la proteína de choque térmico de 70 kDa, y MEKK1, implicada en la transducción de señales), el estrés oxidativo (CAT, que codifica la catalasa) y la defensa química e inmunitaria (LYS, que codifica la lisina, y MYD, que codifica un factor de diferenciación mieloide) aumentaron después de la exposición a niveles de campo de 10 y 23 V m<sup>-1</sup> modulados. Los Western blots que mostraron una mayor cantidad de proteínas HSP70 y MTCO1 confirmaron esta respuesta al estrés. Los genes HSP70 y LYS aumentaron después de 24 h de recuperación tras una exposición de dos horas, lo que significa que el efecto de la exposición a los CEM duró horas. Exposición al teléfono móvil (900-1800 MHz) durante el embarazo: estrés oxidativo tisular después del parto.

(NE) Brescia F, Sarti M, Massa R, Calabrese ML, Sannino A, Scarfi MR. La formación de especies reactivas de oxígeno no se ve potenciada por la exposición a la radiación UMTS de 1950 MHz y la coexposición a iones ferrosos en células Jurkat. *Bioelectromagnetismo*. 30:525-535, 2009.

Este estudio fue diseñado para evaluar si la radiación de radiofrecuencia (RF) induce estrés oxidativo en células de mamíferos cultivadas cuando se administra sola o en combinación con iones ferrosos (FeSO<sub>4</sub>). Para este propósito, se midió la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) mediante citometría de flujo en células linfoblastoides humanas expuestas a una señal de 1950 MHz utilizada por la tecnología inalámbrica de tercera generación del Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) a una Tasa de Absorción Específica de 0,5 y 2,0 W/kg. Se llevaron a cabo exposiciones de corta duración (5-60 min) o larga (24 h) en un sistema de guía de ondas bajo condiciones estrictamente controladas tanto de dosimetría como de ambiente. También se midió la viabilidad celular después de 24 h de exposición a RF utilizando los ensayos de Resazurina y Rojo Neutro. Se aplicaron varios protocolos de coexposición para probar si la radiación de RF es capaz de alterar la formación de ROS inducida por FeSO<sub>4</sub> (RF administrada antes o simultáneamente a FeSO<sub>4</sub>). Los resultados obtenidos indican que las exposiciones a RF no térmicas no aumentan la formación espontánea de ROS en ninguna de las condiciones experimentales investigadas. En consonancia con la falta de producción de ROS, no se observó ningún cambio en la viabilidad celular en células Jurkat expuestas a radiación de RF durante 24 h. Se obtuvieron resultados similares cuando se consideraron las coexposiciones: las exposiciones combinadas a la radiación de RF y FeSO<sub>4</sub> no aumentaron la formación de ROS inducida por el tratamiento químico solo. Por el contrario, en los cultivos tratados con FeSO<sub>4</sub> como control positivo, se registró un aumento dependiente de la dosis en la formación de ROS, lo que valida la sensibilidad del método empleado.

(E) Burlaka A, Tsybulin O, Sidorik E, Lukin S, Polishuk V, Tsehmistrenko S, Yakymenko I. Sobreproducción de especies de radicales libres en células embrionarias expuestas a radiación de radiofrecuencia de baja intensidad. *Exp Oncol*. 35(3):219-225, 2013. (VO, LE, LI, IFR)

Objetivo: La exposición prolongada de seres humanos a la radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF-EMR) de baja intensidad conduce a un aumento estadísticamente significativo en la incidencia de tumores. Los mecanismos de tales efectos no están claros, pero las características del estrés oxidativo en células vivas expuestas a RF-EMR se informaron previamente. Nuestro estudio tiene como objetivo evaluar la producción de especies iniciales de radicales libres, que conducen al estrés oxidativo en la célula. Materiales y métodos: Los embriones de codornices japonesas fueron expuestos in ovo a RF-EMR de intensidad extremadamente baja de GSM 900 MHz (0,25 µW/cm<sup>2</sup>) durante 158-360 h de forma discontinua (48 c - ON, 12 c - OFF) antes y en las etapas iniciales del desarrollo. Los niveles de superóxido (O<sub>2</sub><sup>-</sup>), óxido de nitrógeno (NO·), sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS), 8-oxo-2'-desoxiguanosina (8-oxo-dG) y las actividades de enzimas antioxidantes se evaluaron en células/tejidos de embriones expuestos y no expuestos a RF-EMR de 38 h, 5 y 10 días. Resultados: La exposición resultó en una sobreproducción persistente significativa de superóxido y óxido de nitrógeno en las células embrionarias durante todo el período de análisis. Como resultado, se desarrollaron niveles significativamente mayores de TBARS y 8-oxo-dG seguidos de niveles significativamente menores de actividades de superóxido dismutasa y catalasa en las células embrionarias expuestas. Conclusión: La exposición de embriones de codorniz en desarrollo a RF-EMR de intensidad extremadamente baja de GSM 900 MHz durante al menos ciento cincuenta y ocho horas conduce a una sobreproducción significativa de radicales libres/especies reactivas de oxígeno y daño oxidativo del ADN en las células embrionarias. Estos cambios oxidativos pueden conducir a patologías hasta la transformación oncogénica de las células.

(E) Burlaka A, Selyuk M, Gafurov M, Lukin S, Potaskalova V, Sidorik E. Cambios en el funcionamiento mitocondrial con radiación electromagnética de frecuencia ultraalta según lo revelado por métodos de resonancia paramagnética electrónica. *Int J Radiat Biol.* 90:357-362, 2014.

Objetivo: Estudiar los efectos de la radiación electromagnética (REM) de ultra alta frecuencia (UHF) en dosis equivalentes a la carga energética máxima permitida para el personal de las estaciones de radar sobre los procesos bioquímicos que ocurren en los orgánulos celulares. Materiales y métodos: Se estudiaron los tejidos de hígado, corazón y aorta de las ratas macho expuestas a EMR UHF no térmica en modos pulsados y continuos durante 28 días después de la irradiación mediante los métodos de resonancia paramagnética electrónica (EPR) incluyendo un atrapamiento de espín de radicales superóxido. Resultados: Se registraron las perturbaciones cualitativas y cuantitativas en la cadena de transporte de electrones (CTE) de las mitocondrias. Se obtuvo una formación de los complejos de hierro-nitrosilo de radicales de óxido nítrico (NO) con las proteínas de sulfuro de hierro (FeS), la actividad disminuida de la proteína FeS-N2 del complejo NADH-ubiquinona oxidoreductasa y el crecimiento de flavo ubisemiquinona combinado con las tasas aumentadas de producción de superóxido. Conclusiones: (1) Las anomalías en la cadena de transporte de electrones mitocondrial de las células del hígado y la aorta son más pronunciadas en los animales irradiados en modo pulsado. (2) Las alteraciones en el funcionamiento de la cadena de transporte de electrones mitocondrial causan un aumento en la tasa de generación de radicales superóxido en todas las muestras, la formación de hipoxia celular y la intensificación de los cambios metabólicos iniciados por el óxido. (3) Los métodos de resonancia paramagnética electrónica podrían utilizarse para rastrear los cambios cualitativos y cuantitativos en la cadena de transporte de electrones mitocondrial causados por la EMR de UHF.

(E) Campisi A, Gulino M, Acquaviva R, Bellia P, Raciti G, Grasso R, Musumeci F, Vanella A, Triglia A. Niveles de especies reactivas de oxígeno y fragmentación del ADN en astrocitos en cultivos primarios después de la exposición aguda a un campo electromagnético de microondas de baja intensidad. *Neurosci Lett.* 473(1):52-55, 2010.

Se estudió la exposición de cultivos primarios de células astrogiales neocorticales de rata a campos electromagnéticos agudos (CEM) en el rango de las microondas. Cultivos de células astrogiales diferenciadas a los 14 días in vitro se expusieron durante 5, 10 o 20 minutos a ondas continuas de 900 MHz o a ondas de 900 MHz moduladas en amplitud a 50 Hz utilizando una forma de onda sinusoidal y un índice de modulación del 100 %. La intensidad del campo eléctrico (valor rms) en la posición de la muestra fue de 10 V/m. No se observó ningún cambio en la viabilidad celular evaluada mediante la prueba MTT ni en la liberación de lactato deshidrogenasa. Se encontró un aumento significativo en los niveles de ROS y la fragmentación del ADN solo después de la exposición de los astrocitos a EMF modulado durante 20 min. No se detectaron efectos evidentes cuando se utilizaron intervalos de tiempo más cortos u ondas continuas. Las condiciones de irradiación permitieron excluir cualquier posible efecto térmico. Nuestros datos demuestran, por primera vez, que incluso la exposición aguda a EMF de baja intensidad induce la producción de ROS y la fragmentación del ADN en astrocitos en cultivos primarios, que también representan el objetivo principal de EMF modulado. Nuestros hallazgos también sugieren la hipótesis de que los efectos podrían deberse a la hiperestimulación de los receptores de glutamato, que juegan un papel crucial en el daño cerebral agudo y crónico. Además, los resultados muestran la importancia de la modulación de amplitud en la interacción entre los campos electromagnéticos y los astrocitos neocorticales.

(E) Cao H, Qin F, Liu X, Wang J, Cao Y, Tong J, Zhao H. Ritmicidad circadiana de marcadores antioxidantes en ratas expuestas a campos de radiofrecuencia de 1,8 GHz. *Int J Environ Res Public Health*. 12(2):2071-2087, 2015.

ANTECEDENTES: Los riesgos potenciales para la salud de la exposición a los campos de radiofrecuencia (RF) emitidos por los teléfonos móviles son actualmente de considerable interés público, como los efectos adversos sobre los ritmos circadianos de los sistemas biológicos. Para determinar si los ritmos circadianos de los antioxidantes plasmáticos (Mel, GSH-Px y SOD) se ven afectados por RF, realizamos un estudio en ratas Sprague Dawley macho expuestas a la RF de 1,8 GHz. MÉTODOS: Todos los animales se dividieron en siete grupos. Los animales de seis grupos fueron expuestos a RF de 1,8 GHz (densidad de potencia de 201,7  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , tasa de absorción específica de 0,05653 W/kg) en un período específico del día (3, 7, 11, 15, 19 y 23 h GMT, respectivamente), durante 2 h/día durante 32 días consecutivos. Las ratas del séptimo grupo se utilizaron como controles expuestos simuladamente. Al final de la última exposición a RF, se recogieron muestras de sangre de cada rata cada 4 h (período total de 24 h) y también en momentos similares de los animales expuestos simuladamente. Se determinaron las concentraciones de tres antioxidantes (Mel, GSH-Px y SOD). Los datos en ratas expuestas a RF se compararon con los de los animales expuestos simuladamente. RESULTADOS: los ritmos circadianos en la síntesis de Mel y enzimas antioxidantes, GSH-Px y SOD, se modificaron en ratas expuestas a RF en comparación con los animales expuestos simuladamente: los niveles de Mel, GSH-Px y SOD disminuyeron significativamente cuando la exposición a RF se administró a las 23 y 3 h GMT.

CONCLUSIÓN: Los resultados generales indican que puede haber efectos adversos de la exposición a RF sobre la función antioxidante, tanto en términos de los niveles antioxidantes diarios como de la ritmicidad circadiana.

(cáncer) (E) Cao Y, Zhang W, Lu MX, Xu Q, Meng QQ, Nie JH, Tong J. La radiación de microondas de 900 MHz aumenta los efectos adversos de los rayos gamma en las células SHG44. *J Toxicol Environ Health A*. 72(11):727-732, 2009.

Los teléfonos móviles se utilizan ampliamente en todo el mundo. Sin embargo, los efectos biológicos debidos a la exposición a los campos electromagnéticos (CEM) producidos por los teléfonos móviles son en gran medida desconocidos. La exposición ambiental y ocupacional de los seres humanos a los rayos gamma es un fenómeno biológicamente relevante. Por consiguiente, se realizaron estudios para examinar las interacciones entre los rayos gamma y los campos electromagnéticos en la salud humana. En este estudio, la exposición a campos electromagnéticos de 900 MHz aumentó el daño causado por los rayos gamma a las células SHG44. Los campos electromagnéticos previos a la exposición aumentaron la disminución de la proliferación celular inducida por la irradiación con rayos gamma y la tasa de apoptosis. La combinación de los campos electromagnéticos y la exposición a los rayos gamma produjo un efecto sinérgico al desencadenar una respuesta al estrés, que aumentó las especies reactivas de oxígeno, pero la expresión de hsp70 tanto a nivel de ARNm como de proteína permaneció inalterada. Los datos indican que los efectos adversos de los rayos gamma sobre las funciones celulares se ven potenciados por los campos electromagnéticos.

(cáncer) (E) Castello PR, Hill I, Sivo F, Portelli L, Barnes F, Usselman R, Martino CF. Inhibición de la proliferación celular y aumento de la producción de peróxido de hidrógeno en la línea celular de fibrosarcoma mediante campos magnéticos de radiofrecuencia débiles. *Bioelectromagnetism*. 35(8):598-602, 2014.

Este estudio presenta datos experimentales sobre los efectos de los campos magnéticos de radiofrecuencia (RF) débiles en la producción de peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y las tasas de crecimiento celular de las células de fibrosarcoma HT1080 in vitro. Las células se expusieron a campos magnéticos estáticos (SMF) de 45  $\mu$ T orientadas verticalmente al plano de crecimiento o a SMF combinados con campos magnéticos de RF débiles de 5 y 10 MHz de intensidad 10  $\mu$ TRMS perpendiculares al campo estático. El número de células se redujo hasta un 30% el día 2 para las células expuestas a la combinación de SMF y un campo magnético de RF de 10 MHz en comparación con las células de control SMF. Además, las células expuestas a campos magnéticos de RF de 10 MHz durante 8 h aumentaron la producción de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en un 55%. Los resultados demuestran un efecto biológico general inducido por el campo magnético que muestra niveles elevados de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> con la disminución acompañante en las tasas de crecimiento celular.

(E) Cetin H, Naziroğlu M, Celik O, Yüksel M, Pastacı N, Ozkaya MO. Las reservas de antioxidantes del hígado protegen al cerebro del estrés oxidativo inducido por la radiación electromagnética (900 y 1800 MHz) en ratas durante el embarazo y el desarrollo de la descendencia. J Matern Fetal Neonatal Med. 3 de marzo de 2014. [Publicación electrónica antes de la impresión]

Objetivos: El presente estudio determinó los efectos de la telefonía móvil (900 y 1800 MHz) Exposición a radiación electromagnética inducida (REM) sobre el estrés oxidativo en el cerebro y el hígado, así como los niveles de elementos en ratas en crecimiento desde el embarazo hasta las 6 semanas de edad. Métodos: Treinta y dos ratas y sus crías se dividieron equitativamente en 3 grupos diferentes: el grupo de control, 900 MHz y 1800 MHz. Los grupos de 900 MHz y 1800 MHz fueron expuestos a REM durante 60 min/día durante el embarazo y el desarrollo neonatal. En la 4<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup> y 6<sup>a</sup> semanas del experimento, se obtuvieron muestras de cerebro. Resultados: Las actividades de glutatión peroxidasa (GSH-Px) en el cerebro y el hígado, así como las concentraciones de vitamina A y  $\beta$ -caroteno en el hígado disminuyeron en los grupos de REM, aunque las concentraciones de hierro, vitamina A y  $\beta$ -caroteno en el cerebro aumentaron en los grupos de REM. En la 6<sup>a</sup> semana, las concentraciones de selenio en el cerebro disminuyeron en los grupos de REM. No hubo diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de glutatión, vitamina E, cromo, cobre, magnesio, manganeso y zinc entre los tres grupos. Conclusión: El estrés oxidativo inducido por REM en el cerebro y el hígado se redujo durante el desarrollo de las crías. El REM inducido por el teléfono móvil podría considerarse una causa de daño oxidativo cerebral y hepático en ratas en crecimiento.

(E) \*Ceyhan AM, Akkaya VB, Güleçol ŞC, Ceyhan BM, Özgüner F, Chen W. Efectos protectores del  $\beta$ -glucano contra la lesión oxidativa inducida por la radiación electromagnética de 2,45 GHz en el tejido cutáneo de ratas. Arch Dermatol Res. 304(7):521-527, 2012.

En los últimos tiempos, se ha generalizado el uso de dispositivos emisores de radiación de 2,45 GHz en aplicaciones industriales, médicas, militares y domésticas. El objetivo del presente estudio fue investigar el efecto de la radiación electromagnética (REM) de 2,45 GHz sobre el estado oxidante y antioxidante de la piel y examinar los posibles efectos protectores de los  $\beta$ -glucanos contra la lesión oxidativa. Treinta y dos ratas albinas Wistar macho se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos iguales: control; exposición simulada; REM; y REM +  $\beta$ -glucano. Una radiación de 2,45 GHz El dispositivo emisor de EMR de la exposición experimental se aplicó al grupo EMR y al grupo EMR +  $\beta$ -glucano durante 60 minutos diarios, respectivamente, durante 4 semanas. El  $\beta$ -glucano se administró por sonda a una dosis de 50 mg/kg/día antes de cada exposición a la radiación en

el grupo de tratamiento. Se midieron las actividades de las enzimas antioxidantes, superóxido dismutasa (SOD), glutatión peroxidasa (GSH-Px) y catalasa (CAT), así como la concentración de malondialdehído (MDA) en homogenizados de tejido de la piel. La exposición a 2,45 GHz EMR provocó un aumento significativo en los niveles de MDA y la actividad de CAT, mientras que las actividades de SOD y GSH-Px disminuyeron en los tejidos de la piel. El  $\beta$ -glucano sistémico revirtió significativamente la elevación de los niveles de MDA y la reducción de las actividades de SOD. El tratamiento con  $\beta$ -glucano también mejoró ligeramente la actividad de CAT y evitó el agotamiento de la actividad de GSH-Px causada por EMR, pero no de manera estadísticamente significativa. El presente estudio demostró el papel de los mecanismos oxidativos en los daños en el tejido cutáneo inducidos por EMR y que el  $\beta$ -glucano podría mejorar la lesión oxidativa de la piel a través de sus propiedades antioxidantes.

(E) Chandel S, Kaur S, Singh HP, Batish DR, Kohli RK. La exposición a radiaciones de campos electromagnéticos de 2100 MHz induce la generación de especies reactivas de oxígeno en raíces de *Allium cepa*. *Journal of Microscopy and Ultrastructure*, 5(4):225-229, 2017.

Durante las últimas décadas ha habido un enorme aumento en el uso de teléfonos celulares, ya que son uno de los dispositivos más convenientes y brindan un excelente modo de comunicación sin evocar ningún obstáculo al movimiento. Sin embargo, estos están agregando significativamente radiaciones de campo electromagnético (CEM-r) en el medio ambiente y, por lo tanto, es necesario analizar sus impactos en los seres vivos. El presente estudio investigó el papel de los CEM-r de los teléfonos celulares en la incitación del daño oxidativo en las raíces de cebolla (*Allium cepa*) a una frecuencia de 2100 MHz. Las raíces de cebolla se expusieron a CEM-r homogéneos de onda continua durante 1, 2 y 4 h durante un solo día y se midió la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) en términos de malondialdehído (MDA), peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y anión superóxido ( $O_2^-$ ) y los cambios en las actividades de las enzimas antioxidantes: superóxido dismutasas (SOD) y catalasas (CAT). Los resultados mostraron que la exposición a los campos electromagnéticos aumentó el contenido de MDA,  $H_2O_2$  y  $O_2^-$ . Además, hubo una regulación positiva de la actividad de las enzimas antioxidantes SOD y CAT-. En las raíces de la cebolla. El estudio concluyó que los campos electromagnéticos de 2100 MHz de los teléfonos móviles provocan daño oxidativo en las raíces de la cebolla al alterar el metabolismo oxidativo.

(E) Chauhan P, Verma HN, Sisodia R, Kesari KK. Estrés oxidativo inducido por radiación de microondas (2,45 GHz): efecto de la exposición de todo el cuerpo en la histopatología de ratas Wistar. *Electromagn Biol Med*. 36(1):20-30, 2017.

Las tecnologías de radiación de microondas y radiofrecuencia (RF) creadas por el hombre han aumentado de manera constante con la creciente demanda de aparatos electrónicos como hornos microondas y teléfonos celulares. Estos aparatos afectan los sistemas biológicos al aumentar los radicales libres, lo que conduce al daño oxidativo. El objetivo de este estudio fue explorar el efecto de la radiación de microondas de 2,45 GHz en la histología y el nivel de peróxido de lípidos (LPO) en ratas Wistar. Para este estudio se utilizaron ratas Wistar macho de sesenta días de edad con un peso corporal de  $180 \pm 10$  g. Los animales se dividieron en dos grupos: expuestos simuladamente (control) y expuestos a microondas. Estos animales fueron expuestos durante 2 h al día durante 35 días a la radiación de microondas de 2,45 GHz (densidad de potencia,  $0,2 \text{ mW/cm}^2$ ). La tasa de absorción específica (SAR) de cuerpo entero se estimó en  $0,14 \text{ W/kg}$ . Una vez finalizado el período de exposición, se sacrificaron las ratas y se almacenaron/conservaron el cerebro, el hígado, los riñones, los testículos y el bazo para determinar la LPO y los parámetros histológicos. Se observó un nivel significativamente alto de LPO en

En el hígado ( $p < 0,001$ ), cerebro ( $p < 0,004$ ) y bazo ( $p < 0,006$ ) se observaron cambios histológicos en el cerebro, hígado, testículos, riñones y bazo después de la exposición de todo el cuerpo a las microondas, en comparación con el grupo control. Con base en los resultados obtenidos en este estudio, concluimos que la exposición a la radiación de microondas 2 h al día durante 35 d puede potencialmente causar histopatología y cambios oxidativos en ratas Wistar. Estos resultados indican posibles implicaciones de dicha exposición en la salud humana.

(E) \*Chen YB, Li J, Liu JY, Zeng LH, Wan Y, Li YR, Ren D, Guo GZ. Efecto de los pulsos electromagnéticos (EMP) en el aprendizaje asociativo en ratones y un estudio preliminar del mecanismo. *Int J Radiat Biol.* 87(12):1147-1154, 2011.

OBJETIVO: Investigar los efectos de los pulsos electromagnéticos (PEM) en el aprendizaje asociativo en ratones y probar un mecanismo preliminar para estos efectos. MATERIALES Y MÉTODOS: Se utilizó una celda electromagnética transversal de gigahercios (GTEM) de placas paralelas cónicas con una línea de transmisión coaxial rectangular ensanchada para exponer ratones BALB/c macho a PEM (intensidad máxima de 400 kV/m, tiempo de subida de 10 ns, ancho de pulso de 350 ns, 0,5 Hz y 200 pulsos en total).

Se utilizaron ratones expuestos simultáneamente a placebo como control. Se midieron el aprendizaje asociativo, el estrés oxidativo en el cerebro, la química sérica y la acción protectora del monoglucósido de tocoferol (TMG) en ratones, respectivamente. RESULTADOS: (1) Doce horas y 1 día después de la exposición a EMP, el aprendizaje asociativo se redujo significativamente en comparación con el control simulado ( $p < 0,05$ ), pero se recuperó a los 2 días posteriores a la exposición a EMP. (2) En comparación con el control simulado, la peroxidación lipídica del tejido cerebral y la intensidad de la quimioluminiscencia (CL) aumentaron significativamente ( $p < 0,05$ ), mientras que la actividad de las enzimas antioxidantes superóxido dismutasa [SOD], glutatión [GSH], glutatión peroxidasa [GSH-Px], catalasa [CAT] disminuyó significativamente ( $p < 0,05$ ) a las 3 h, 6 h, 12 h y 1 día después de la exposición a EMP. Todos estos parámetros se recuperaron a los 2 días posteriores a la exposición a EMP. (3) No se observaron diferencias significativas entre el grupo de control simulado y el grupo expuesto a EMP en el colesterol sérico y los triglicéridos. (4)

El pretratamiento de ratones con TMG mostró efectos protectores frente a la exposición a EMP.

CONCLUSIONES: La exposición a EMP redujo significativamente el aprendizaje asociativo en ratones y el TMG actuó como un agente protector eficaz frente a la exposición a EMP. Este mecanismo podría implicar un aumento del estrés oxidativo en el cerebro por la exposición a EMP.

(E) Choi J, Min K, Jeon S, Kim N, Park JK, Song K. La exposición continua a campos electromagnéticos LTE de 1,7 GHz aumenta las especies reactivas de oxígeno intracelular para disminuir la proliferación de células humanas e inducir la senescencia. *Sci Rep.* 2020 8 de junio;10(1):9238.

Debido al rápido desarrollo de la tecnología de los teléfonos móviles, estamos expuestos continuamente a campos electromagnéticos de radiofrecuencia LTE de 1,7 GHz (RF-EMF), pero sus efectos biológicos no se han aclarado. Aquí, investigamos los efectos celulares no térmicos de estos RF-EMF en células humanas, incluidas las células madre derivadas del tejido adiposo humano (ASC), las células madre de cáncer de hígado Huh7 y Hep3B (CSC), las células cancerosas HeLa y SH-SY5Y y las células de fibroblastos normales IMR-90.

Cuando se expuso continuamente a RF-EMF LTE de 1,7 GHz durante 72 h a 1 y 2 SAR, la proliferación celular disminuyó de manera constante en todas las células humanas. El efecto antiproliferativo fue mayor a 2 SAR que a 1 SAR y fue menos grave en las ASC.

La exposición a RF-EMF durante 72 h a 1 y 2 SAR no indujo roturas de doble cadena de ADN ni muerte celular apoptótica, pero desencadenó un ligero retraso en la transición del ciclo celular G1 a S. La senescencia celular también se observó claramente en células ASC y Huh7 expuestas a RF-EMF a 2 SAR durante 72 h. Las ROS intracelulares aumentaron en estas células y el tratamiento con un eliminador de ROS recapituló el efecto antiproliferativo de RF-EMF. Estas observaciones sugieren firmemente que los RF-EMF LTE de 1,7 GHz disminuyen la proliferación y aumentan la senescencia al aumentar las ROS intracelulares en las células humanas.

(cáncer) (E) Çiğ B, Nazıroğlu M. Investigación de los efectos de la distancia de las fuentes sobre la apoptosis, el estrés oxidativo y la acumulación de calcio citosólico a través de los canales TRPV1 inducidos por teléfonos móviles y Wi-Fi en células de cáncer de mama. *Biochim Biophys Acta*. 19 de febrero de 2015. pii: S0005-2736(15)00053-X. doi: 10.1016/j.bbmem.2015.02.013. [Publicación electrónica antes de la impresión]

TRPV1 es un canal permeable al Ca<sup>2+</sup> y regulado por calor nocivo, estrés oxidativo y capsaicina (CAP). Algunos informes han indicado que la radiación electromagnética no ionizada (REM) induce efectos de calor y estrés oxidativo. Nuestro objetivo fue investigar los efectos de la distancia de las fuentes en la señalización de calcio, la producción de ROS citosólicos, la viabilidad celular, la apoptosis, además de los valores de caspasa-3 y -9 inducidos por teléfonos móviles y Wi-Fi en células de cáncer de mama. Las líneas celulares de cáncer de mama humano MCF-7 se dividieron en grupos A, B, C y D como control, grupos de 900, 1800 y 2450 MHz, respectivamente. Las células del Grupo A se utilizaron como control y se mantuvieron en condiciones de cultivo celular sin exposición a EMR. Los grupos B, C y D fueron expuestos a las frecuencias de EMR a diferentes distancias (0 cm, 1 cm, 5 cm, 10 cm, 20 cm y 25 cm) durante 1 h antes de la estimulación con CAP. La producción citosólica de ROS, las concentraciones de Ca<sup>2+</sup>, la apoptosis, los valores de caspasa-3 y caspasa-9 fueron mayores en los grupos B, C y D que en el grupo A a distancias de 0 cm, 1 cm y 5 cm, aunque los valores de viabilidad celular (MTT) aumentaron con las distancias. No hubo diferencias estadísticamente significativas en los valores entre el control, 20 y 25 cm. El Wi-Fi y el EMR del teléfono móvil colocados a 10 cm de las células indujeron respuestas oxidativas excesivas y apoptosis a través de TRPV1-

---

Acumulación de Ca<sup>2+</sup> citosólico inducida en las células cancerosas. El uso de teléfonos móviles y fuentes de Wi-Fi que se encuentren a más de 10 cm de distancia puede proporcionar una protección útil contra el estrés oxidativo, la apoptosis y la sobrecarga de Ca<sup>2+</sup> intracelular. Este artículo es parte de un número especial titulado: Canales de membrana y transportadores en cánceres.

(E) Comelekoglu U, Aktas S, Demirbag B, Karagul MI, Yalin S, Yildirim M, Akar A, Korunur Engiz B, Sogut F, Ozbay E. Efecto de la radiación de radiofrecuencia de bajo nivel de 1800 MHz sobre el nervio ciático de la rata y el papel protector del paricalcitol. *Bioelectromagnetismo*. 39(8):631-643, 2018.

El sistema nervioso es un objetivo importante de la exposición a la radiación de radiofrecuencia (RF), ya que es el componente excitable que potencialmente puede interactuar con los campos electromagnéticos. El presente estudio fue diseñado para investigar los efectos de la radiación de RF de 1.800 MHz y el papel protector del paricalcitol en el nervio ciático de la rata.

Las ratas se dividieron en cuatro grupos: control, paricalcitol, RF y RF + paricalcitol.

En los grupos de RF, las ratas estuvieron expuestas a RF de 1.800 MHz durante 1 hora por día durante 4 semanas.

Las ratas control y paricalcitol se mantuvieron en las mismas condiciones sin RF.

Aplicación. En los grupos de paricalcitol, las ratas recibieron 0,2 µg/kg/día de paricalcitol, tres veces por semana durante 4 semanas. Se evaluaron la amplitud y latencia de los potenciales de acción de los compuestos nerviosos, las actividades de la catalasa, los niveles de malondialdehído (MDA) y los cambios ultraestructurales del nervio ciático. En el grupo RF, se observó una reducción significativa de la amplitud, una prolongación de la latencia, un aumento del nivel de MDA y un aumento de la actividad de la catalasa y una degeneración en las fibras nerviosas mielinizadas. Los hallazgos electrofisiológicos e histológicos fueron compatibles con la neuropatía, y los cambios neuropáticos se mejoraron parcialmente con la administración de paricalcitol.

(E) Dasdag S, Akdag MZ, Ulukaya E, Uzunlar AK, Ocak AR. Efecto de la exposición a teléfonos móviles sobre las células gliales apoptóticas y el estado de estrés oxidativo en el cerebro de ratas.

Electromagn Biol Med. 28(4):342-354, 2009.

El objetivo de este estudio fue investigar los efectos de la exposición a teléfonos móviles en las células gliales del cerebro. El estudio se llevó a cabo en 31 ratas macho adultas Wistar Albino. Las cabezas de las ratas en un carrusel expuestas a microondas de 900 MHz. Para el grupo de estudio (n: 14), las ratas estuvieron expuestas a la radiación 2 h por día (7 días a la semana) durante 10 meses. Para el grupo simulado (n: 7), las ratas se colocaron en el carrusel y se aplicó el mismo procedimiento, excepto que se apagó el generador. Para el control de la jaula (n: 10), no se aplicó nada a las ratas de este grupo. En este estudio, las ratas fueron sacrificadas después de 10 meses de períodos de exposición y se les extrajo el cerebro. Los tejidos cerebrales se tiñeron inmunohistoquímicamente para la caspasa-3 activa (escindida), que es un marcador de apoptosis bien conocido, y p53. La expresión de las proteínas se evaluó mediante un sistema de puntuación semicuantitativo. Sin embargo, se midieron la capacidad antioxidante total (CAT), la catalasa, el estado oxidante total (TOS) y el índice de estrés oxidativo en el cerebro de ratas. La puntuación final de apoptosis en el grupo expuesto fue significativamente menor que en el grupo simulado ( $p < 0,001$ ) y en los grupos de control de jaula ( $p < 0,01$ ). p53 no se modificó significativamente con la exposición ( $p > 0,05$ ). La capacidad antioxidante total y la catalasa en el grupo experimental fueron mayores que en el grupo simulado ( $p < 0,001$ ,  $p < 0,05$ ). En términos de TOS e índice de estrés oxidativo, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de exposición y simulado ( $p > 0,05$ ). En conclusión, la puntuación final de apoptosis, capacidad antioxidante total y catalasa en el cerebro de ratas podría verse alterada por la radiación de 900 MHz producida por un generador para representar la exposición a teléfonos celulares de sistemas globales para comunicaciones móviles (GSM).

(E) De Iulius GN, Newey RJ, King BV, Aitken RJ. La radiación de los teléfonos móviles induce la producción de especies reactivas de oxígeno y daños en el ADN de los espermatozoides humanos in vitro. PLoS ONE 4(7): e6446, 2009. doi:10.1371/journal.pone.0006446

Antecedentes: En los últimos tiempos ha habido cierta controversia sobre el impacto de la radiación electromagnética en la salud humana. La importancia de la radiación de los teléfonos móviles en la reproducción masculina es un elemento clave de este debate, ya que varias Estudios han sugerido una relación entre el uso del teléfono móvil y la calidad del semen. No se han establecido los posibles mecanismos implicados, sin embargo, se sabe que los espermatozoides humanos son particularmente vulnerables al estrés oxidativo en virtud de la abundante disponibilidad de sustratos para el ataque de radicales libres y la falta de espacio citoplasmático para acomodar las enzimas antioxidantes. Además, la inducción de estrés oxidativo en estas células no solo

Altera la capacidad de fertilización de los espermatozoides y contribuye a dañar su ADN, lo que a su vez se relaciona con una menor fertilidad, una mayor incidencia de abortos y morbilidad en la descendencia, incluido el cáncer infantil. A la luz de estas asociaciones, hemos analizado la influencia de la RF-EMR en la biología celular de los espermatozoides humanos in vitro.

Resultados principales: Los espermatozoides humanos purificados fueron expuestos a radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF-EMR) sintonizada a 1,8 GHz y que abarca un rango de tasas de absorción específica (SAR) de 0,4 W/kg a 27,5 W/kg. En sintonía con el aumento de SAR, la motilidad y la vitalidad se redujeron significativamente después de la exposición a RF-EMR, mientras que la generación mitocondrial de especies reactivas de oxígeno y la fragmentación del ADN aumentaron significativamente (P, 0,001). Además, también observamos relaciones altamente significativas entre SAR, el biomarcador de daño oxidativo del ADN, 8-OH-dG, y la fragmentación del ADN después de la exposición a RF-EMR.

Conclusiones: La RF-EMR tanto en la densidad de potencia como en el rango de frecuencia de los teléfonos móviles mejora la generación de especies reactivas de oxígeno mitocondriales por parte de los espermatozoides humanos, disminuyendo la motilidad y la vitalidad de estas células al tiempo que estimula la formación de aductos de bases de ADN y, en última instancia, la fragmentación del ADN. Estos hallazgos tienen claras implicaciones para la seguridad del uso extensivo de teléfonos móviles por parte de hombres en edad reproductiva, afectando potencialmente tanto su fertilidad como la salud y el bienestar de su descendencia.

(E) De Luca C, Chung Sheun Thai J, Raskovic D, Cesareo E, Caccamo D, Trukhanov A, Korkina L. Detección metabólica y genética de sujetos hipersensibles a los electromagnéticos como herramienta factible para el diagnóstico y la intervención. Mediadores de la inflamación.

2014;2014:924184. doi: 10.1155/2014/924184. Publicación electrónica del 9 de abril de 2014.

Cada vez más personas en todo el mundo que padecen de "hipersensibilidad electromagnética" (EHS) manifiestan síntomas inespecíficos, multiorgánicos y muy discapacitantes cuando se exponen a radiaciones electromagnéticas de baja dosis, a menudo asociados con síntomas de sensibilidad química múltiple (SQM) y/u otras "enfermedades relacionadas con la sensibilidad" (SRI) ambientales. Este grupo de trastornos inflamatorios crónicos aún carece de mecanismos patogénicos validados, biomarcadores de diagnóstico y pautas de tratamiento. Planteamos la hipótesis de que la SRI, al no ser meramente psicógena, puede compartir determinantes orgánicos de desintoxicación deficiente de estresores físico-químicos comunes.

Basándonos en nuestros estudios previos sobre MCS, probamos un panel de 12 parámetros metabólicos relacionados con la oxidorreducción sanguínea y de polimorfismos génicos de enzimas metabolizadoras de fármacos seleccionados en 153 EHS, 147 MCS y 132 controles italianos, confirmando que el MCS alteraba (P < 0,05-0,0001) las actividades eritrocitarias de glutatión-(GSH), GSH-peroxidasa/S-transferasa y catalasa. Primero describimos alteraciones prooxidantes/proinflamatorias metabólicas comparables, aunque más leves, en EHS con una proporción de oxidación de coenzima Q10 plasmática distintivamente aumentada. Se confirmó una depleción grave de ácidos grasos poliinsaturados de membrana de eritrocitos con una proporción  $\omega$  6/  $\omega$  3 aumentada en MCS, pero no en EHS. También identificamos una distribución versus control significativamente alterada (P = 0,003) de las variantes de SNP CYP2C19 1/ 2 en EHS, y un riesgo 9,7 veces mayor (OR: IC del 95 % = 1,3-74,5) de desarrollar EHS para las variantes del haplotipo (nulo)GSTT1 + (nulo)GSTM1.

En conjunto, los resultados sobre MCS y EHS refuerzan nuestra propuesta de adoptar este panel de biomarcadores metabólicos/genéticos sanguíneos como herramienta diagnóstica adecuada para SRI.

(NE) \*Demirel S, Doganay S, Turkoz Y, Dogan Z, Turan B, Firat PG. Efectos de la radiación electromagnética emitida por teléfonos móviles de tercera generación sobre los parámetros de estrés oxidativo en el tejido ocular y la sangre de ratas. *Cutan Ocul Toxicol.* 31(2):89-94, 2012.

Objetivo: Investigar los efectos de la radiación electromagnética (REM) emitida por un teléfono móvil de tercera generación (3G) sobre los parámetros de estrés oxidativo y antioxidante en el tejido ocular y la sangre de ratas. Métodos: Dieciocho ratas albinas Wistar fueron asignadas aleatoriamente a dos grupos: el grupo I (n = 9) recibió una dosis diaria estandarizada de teléfono móvil 3G

El grupo II sirvió como grupo de control (n = 9), sin recibir exposición a EMR. Se midieron los niveles de glutatión peroxidasa (GSH-Px) y catalasa (CAT) en los tejidos oculares; además, se midieron los niveles de malondialdehído (MDA) y GSH reducido en sangre. Resultados: No hubo diferencia significativa entre los grupos en la actividad de GSH-Px (p = 0,99) y CAT (p = 0,18) en el tejido ocular. No hubo diferencia significativa entre los grupos en los niveles de MDA (p = 0,69) y GSH (p = 0,83) en sangre.

Conclusiones: Los resultados de este estudio sugieren que, con un corto período de exposición, los teléfonos móviles 3G

La radiación no produce efectos nocivos sobre el tejido ocular ni la sangre de las ratas.

(E) \*Deshmukh PS, Banerjee BD, Abegaonkar MP, Megha K, Ahmed RS, Tripathi AK, Mediratta PK. Efecto de la exposición a radiación de microondas de bajo nivel sobre la función cognitiva y el estrés oxidativo en ratas. *Indian J Biochem Biophys.* 50(2):114-119, 2013. (LI)

El uso de dispositivos de comunicación inalámbrica está aumentando a un ritmo exponencial en la actualidad y está generando serias preocupaciones sobre los posibles efectos adversos de la radiación de microondas (MW) emitida por estos dispositivos en la salud humana. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar los efectos de la exposición a la radiación de microondas de 900 MHz en la función cognitiva y el estrés oxidativo en la sangre de ratas Fischer. Los animales se dividieron en dos grupos (6 animales/grupo): Grupo I (expuestos a MW) y Grupo II (expuestos de forma simulada). Los animales fueron sometidos a exposición a MW (Frecuencia 900 MHz; tasa de absorción específica  $8,4738 \times 10^{-5}$  W/kg) en una célula electromagnética transversal de gigahercios (GTEM) durante 30 días (2 h/día, 5 días/semana). Posteriormente, se examinaron los parámetros de la función cognitiva y el estrés oxidativo de cada grupo. Los resultados mostraron un deterioro significativo de la función cognitiva y un aumento del estrés oxidativo, como lo demuestra el aumento de los niveles de MDA (un marcador de peroxidación lipídica) y carbonilo proteico (un marcador de oxidación proteica) y el contenido inalterado de GSH en sangre. Por lo tanto, el estudio demostró que la radiación de bajo nivel de MW tuvo un efecto significativo en la función cognitiva y también fue capaz de provocar estrés oxidativo.

(NE) de Souza FT, Silva JF, Ferreira EF, Siqueira EC, Duarte AP, Gomez MV, Gomez RS, Gomes CC. Uso de teléfonos celulares y alteraciones de la glándula salival parótida: sin evidencia molecular. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 21 de abril de 2014. [Epub antes de impresión]

Antecedentes La asociación entre el uso del teléfono móvil y el desarrollo de tumores parótidos es controvertida. Debido a que existe evidencia inequívoca de que el microambiente es importante para la formación de tumores, investigamos en las glándulas parótidas si el uso del teléfono móvil altera la expresión de productos genéticos relacionados con el estrés celular. Métodos Utilizamos la saliva producida por las glándulas parótidas de 62 individuos para evaluar alteraciones moleculares compatibles con el estrés celular.

estrés, comparando la saliva de la glándula expuesta a la radiación del teléfono celular (ipsilateral) con la saliva de la glándula parótida opuesta, no expuesta (contralateral) de cada individuo. Comparamos el flujo salival, la concentración total de proteínas, p53, p21, especies reactivas de oxígeno (ROS) y los niveles salivales de glutatión (GSH), proteínas de choque térmico 27 y 70 e IgA entre las parótidas ipsilaterales y contralaterales. Resultados No se encontraron diferencias para ninguno de estos parámetros, incluso al agrupar a los individuos por período de uso del teléfono celular en años o por llamadas promedio mensuales en minutos. Conclusiones e impacto Aportamos evidencia molecular de que la exposición de las glándulas parótidas al uso del teléfono móvil no altera el flujo salival parótido, la concentración de proteínas o los niveles de proteínas de genes que se ven afectados directa o indirectamente por el estrés celular inducido por el calor.

---

(E) Devrim E, Ergüder IB, Kılıçoğlu B, Yaykaşlı E, Cetin R, Durak I. Efectos del uso de radiación electromagnética sobre el estado oxidante/antioxidante y las actividades enzimáticas de recambio de ADN en eritrocitos y tejidos de corazón, riñón, hígado y ovario de ratas: posible papel protector de la vitamina C. Toxicol Mech Methods.

18(9):679-683, 2008.

En este estudio, el objetivo fue investigar los posibles efectos del uso de radiación electromagnética (REM) en el estado oxidante y antioxidante de los eritrocitos y los tejidos de riñón, corazón, hígado y ovario de ratas, y el posible papel protector de la vitamina C. Para este objetivo, se utilizaron 40 ratas albinas Wistar hembras durante todo el estudio. El grupo de tratamiento estuvo expuesto a la REM en una frecuencia de 900 MHz, el grupo de REM más vitamina C estuvo expuesto a la misma frecuencia de REM y se le administró vitamina C (250 mg/kg/día) por vía oral durante 4 semanas. Había 10 animales en cada grupo, incluidos los grupos de control y vitamina C. Al final del período de estudio, se obtuvieron muestras de sangre de los animales para obtener sedimentos de eritrocitos.

Luego, los animales fueron sacrificados y se les extrajeron los tejidos del corazón, riñón, hígado y ovario. Se midieron los niveles de malondialdehído (MDA) y las actividades de las enzimas superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), glutatión peroxidasa (GSH-Px), xantina oxidasa (XO) y adenosina desaminasa (ADA) en los tejidos y eritrocitos. Se observó que el nivel de MDA, XO y las actividades de GSH-Px aumentaron significativamente en el grupo EMR en comparación con los del grupo de control en los eritrocitos. En los tejidos del riñón, se encontró que el nivel de MDA y la actividad de CAT aumentaron significativamente, mientras que las actividades de XO y ADA disminuyeron en el grupo del teléfono celular en comparación con las del grupo de control. Sin embargo, en los tejidos del corazón se observó que el nivel de MDA, ADA y las actividades de XO disminuyeron significativamente en el grupo del teléfono celular en comparación con las del grupo de control. Los resultados sugieren que la radiación electromagnética a la frecuencia generada por un teléfono móvil provoca estrés oxidativo y peroxidación en los eritrocitos y los tejidos renales de ratas. En los eritrocitos, la vitamina C parece ejercer una protección parcial contra el estrés oxidativo.

---

(E) Djordjevic B, Sokolovic D, Kocic G, Veljkovic A, Despotovic M, Basic J, Jevtovic-Stoimenov T, Sokolovic DM. El efecto de la melatonina en el hígado de ratas expuestas a la radiación de microondas. Bratisl Lek Listy. 116(2):96-100, 2015.

OBJETIVOS: Nuestro objetivo fue esclarecer si el tratamiento con melatonina (2 mg/kg ip) puede tener un efecto favorable sobre el tejido hepático de ratas expuestas a radiación de microondas. El experimento se realizó en 84 ratas macho Wistar de seis semanas de edad expuestas durante 4 horas al día, durante 20, 40 y 60 días.

respectivamente, a microondas (900 MHz, 100-300 microT, 54-160 V/m). Las ratas se dividieron en cuatro grupos: I (control) - ratas tratadas con solución salina, II (Mel) - ratas tratadas con melatonina, III (MWs) - ratas expuestas a microondas, IV (MWs + Mel) - ratas expuestas a MWs tratadas con melatonina. Evaluamos los parámetros de estrés oxidativo (contenido de malondialdehído y grupo carbonilo), catalasa, xantina oxidasa, actividad de desoxirribonucleasa I y II. ANTECEDENTES: El estrés oxidativo es el mecanismo clave de la lesión tisular inducida por microondas. La melatonina, una indolamina lipofílica sintetizada y liberada principalmente por la glándula pineal, es un poderoso antioxidante. RESULTADOS: La exposición a microondas provocó un aumento del malondialdehído después de 40 días ( $p < 0,01$ ), del contenido de carbonilo proteico después de 20 días ( $p < 0,05$ ), de la actividad de la catalasa ( $p < 0,05$ ) y de la xantina oxidasa ( $p < 0,05$ ) después de 40 días. Se observó un aumento de la actividad de la desoxirribonucleasa I después de 60 días ( $p < 0,05$ ), mientras que la actividad de la desoxirribonucleasa II no se vio afectada.

El tratamiento con melatonina produjo una disminución del malondialdehído después de 40 días ( $p < 0,05$ ), pero sorprendentemente no tuvo efecto sobre otros parámetros analizados. CONCLUSIÓN: La melatonina ejerce ciertos efectos antioxidantes en el hígado de ratas expuestas a microondas, al disminuir la intensidad de la peroxidación lipídica (Fig. 6, Ref. 32).

(E) Duan W, Liu C, Zhang L, He M, Xu S, Chen C, Pi H, Gao P, Zhang Y, Zhong M, Yu Z, Zhou Z. Comparación de los efectos genotóxicos inducidos por campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja de 50 Hz y campos electromagnéticos de radiofrecuencia de 1800 MHz en células GC-2. *Radiat Res.* 183(3):305-314, 2015.

Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) y los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) se han considerado como posiblemente carcinógenos para los seres humanos. Sin embargo, sus efectos genotóxicos siguen siendo controvertidos. Para que los experimentos sean controlables y los resultados comparables, estandarizamos las condiciones de exposición y exploramos la genotoxicidad potencial de los ELF-EMF de 50 Hz y los RF-EMF de 1800 MHz. Una línea celular GC-2 derivada de espermatozoides de ratón se expuso de forma intermitente (5 min encendido y 10 min apagado) a ELF-EMF de 50 Hz a una intensidad de 1, 2 o 3 mT o a RF-EMF en modo GSM-Talk a las tasas de absorción específicas (SAR) de 1, 2 o 4 W/kg. Después de la exposición durante 24 h, descubrimos que ni los ELF-EMF ni los RF-EMF afectaron la viabilidad celular utilizando el kit de recuento celular-8. Mediante el uso de un ensayo de cometa alcalino e inmunofluorescencia contra focos  $\gamma$ -H2AX, descubrimos que la exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF) produjo un aumento significativo de las roturas de cadenas de ADN a 3 mT, mientras que la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF) no tuvo la energía suficiente para inducir tales efectos. Mediante un ensayo de cometa alcalino modificado con formamidopirimidina ADN glicosilasa (FPG), observamos que la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia indujo significativamente daño oxidativo de las bases del ADN a un valor de SAR de 4 W/kg, mientras que la exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF) no lo hizo. Nuestros resultados sugieren que tanto los campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (ELF) como los de radiofrecuencia en las mismas condiciones experimentales pueden producir genotoxicidad a intensidades relativamente altas, pero crean diferentes patrones de daño del ADN. Por lo tanto, los mecanismos potenciales subyacentes a la genotoxicidad de campos electromagnéticos de diferentes frecuencias pueden ser diferentes.

(E) Durdik M, Kosik P, Markova E, Somsedikova A, Gajdosechova B, Nikitina E, Horvathova E, Kozics K, Davis D, Belyaev I. Las microondas de los teléfonos móviles inducen especies reactivas de oxígeno pero no daño al ADN, genes de fusión preleucémicos y apoptosis en células madre/progenitoras hematopoyéticas. *Sci Rep.* 2019 Nov 7;9(1):16182.

La exposición a campos electromagnéticos (CEM) se ha asociado con un mayor riesgo de leucemia infantil, que surge de mutaciones inducidas dentro de las células madre hematopoyéticas, a menudo a través de genes de fusión preleucémicos (PFG). En este estudio, investigamos si la exposición a microondas (MW) emitidas por teléfonos móviles podría inducir varios marcadores bioquímicos de daño celular, incluidas las especies reactivas de oxígeno (ROS), roturas de cadena simple y doble de ADN, PFG y apoptosis en células de sangre del cordón umbilical (UCB), incluidas las células madre/progenitoras hematopoyéticas CD34+. Las células UCB se expusieron a señales pulsadas de MW del teléfono móvil de prueba GSM900/UMTS y se analizaron ROS, apoptosis, daño del ADN y PFG mediante citometría de flujo, microscopía fluorescente automatizada, citometría de flujo de imágenes, ensayo cometa y RT-qPCR. En general, no se detectó ninguna diferencia persistente en daño del ADN, PFG y apoptosis entre muestras expuestas y expuestas simuladamente. Sin embargo, encontramos un aumento del nivel de ROS después de 1 h de exposición a UMTS que no era evidente 3 h después de la exposición. También encontramos que el nivel de ROS aumenta con el mayor grado de diferenciación celular. Nuestros datos muestran que las células UCB expuestas a MW pulsado desarrollaron un aumento transitorio de ROS que no resultó en daño sostenido del ADN ni apoptosis.

(E) Elamin AAE, Deniz OG, Kaplan S. Efectos de la goma arábica, la curcumina (*Curcuma longa*) y la *Garcinia kola* en el hipocampo de ratas después de la exposición a campos electromagnéticos: un estudio estereológico e histológico. *J Chem Neuroanat* 120:102060, 2021.

El presente estudio se diseñó para centrarse en los efectos potenciales del campo electromagnético (CEM) emitido por los teléfonos móviles sobre las neuronas piramidales del hipocampo e investigar el papel de la curcumina (Cur), la *Garcinia kola* (GK) y la goma arábica (GA) en la reducción de estos efectos adversos. Se utilizaron cincuenta y cuatro ratas albinas Wistar macho de 12 semanas de edad. Se dividieron aleatoriamente en nueve grupos de seis ratas cada uno. Los grupos de control, Cur, GK y GA no estuvieron expuestos a CEM, mientras que el grupo simulado se mantuvo en el sistema de exposición a CEM sin estar expuesto a CEM. Los grupos CEM+Cur, CEM+GK, CEM+GA y CEM estuvieron expuestos a CEM de 900 MHz durante una hora al día durante 28 días. El número de neuronas piramidales en el cornu ammonis (CA) del hipocampo se estimó utilizando la técnica del fraccionador óptico. Los cambios histopatológicos se evaluaron con microscopios ópticos y electrónicos. También se evaluaron las actividades de las enzimas superóxido dismutasa (SOD) y catalasa (CAT) a partir de muestras de suero. Se observaron niveles significativos de actividades de CAT y SOD en el grupo EMF en comparación con el grupo de control ( $p = 0,000$ ;  $p = 0,001$ ) respectivamente. Las observaciones microscópicas mostraron que los núcleos de color oscuro con límites neuronales poco claros se observaron con frecuencia en el grupo EMF. El análisis de datos estereológicos reveló una disminución significativa en el número total de neuronas piramidales del CA en el grupo EMF en comparación con los grupos de control y simulado ( $p = 0,000$ ;  $p = 0,000$ ) respectivamente. Se observó que Cur y GK proporcionaban una protección significativa en los grupos EMF+Cur y EMF+GK en comparación con el grupo EMF ( $p = 0,000$ ;  $p = 0,000$ ) respectivamente. No se observó ninguna diferencia significativa entre el grupo EMF+GA y el grupo EMF ( $p = 0,989$ ). La exposición a EMF de 900 MHz provoca alteraciones graves en el número y la estructura de las neuronas piramidales del hipocampo. Cur y GK exhiben un efecto protector contra estos efectos nocivos, pero GA no mostró ningún efecto protector.

(E) Elhag MA, Nabil GM, Attia AM. Efectos del campo electromagnético producido por los teléfonos móviles sobre el estado oxidante y antioxidante de las ratas. Pak J Biol Sci. 10(23):4271-4274, 2007.

Este estudio fue diseñado para investigar el efecto de la EMR producida por los teléfonos móviles GSM (MP) en el estado oxidante y antioxidante en ratas. Las ratas se dividieron en tres grupos: (1) controles, (2) ratas expuestas a una dosis fraccionada de EMR (15 min día (-1) durante cuatro días) (EMR-F) y (3) ratas expuestas a una dosis aguda de EMR (EMR-A). Se observó una caída neta en la concentración plasmática de vitamina C (-47 y -59,8%) en los grupos EMR-F y EMR-A, respectivamente, en comparación con los controles. Mientras que, se observó una disminución significativa en los niveles de vitaminas antioxidantes lipofílicas: vitamina E (-33 y -65,8%), vitamina A (-44,4 y -46,8%) en los grupos EMR-F y EMR-A, respectivamente, en comparación con los controles. Se observó una caída neta en el nivel plasmático de glutatión reducido (GSH) (-19,8 y -35,3%) en los grupos EMR-F y EMR-A, respectivamente. La exposición a EMR de las ratas produjo una disminución significativa en las actividades de la catalasa (CAT) y la superóxido dismutasa (SOD), con valores de estas actividades para el grupo EMR-A significativamente inferiores a los del grupo EMR-F. Estos resultados indican que los efectos de las dosis agudas de EMR producidas por teléfonos móviles sobre el estado antioxidante de las ratas son significativamente superiores a los de las dosis fraccionadas del mismo tipo de radiación. Sobre la base de los resultados actuales, se puede concluir que la exposición a dosis agudas de EMR producidas por teléfonos móviles es más peligrosa que la producida por dosis fraccionadas del mismo tipo de radiación.

(E) Erdem Koç G, Kaplan S, Altun G, Gümüş H, Gülsüm Deniz Ö, Aydın I, Emin Onger M, Altunkaynak Z. Efectos neuroprotectores de la melatonina y los ácidos grasos omega-3 en las células del hipocampo expuestas prenatalmente a campos electromagnéticos de 900 MHz. Int J Radiat Biol. 21 de julio de 2016:1-6. [Publicación electrónica antes de la impresión]

OBJETIVO: Los efectos adversos para la salud humana causados por los campos electromagnéticos (CEM) asociados con el uso de teléfonos móviles, en particular entre los jóvenes, están aumentando todo el tiempo. Los posibles efectos nocivos de la exposición a los CEM resultantes del uso de teléfonos móviles en las proximidades del cerebro requieren una evaluación particular. Sin embargo, solo un número limitado de estudios han investigado los efectos de la exposición prenatal a los CEM en el desarrollo de las células piramidales que utilizan melatonina (MEL) y omega-3 ( $\omega$ -3).

MATERIALES Y MÉTODOS: Establecimos siete grupos de ratas preñadas que consistían en tres animales cada uno; control (CONT), SHAM, EMF, EMF + MEL, MEL, EMF +  $\omega$ -3 y  $\omega$ -3 solo. Las ratas en los grupos EMF, EMF + MEL, EMF +  $\omega$ -3 fueron expuestas a 900 MHz EMF durante 60 min/día en un tubo de exposición durante el período de gestación. Las ratas del grupo CONT, MEL y  $\omega$ -3 no fueron colocadas dentro del tubo de exposición ni expuestas a EMF durante el período de estudio. Después del parto, solo se seleccionaron crías de rata macho que nacieron espontáneamente para el establecimiento de otros grupos. Cada grupo de crías consistió en seis animales. La técnica del fraccionador óptico se utilizó para determinar el número total de neuronas piramidales en la región del hipocampo de la rata.

RESULTADOS: El número total de células piramidales en el cuerno de Amón (CA) en el grupo EMF fue significativamente menor que en los grupos CONT, SHAM, EMF + MEL y EMF +  $\omega$ -3. No se observó ninguna diferencia significativa entre los grupos EMF, MEL y  $\omega$ -3. Tampoco se observó ninguna diferencia entre los grupos en términos del cuerpo o el cerebro de las ratas.

**CONCLUSIÓN:** MEL y  $\omega$ -3 pueden proteger a la célula contra el daño neuronal en el hipocampo inducido por los campos electromagnéticos de 900 MHz. Sin embargo, se necesitan más estudios para evaluar los efectos crónicos de los campos electromagnéticos de 900 MHz en el cerebro durante el período prenatal.

(E) Ertilav K, Uslusoy F, Ataizi S, Nazıroğlu M. Exposición a largo plazo al teléfono celular

Las frecuencias de 900 y 1800 MHz inducen apoptosis, estrés oxidativo mitocondrial y activación del canal TRPV1 en el hipocampo y el ganglio de la raíz dorsal de ratas. *Metab Brain Dis.* 33(3):753-763, 2018. 13 de enero.

Los proveedores de telefonía móvil utilizan radiación electromagnética (REM) con frecuencias que van desde 900 a 1800 MHz. El uso creciente de teléfonos móviles ha venido acompañado de varias consecuencias potencialmente patológicas, como enfermedades neurológicas relacionadas con el hipocampo (HIPPO) y las neuronas ganglionares de la raíz dorsal (DRGN). El canal TRPV1 se activa ante diferentes estímulos, incluidos CapN, altas temperaturas y estrés oxidativo. Investigamos la contribución de TRPV1 al estrés oxidativo mitocondrial y la apoptosis en HIPPO y DRGN tras la exposición a largo plazo a 900 y 1800 MHz en un modelo de rata.

Veinticuatro ratas adultas se dividieron equitativamente en los siguientes grupos: (1) control, (2) 900 MHz, y (3) exposición a 1800 MHz. Cada grupo experimental estuvo expuesto a EMR durante 60 min/5 días a la semana durante un año. La exposición a EMR de 900 y 1800 MHz indujo aumentos en las corrientes TRPV1, el flujo intracelular de calcio libre ( $Ca^{2+}$ ), la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), la despolarización de la membrana mitocondrial (JC-1), la apoptosis y las actividades de caspasa 3 y 9 en el HIPPO y el DRGN. Estos procesos nocivos aumentaron aún más en el grupo experimental de 1800 MHz en comparación con el grupo de exposición a 900 MHz. En conclusión, el estrés oxidativo mitocondrial, la muerte celular programada y la vía de entrada de  $Ca^{2+}$  a través de la activación de TRPV1 en el HIPPO y el DRGN de ratas aumentaron en el modelo de rata después de la exposición a frecuencias celulares de 900 y 1800 MHz. Nuestros resultados sugieren que la exposición a EMR de 900 y 1800 MHz puede inducir una respuesta de estrés mediada por TRPV1 y asociada a la dosis.

(E) \*Eser O, Songur A, Aktas C, Karavelioglu E, Caglar V, Aylak F, Ozguner F, Kanter M. El efecto de la radiación electromagnética en el cerebro de la rata: un estudio experimental. *Neurocirugía turca.* 23(6):707-715, 2013.

**OBJETIVO:** El objetivo de este estudio es determinar los cambios estructurales de las ondas electromagnéticas en la corteza frontal, el tronco encefálico y el cerebelo. **MATERIAL Y MÉTODOS:** 24 ratas macho adultas Wistar Albino se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos: el grupo I consistió en ratas de control y los grupos II-IV comprendieron ratas irradiadas electromagnéticamente (REM) con 900, 1800 y 2450 MHz. Las cabezas de las ratas fueron expuestas a irradiación de microondas de 900, 1800 y 2450 MHz durante 1 hora por día durante 2 meses. **RESULTADOS:** Mientras que los cambios histopatológicos en la corteza frontal y el tronco encefálico fueron normales en el grupo de control, hubo cambios degenerativos severos, citoplasma encogido y núcleos picnóticos extensamente oscuros en los grupos EMR.

El análisis bioquímico demostró que el nivel de capacidad antioxidante total disminuyó significativamente en los grupos EMR y también los niveles de capacidad oxidativa total y del índice de estrés oxidativo aumentaron significativamente en la corteza frontal, el tronco encefálico y el cerebelo. El nivel de IL-1 $\beta$  aumentó significativamente en los grupos EMR en el tronco encefálico.

**CONCLUSIÓN:** La REM provoca cambios estructurales en la corteza frontal, el tronco encefálico y cerebelo y deteriorar el sistema de estrés oxidativo y de citocinas inflamatorias. Este deterioro puede provocar enfermedades, incluida la pérdida de la función de estas áreas y el desarrollo de cáncer.

(E) Eslami, E., Fatahian, S. y Shahanipour, K. Evaluación de los efectos de las radiaciones de los teléfonos móviles sobre los parámetros antioxidantes y renales en ratas. *Toxicol. Environ. Health Sci.* 11, 278–282, 2019.

Objetivo: En el presente estudio se intenta evaluar los efectos de las ondas de los teléfonos celulares sobre las actividades oxidativas del estrés, así como sobre los parámetros renales en ratas. Métodos: Se dividieron 30 ratas Wistar macho adultas en 3 grupos de 10. El grupo 1 (control) se mantuvo en condiciones normales de laboratorio. Los grupos 2 y 3 fueron expuestos a dos y cuatro teléfonos celulares en lados opuestos de la jaula, respectivamente. Se recogieron muestras de sangre directamente del corazón de las ratas 15 y 30 días después de la exposición y se midió la actividad de los factores antioxidantes, incluyendo glutatión peroxidasa, superóxido dismutasa, catalasa, glutatión peroxidasa, paraoxonasa y malondialdehído, así como los parámetros renales (urea, ácido úrico y creatinina). Resultados: La actividad de las enzimas catalasa, superóxido dismutasa y paraoxonasa en todos los grupos tratados, 15 y 30 días después de la exposición al teléfono celular, aumentó significativamente en comparación con el control. La actividad de la enzima glutatión peroxidasa en todos los grupos tratados, 15 y 30 días después de la exposición al teléfono celular, disminuyó en comparación con el grupo de control. La actividad de malondialdehído y creatinina no mostró cambios significativos. El ácido úrico y la urea aumentaron significativamente en el grupo expuesto solo a cuatro teléfonos celulares, 30 días después de la exposición. Conclusión: De acuerdo con los resultados, se observaron muchos cambios en los parámetros bioquímicos debido a la exposición al teléfono celular durante un mes. Por lo tanto, se puede concluir que los dispositivos de radiofrecuencia podrían ser destructivos y tener muchos efectos negativos sobre los tejidos y la función enzimática.

(E) Esmekaya MA, Ozer C, Seyhan N. La radiación de radiofrecuencia modulada por pulsos de 900 MHz induce estrés oxidativo en los tejidos del corazón, los pulmones, los testículos y el hígado. *Gen Physiol Biophys.* 30(1):84-89, 2011.

El estrés oxidativo puede afectar a muchos procesos celulares y fisiológicos, incluida la expresión genética, el crecimiento celular y la muerte celular. En el estudio reciente, nuestro objetivo fue investigar si los campos de radiofrecuencia (RF) modulados por pulsos de 900 MHz inducen daño oxidativo en los tejidos pulmonares, cardíacos y hepáticos. Evaluamos el daño oxidativo investigando los niveles de peroxidación lipídica (malondialdehído, MDA), óxido nítrico (NOx) y glutatión (GSH), que son los indicadores de toxicidad tisular. Se utilizó un total de 30 ratas albinas Wistar macho en este estudio. Las ratas se dividieron aleatoriamente en tres grupos: grupo de control (n = 10), grupo simulado (dispositivo apagado, n = 10) y grupo de radiación RF modulada por pulsos de 900 MHz (n = 10). Las ratas RF fueron expuestas a radiación RF modulada por pulsos de 900 MHz a un nivel de tasa de absorción específica (SAR) de 1,20 W/kg 20 min/día durante tres semanas. Los niveles de MDA y NOx aumentaron significativamente en los tejidos de hígado, pulmón, testículo y corazón del grupo expuesto en comparación con los grupos de simulación y control ( $p < 0,05$ ). Por el contrario, los niveles de GSH fueron significativamente más bajos en los tejidos de ratas expuestas ( $p < 0,05$ ). No se observó ninguna diferencia significativa entre los grupos de simulación y control.

Los resultados de nuestro estudio mostraron que la radiación de RF modulada por pulsos causa daño oxidativo en el hígado, pulmón, tes

tejidos del corazón mediados por la peroxidación lipídica, aumento del nivel de NOx y supresión del mecanismo de defensa antioxidante.

(E) Esmekaya MA, Tuysuz MZ, Tomruk A, Canseven AG, Yücel E, Aktuna Z, Keskil S, Seyhan N. Efectos de la radiación de los teléfonos celulares sobre la peroxidación lipídica, el glutatión y los niveles de óxido nítrico en el cerebro de ratones durante una convulsión epiléptica. *J Chem Neuroanat.* 75(pt.B):111-115, 2016.

El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de la radiación de teléfonos celulares sobre los parámetros de estrés oxidativo y los niveles de óxido en el cerebro de ratones durante una crisis epiléptica inducida por pentilentetrazol (PTZ). Se utilizaron ratones de ocho semanas de edad en el estudio. Los animales se distribuyeron en los siguientes grupos: Grupo I: Grupo de control tratado con PTZ, Grupo II: radiación de teléfono celular de 15 minutos + tratamiento con PTZ + radiación de teléfono celular de 30 minutos, Grupo III: radiación de teléfono celular de 30 minutos + tratamiento con PTZ + radiación de teléfono celular de 30 minutos. La radiación de RF fue producida por un teléfono celular de 900 MHz. La peroxidación lipídica, que es el indicador de estrés oxidativo, se cuantificó midiendo la formación de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS). Los niveles de glutatión (GSH) se determinaron mediante el método de Ellman. Los niveles de óxido nítrico total (NOx) en el tejido se obtuvieron utilizando el ensayo de Griess. La peroxidación lipídica y los niveles de NOx del tejido cerebral aumentaron significativamente en los grupos II y III en comparación con el grupo I. Por el contrario, los niveles de GSH fueron significativamente más bajos en los grupos II y III que en el grupo I. Sin embargo, no se observaron alteraciones estadísticamente significativas en ninguno de los criterios de valoración entre el grupo II y el grupo III. En general, los hallazgos experimentales demostraron que la radiación de los teléfonos celulares puede aumentar el daño oxidativo y el nivel de NOx durante la actividad epiléptica en el cerebro de ratones.

(E) Falone S, Sannino A, Romeo S, Zeni O, Santini SJ, Rispoli R, Amicarelli F, Scari MR. Efecto protector del campo electromagnético de 1950 MHz en células de neuroblastoma humano expuestas a menadiona. *Representante de ciencia ficción* 8(1):13234, 2018.

Este estudio tiene como objetivo evaluar si un campo electromagnético de radiofrecuencia (RF) de 1950 MHz podría proteger a las células de neuroblastoma humano SH-SY5Y contra un tratamiento posterior con menadiona, un agente químico que induce daño al ADN a través de la formación de especies reactivas de oxígeno. Las células fueron preexpuestas durante 20 h a una tasa de absorción específica de 0,3 o 1,25 W/kg, y 3 h después del final de la exposición, fueron tratadas con 10  $\mu$ M de menadiona (MD) durante 1 h. No se observaron diferencias entre las muestras expuestas a RF y las expuestas a tratamiento simulado. Se detectó una reducción estadísticamente significativa en el daño al ADN inducido por menadiona en las células preexpuestas a 0,3 o 1,25 W/kg ( $P < 0,05$ ).

Además, nuestros análisis de la expresión genética revelaron que la exposición previa a RF casi inhibió la pérdida drástica de la eficiencia de eliminación de antioxidantes basada en glutatión peroxidasa que fue inducida por MD, y en paralelo mejoró fuertemente la expresión genética de la protección antioxidante basada en catalasa. Además, RF abolió la regulación negativa dependiente de MD de la oxoguanina ADN glicosilasa, que es una enzima crítica para la reparación del ADN. En general, nuestros hallazgos sugirieron que la exposición previa a RF redujo el daño oxidativo del ADN dependiente de menadiona, muy probablemente al mejorar la eficiencia de eliminación de antioxidantes y restaurar la capacidad de reparación del ADN. Nuestros resultados proporcionaron algunas ideas sobre los mecanismos moleculares subyacentes a la respuesta adaptativa inducida por RF en células de neuroblastoma humano desafiadas con menadiona.

(NE) Fasseas MK, Fragopoulou AF, Manta AK, Skouroliaou A, Vekrellis K, Margaritis LH, Syntichaki P. Respuesta de *Caenorhabditis elegans* a la exposición a la radiación de dispositivos inalámbricos. *Int J Radiat Biol.* 91(3):286-293, 2015.

Objetivo: El objetivo de este estudio fue examinar el impacto de la radiación electromagnética producida por teléfonos móviles GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles), enrutadores Wi-Fi (Fidelidad Inalámbrica) y teléfonos inalámbricos DECT (Telecomunicaciones Inalámbricas Digitales Mejoradas), en el nematodo *C. elegans*. Materiales y métodos: Expusimos poblaciones sincronizadas, de diferentes etapas de desarrollo, a estos dispositivos inalámbricos a niveles de campo E por debajo de las pautas de la ICNIRP (Comisión Internacional de Protección contra Radiación No Ionizante) durante varios períodos de tiempo. Se examinaron gusanos WT (de tipo salvaje) y gusanos mutantes sensibles al envejecimiento o al estrés para detectar cambios en el crecimiento, la fertilidad, la esperanza de vida, la quimiotaxis, la memoria a corto plazo, el aumento de la producción de ROS (especies reactivas de oxígeno) y la apoptosis mediante el uso de genes marcadores fluorescentes o qRT-PCR (reacción en cadena de la polimerasa con transcripción inversa cuantitativa). Resultados: No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los animales expuestos y los animales de control en ninguno de los experimentos en lo que respecta a la esperanza de vida, la fertilidad, el crecimiento, la memoria, las ROS, la apoptosis o la expresión génica. Conclusiones: El gusano parece ser resistente a esta forma de radiación (pulsada), al menos en las condiciones de exposición utilizadas.

(E) Fatma M. Ghoneim, Eetmad A. Arafat. Estudio histológico e histoquímico del papel protector del extracto de romero contra el efecto nocivo de la radiación electromagnética de los teléfonos móviles en las glándulas parótidas. *Acta Histochemica*, disponible en línea el 4 de mayo de 2016.

Los campos electromagnéticos (CEM) son una clase de radiación no ionizante (NIR) que se emite desde el teléfono móvil. Puede tener efectos nocivos para las glándulas parótidas. Por lo tanto, nuestro objetivo fue investigar los cambios histológicos e histoquímicos de las glándulas parótidas de ratas expuestas al teléfono móvil y estudiar el posible papel protector del romero contra su efecto nocivo. Se utilizaron cuarenta ratas albinas macho adultas en este estudio. Se clasificaron en 4 grupos iguales. Grupo I (control), grupo II (control que recibió romero), grupo III (grupo expuesto al teléfono móvil) y grupo IV (grupo expuesto al móvil, tratado con romero). Se diseccionaron las glándulas parótidas para el estudio histológico e histoquímico. Además, se midió los marcadores de estrés oxidativo; malondialdehído (MDA) y capacidad antioxidante total (TAC). Los resultados de este estudio revelaron que el romero tiene un efecto protector al mejorar el cuadro histológico e histoquímico de la glándula parótida, además de su efecto antioxidante. Del presente estudio se desprende que la exposición de la glándula parótida de modelos de rata a la radiación electromagnética de los teléfonos móviles provocó cambios estructurales a nivel de examen con microscopio óptico y electrónico que podrían explicarse por el efecto del estrés oxidativo del teléfono móvil. El romero podría desempeñar un papel protector contra este efecto nocivo a través de su actividad antioxidante.

---

(NORDESTE) 

1	
---	--

 Ferreira AR, Knakievicz T, de Bittencourt Pasquali MA, Gelain DP, Dal-Pizzol F, Fernández CE, de Almeida de Salles AA, Ferreira HB, Moreira JC. Irradiación de campo electromagnético de frecuencia ultra alta durante el embarazo

conduce a un aumento en la incidencia de micronúcleos de eritrocitos en crías de ratas. Life Sci. 80(1)43-50, 2006.

Los teléfonos móviles y sus estaciones base son una fuente importante de campos electromagnéticos de frecuencia ultraalta (UHF-EMF) y su utilización está aumentando en todo el mundo. Estudios epidemiológicos sugirieron que los campos electromagnéticos de frecuencia ultraalta de baja energía emitidos por un teléfono celular pueden causar efectos biológicos, como daño al ADN y cambios en el metabolismo oxidativo. Se utilizó una prueba citogenética de mamíferos in vivo, el ensayo de micronúcleos (MN), para investigar la aparición de daño cromosómico en eritrocitos de crías de ratas expuestas a un campo electromagnético de frecuencia ultraalta no térmico de un teléfono celular durante su embriogénesis; el grupo irradiado mostró un aumento significativo en la aparición de MN. Con el fin de investigar si los campos electromagnéticos de frecuencia ultraalta también podrían alterar los parámetros oxidativos en la sangre periférica y en el hígado, un tejido hematopoyético importante en embriones y recién nacidos de ratas,

También medimos la actividad de las enzimas antioxidantes, cuantificamos el contenido total de sulfhidrilo, los grupos carbonilo de las proteínas, las especies reactivas al ácido tiobarbitúrico y la defensa antioxidante no enzimática total. No se encontraron diferencias significativas en ningún parámetro oxidativo de la sangre y el hígado de las crías. El número medio de crías en cada camada tampoco se ha alterado significativamente.

Nuestros resultados sugieren que, en nuestras condiciones experimentales, los campos electromagnéticos de ultra alta frecuencia (UHF-EMF) son capaces de inducir una respuesta genotóxica en el tejido hematopoyético durante la embriogénesis a través de un mecanismo desconocido.

(E) Friedman J, Kraus S, Hauptman Y, Schiff Y, Seger R. Mecanismo de activación de ERK a corto plazo por campos electromagnéticos a frecuencias de teléfonos móviles. Biochem J. 405:559-568, 2007.

La exposición a campos electromagnéticos de microondas no térmicos generados por teléfonos móviles afecta la expresión de muchas proteínas. Este efecto sobre la transcripción y la estabilidad de las proteínas puede estar mediado por las cascadas de las proteínas quinasas activadas por mitógenos (MAPK), que sirven como vías de señalización centrales y gobiernan esencialmente todos los procesos celulares estimulados. De hecho, una exposición prolongada de las células a la irradiación de teléfonos móviles da como resultado la activación de las p38MAPK, así como de las ERK/MAPK. Aquí estudiamos el efecto inmediato de la irradiación sobre las cascadas de MAPK y descubrimos que las ERK, pero no las MAPK relacionadas con el estrés, se activan rápidamente en respuesta a varias frecuencias e intensidades. Utilizando inhibidores de la señalización, delineamos el mecanismo que está involucrado en esta activación. Descubrimos que el primer paso está mediado en la membrana plasmática por la NADH oxidasa, que genera rápidamente especies reactivas de oxígeno (ROS). Estas ROS luego estimulan directamente las metaloproteinasas de la matriz y les permiten escindir y liberar el EGF que se une a la heparina.

Este factor secretado activa el receptor EGF, que a su vez activa la cascada ERK. Por tanto, este estudio demuestra por primera vez un mecanismo molecular detallado por el cual la radiación electromagnética de los teléfonos móviles induce la activación de la cascada ERK y, por lo tanto, induce la transcripción y otros procesos celulares.

(NE) \*Furtado-Filho OV, Borba JB, Dallegrave A, Pizzolato TM, Henriques JA, Moreira JC, Saffi J. Efecto de la radiación electromagnética UHF de 950 MHz en biomarcadores de

Daño oxidativo, metabolismo de UFA y antioxidantes en hígados de ratas jóvenes de diferentes edades. *Int J Radiat Biol.* 90(2):159-168, 2014.

Objetivo: Evaluar el efecto de la radiación electromagnética de ultraalta frecuencia (UHF EMR) de 950 MHz sobre biomarcadores de daño oxidativo, así como verificar la concentración de ácidos grasos insaturados (UFA) y la expresión de la catalasa en hígados de ratas de diferentes edades. Materiales y métodos: Doce ratas fueron divididas equitativamente en dos grupos como controles (CR) y expuestas (ER), para cada edad (0, 6, 15 y 30 días). La exposición a la radiación duró media hora por día durante hasta 51 días (21 días de gestación y 6, 15 o 30 días de vida extrauterina). La tasa de absorción específica (SAR) varió de 1,3-

1,0 W/kg. El daño a lípidos, proteínas y ADN se verificó mediante sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS), carbonilos proteicos y cometas, respectivamente. Los UFA se determinaron mediante cromatografía de gases con un detector de ionización de llama. La expresión de catalasa se realizó mediante Western blotting. Resultados: Los neonatos presentaron niveles bajos de TBARS y concentraciones de UFA después de la exposición. No hubo diferencia de edad en la acumulación de carbonilos proteicos para ninguna edad. El daño al ADN de ER 15 o 30 días fue diferente.

Los neonatos expuestos mostraron una menor expresión de catalasa. Conclusiones: La radiación electromagnética de 950 MHz UHF no causa estrés oxidativo (EO), y no es genotóxica para los hígados de neonatos ni de ratas de 6 y 15 días de edad, pero modifica las concentraciones de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) en neonatos. Para ratas de 30 días, no se produce EO, pero sí es genotóxica para los hígados de ER a la irradiación corporal total.

(NE) Furtado-Filho OV, Borba JB, Maraschin T, Souza LM, Jose JA, Moreira CF, Saffi J. Efectos de la exposición crónica a la radiación electromagnética de frecuencia ultraalta de 950 MHz sobre el metabolismo de especies reactivas de oxígeno en la corteza cerebral derecha e izquierda de ratas jóvenes de diferentes edades. *Int J Radiat Biol.* 91:891-897, 2015.

OBJETIVO: Evaluar el efecto de la radiación electromagnética de ultra alta frecuencia (UHF-EMR) de 950 MHz sobre biomarcadores de daño oxidativo al ADN, proteínas y lípidos en la corteza cerebral izquierda (LCC) y la corteza cerebral derecha (RCC) de ratas neonatas y de 6 días de edad.

MATERIALES Y MÉTODOS: Doce ratas fueron divididas en dos grupos, controles (CR) y expuestas (ER), para cada edad (0 y 6 días). Se examinó el LCC y el RCC en ER y CR después de la exposición. La exposición a la radiación duró media hora por día durante hasta 27 días (durante todo el embarazo y 6 días postnatal). La tasa de absorción específica varió de 1,32 a 1,14 W/kg. El daño a los lípidos, proteínas y ADN fue verificado por sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico, proteínas carboniladas (CP) y cometas, respectivamente. La concentración de glucosa en la sangre periférica de las ratas fue medida por el Accu-Chek Active Kit debido al aumento de CP en el RCC. RESULTADOS: En los neonatos, no se detectó ninguna modificación de los biomarcadores evaluados. Por otro lado, hubo un aumento en los niveles de CP en el RCC del ER de 6 días de edad. Curiosamente, la concentración de glucosa en sangre disminuyó en este grupo.

CONCLUSIONES: Nuestros resultados indican que no existe genotoxicidad ni estrés oxidativo en neonatos y ratas de 6 días. Sin embargo, el RCC tuvo la concentración más alta de CP que no parece ser consecuencia del estrés oxidativo. Este estudio es el primero en demostrar que el uso de UHF-EMR causa diferentes respuestas de daño a las proteínas en el LCC y el RCC.

(E) Gajski G, Garaj-Vrhovac V. Efectos radioprotectores del veneno de abeja (*Apis mellifera*) contra el daño del ADN inducido por la radiación de microondas de 915 MHz en linfocitos de ratas Wistar: estudio in vitro. *Int J Toxicol.* 28(2):88-98, 2009.

El objetivo de este estudio es investigar el efecto radioprotector del veneno de abeja contra el daño del ADN inducido por la radiación de microondas de 915 MHz (tasa de absorción específica de 0,6 W/kg) en ratas Wistar. Los linfocitos de sangre completa de ratas Wistar se tratan con 1 microlitro de veneno de abeja 4 horas antes e inmediatamente antes de la irradiación. Se utilizan ensayos de cometa estándar y modificados con formamidopirimidina-ADN glicosilasa (Fpg) para evaluar el daño del ADN basal y oxidativo producido por especies reactivas de oxígeno. El veneno de abeja muestra una disminución del daño del ADN en comparación con las muestras irradiadas. Los parámetros del ensayo de cometa modificado con Fpg son estadísticamente diferentes de los controles, lo que hace que este ensayo sea más sensible y sugiere que el estrés oxidativo es un posible mecanismo de inducción de daño del ADN. Se ha demostrado que el veneno de abeja tiene un efecto radioprotector contra el daño del ADN basal y oxidativo. Además, el veneno de abeja no es genotóxico y no produce daño oxidativo en las bajas concentraciones utilizadas en este estudio.

(E) \*Garaj-Vrhovac V, Gajski G, Pažanin S, Sarolić A, Domijan AM, Flaž D, Peraica M. Evaluación del daño citogenético y el estrés oxidativo en personal expuesto ocupacionalmente a la radiación de microondas pulsada de equipos de radar marino. *Int J Hyg Environ Health.* 4(1):59-65, 2011.

Debido al aumento del uso de la radiación de microondas, existe la preocupación de sus efectos adversos en la sociedad actual. Teniendo esto en cuenta, el estudio se dirigió a los trabajadores expuestos ocupacionalmente a la radiación de microondas pulsada, originada por radares marinos. La intensidad del campo electromagnético se midió en las frecuencias asignadas de radar marino (3 GHz, 5,5 GHz y 9,4 GHz) y se determinaron los valores de tasa de absorción específica correspondientes. Los parámetros del ensayo del cometa y la prueba de micronúcleos se estudiaron tanto en los trabajadores expuestos como en los sujetos no expuestos correspondientes. Las diferencias entre la intensidad media de la cola (0,67 frente a 1,22) y el momento (0,08 frente a 0,16) como parámetros del ensayo del cometa y los parámetros de la prueba de micronúcleos (micronúcleos, puentes nucleoplásmicos y brotes nucleares) fueron estadísticamente significativas entre los dos grupos examinados, lo que sugiere que se produjeron alteraciones citogenéticas después de la exposición a microondas. Las concentraciones de glutatión y malondialdehído se midieron espectrofotométricamente y utilizando cromatografía líquida de alta resolución. La concentración de glutatión en el grupo expuesto fue significativamente menor que en los controles (1,24 frente a 0,53), mientras que la concentración de malondialdehído fue significativamente mayor (1,74 frente a 3,17), lo que indica estrés oxidativo. Los resultados sugieren que las microondas pulsadas del entorno de trabajo pueden ser la causa de alteraciones genéticas y celulares y que el estrés oxidativo puede ser uno de los posibles mecanismos de daño al ADN y a las células.

(E) \*Ghanbari M1 , Mortazavi SB1 , Khavanin A1 , Khazaei M2 Los efectos del teléfono móvil Ondas (banda GSM de 900 MHz) sobre parámetros espermáticos y capacidad antioxidante total en ratas. *Int J Fertil Steril.* 7(1):21-28, 2013.

ANTECEDENTES: Existe una enorme preocupación con respecto a los posibles efectos adversos de las microondas de los teléfonos celulares. Sin embargo, se han reportado resultados contradictorios sobre los efectos de estas ondas en el cuerpo. En el presente estudio, se investigó el efecto de las microondas de los teléfonos celulares sobre los parámetros del esperma y la capacidad antioxidante total con respecto a la duración de la exposición y la frecuencia de estas ondas.

MATERIALES Y MÉTODOS: Este estudio experimental se realizó en 28 ratas Wistar macho adultas (200-250 g). Los animales fueron asignados aleatoriamente a cuatro grupos (n = 7): i. control; ii. exposición de dos semanas a ondas simuladas de teléfonos celulares; iii. exposición de tres semanas a ondas simuladas de teléfonos celulares; y iv. exposición de dos semanas a ondas de antena de teléfonos celulares. En todos los grupos, el análisis de esperma se realizó con base en métodos estándar y determinamos la capacidad antioxidante total media del esperma de acuerdo con el método de capacidad reductora férrica del plasma (FRAP). Los datos se analizaron mediante ANOVA de una vía seguido de la prueba de Tukey utilizando el software SPSS versión 16. RESULTADOS: Los resultados indicaron que la viabilidad, la motilidad y la capacidad antioxidante total de los espermatozoides en todos los grupos de exposición disminuyeron significativamente en comparación con el grupo de control ( $p < 0,05$ ). El aumento de la duración de la exposición de 2 a 3 semanas provocó una disminución estadísticamente significativa de la viabilidad y la motilidad de los espermatozoides ( $p < 0,05$ ). CONCLUSIÓN: La exposición a las ondas de los teléfonos móviles puede reducir la viabilidad y la motilidad de los espermatozoides en ratas. Estas ondas también pueden reducir la capacidad antioxidante total de los espermatozoides en ratas y provocar estrés oxidativo.

---

(E) Ghazizadeh V, Naziroğlu M. La radiación electromagnética (Wi-Fi) y la epilepsia inducen la entrada de calcio y la apoptosis a través de la activación del canal TRPV1 en el hipocampo y el ganglio de la raíz dorsal de ratas. *Metab Brain Dis.* 3 de mayo de 2014. [Publicado electrónicamente antes de su publicación impresa]

Las tasas de incidencia de la epilepsia y el uso de Wi-Fi en todo el mundo han ido aumentando. TRPV1 es un canal permeable al  $Ca^{2+}$  y no selectivo, regulado por el calor nocivo, el estrés oxidativo y la capsaicina (CAP). La hipertermia y los efectos oxidantes del Wi-Fi pueden inducir la apoptosis y la entrada de  $Ca^{2+}$  a través de la activación del canal TRPV1 en la epilepsia. Por lo tanto, probamos los efectos de la exposición al Wi-Fi (2,45 GHz) sobre la afluencia de  $Ca^{2+}$ , el estrés oxidativo y la apoptosis a través del canal TRPV1 en el ganglio de la raíz dorsal (DRG) murino y el hipocampo de ratas epilépticas inducidas con pentilentetrazol (PTZ). Las ratas del presente estudio se dividieron en dos grupos: controles y PTZ. Los grupos PTZ se dividieron en dos subgrupos, a saber, PTZ + Wi-Fi y PTZ + Wi-Fi + capsazepina (CPZ). Las neuronas del hipocampo y del DRG se aislaron recientemente de las ratas. El DRG y el hipocampo en los grupos PTZ + Wi-Fi y PTZ + Wi-Fi + CPZ fueron expuestos a Wi-Fi durante 1 hora antes de la estimulación con CAP. Los valores de  $Ca^{2+}$  libre citosólico, producción de especies reactivas de oxígeno, apoptosis, despolarización de la membrana mitocondrial, caspasa-3 y -9 en el hipocampo fueron mayores en el grupo PTZ que en el control, aunque los valores de viabilidad celular disminuyeron. La exposición a Wi-Fi indujo efectos adicionales en el aumento de  $Ca^{2+}$  citosólico. Sin embargo, el pretratamiento de las neuronas con CPZ da como resultado una protección contra la entrada de  $Ca^{2+}$  inducida por la epilepsia, la apoptosis y los daños oxidativos. En los resultados de los experimentos de fijación de parche de célula completa, el tratamiento de DRG con antagonistas del canal de  $Ca^{2+}$  [thapsigargin, verapamil + diltiazem, 2-APB, MK-801] indicó que la exposición a Wi-Fi indujo la entrada de  $Ca^{2+}$  a través de los canales TRPV1. En conclusión, la epilepsia y el Wi-Fi en nuestro modelo experimental están involucrados en la entrada de  $Ca^{2+}$  y la muerte del hipocampo y DRG inducida por estrés oxidativo a través de la activación de los canales TRPV1, y la modulación negativa de la actividad de este canal por el pretratamiento con CPZ puede explicar la actividad neuroprotectora contra el estrés oxidativo.

(NE) Gläser K, Rohland M, Kleine-Ostmann T, Schrader T, Stopper H, Hintzsche H. Efecto de la radiación de radiofrecuencia en las células madre hematopoyéticas humanas. *Radiat Res.* 186(5):455-465, 2016.

La exposición a los campos electromagnéticos en el rango de radiofrecuencia es omnipresente, debido principalmente al uso mundial de dispositivos de comunicación móvil. Con la mejora de las tecnologías y la asequibilidad, el número de suscripciones a teléfonos celulares continúa aumentando. Por lo tanto, el efecto potencial sobre los sistemas biológicos a niveles de radiación de baja intensidad es de gran interés. Si bien se han realizado varios estudios para investigar esta cuestión, no se ha llegado a un consenso sobre la base de los resultados.

El objetivo de este estudio fue dilucidar hasta qué punto las células del sistema hematopoyético, en particular las células madre hematopoyéticas humanas (CMH), se vieron afectadas por la radiación de los teléfonos móviles. Irradiamos células CMH y HL-60 a frecuencias utilizadas en las principales tecnologías, GSM (900 MHz), UMTS (1.950 MHz) y LTE (2.535 MHz) durante un período corto (4 h) y un período largo (20 h/66 h), y con cinco intensidades diferentes que oscilaban entre 0 y 4 W/kg de tasa de absorción específica (SAR). Los puntos finales estudiados incluyeron apoptosis, estrés oxidativo, ciclo celular, daño del ADN y reparación del ADN. En todos menos uno de estos puntos finales, no detectamos un efecto claro de la radiación del teléfono móvil; la única alteración se encontró al cuantificar el daño del ADN. La exposición de las CMH a la modulación GSM durante 4 h provocó una disminución pequeña pero estadísticamente significativa del daño del ADN en comparación con la exposición simulada. Hasta donde sabemos, este es el primer estudio publicado en el que se investigaron los posibles efectos (p. ej., genotoxicidad o influencia en la tasa de apoptosis) de la radiación de radiofrecuencia en las células madre hematopoyéticas. Los campos electromagnéticos de radiofrecuencia no afectaron a las células del sistema hematopoyético, en particular a las células madre hematopoyéticas, en las condiciones experimentales dadas.

(E) Grigor'ev IuG, Mikhailov VF, Ivanov AA, Mal'tsev VN, Ulanova AM, Stavrakova NM, Nikolaeva IA, Grigor'ev OA. [Procesos autoinmunes después de una exposición prolongada a campos electromagnéticos de bajo nivel (resultados de un experimento). Parte 4. Manifestación de la reacción de estrés intracelular oxidativo después de la exposición prolongada a campos electromagnéticos no térmicos de ratas] *Radiats Biol Radioecol.* 50(1):22-27, 2010. [Artículo en ruso]

Este artículo presenta los resultados del estudio de los efectos de la exposición prolongada a microondas de ratas a niveles bajos. Las ratas fueron expuestas en campo lejano a campos de onda continua de 2450 MHz que proporcionaban una densidad de potencia incidente en las jaulas de 500 microW/cm<sup>2</sup> durante 7 horas diarias durante un total de 30 días, lo que resultó en una SAR de cuerpo entero de 0,16 +/- 0,04 W/kg. Se formaron tres grupos ("exposición a campos electromagnéticos", "exposición simulada" y control en jaula), cada uno de ellos compuesto por 16 ratas. Los anticuerpos circulantes (IgA, IgG e IgM) dirigidos contra 16 sustancias químicas se evaluaron en suero codificado de cada grupo de ratas mediante análisis enzimático multiplicado (prueba ELISA). Una mayor cantidad de compuestos resultantes de la interacción de aminoácidos con óxido nítrico (NO) o sus derivados (NO<sub>2</sub>-Tirosina, NO-Arginina, NO-Cisteína + NO-Albúmina de suero bovino, NJ-Metionina + NO-Asparagina + No-Histidina, NO-BTripanhan + NJ-Tirosina), ácidos grasos de cadena pequeña, ácidos grasos hidroxilados, ácido palmítico/mirístico/oleico, AZE (producto de oxidación de ácidos grasos).

Se encontró una concentración de ácidos grasos poliinsaturados (PAG) en el suero sanguíneo de ratas expuestas a campos electromagnéticos. Como norma, se observaron anticuerpos contra antígenos conjugados en el caso de IgM, rara vez se observaron anticuerpos contra IgG y no se observaron anticuerpos contra IgA. Los niveles de anticuerpos fueron más altos el día 7 después de la exposición en comparación con los del día 14 después de la exposición.

(E) Gulati S, Yadav A, Kumar N, Priya K, Aggarwal NK, Gupta R. Caracterización fenotípica y genotípica del sistema enzimático antioxidante en la población humana expuesta a la radiación de torres de telefonía móvil. *Mol Cell Biochem.* 440:1-9, 2018.

En la era actual, los teléfonos celulares han cambiado por completo el estilo de vida de los seres humanos y se han convertido en una parte esencial de sus vidas. El número de teléfonos celulares y torres de telefonía móvil está aumentando a pesar de sus desventajas. Estas torres de telefonía móvil transmiten radiación de forma continua sin interrupción, por lo que las personas que viven a cientos de metros de la torre reciben una señal de 10 000 a 10 000 000 veces más fuerte que la necesaria para la comunicación móvil. En el presente estudio, hemos examinado la actividad de la enzima superóxido dismutasa (SOD), la actividad de la enzima catalasa (CAT), el ensayo de peroxidación lipídica y el efecto del polimorfismo funcional de los genes antioxidantes SOD y CAT contra el estrés oxidativo inducido por torres de telefonía móvil en la población humana. A partir de nuestros resultados, hemos encontrado un valor medio significativamente menor de la actividad de la enzima superóxido dismutasa de manganeso (MnSOD), la actividad de la enzima catalasa (CAT) y un alto valor del ensayo de peroxidación lipídica en los sujetos expuestos en comparación con los sujetos de control. Polimorfismos en los genes antioxidantes MnSOD y CAT

Contribuyó significativamente a su fenotipo. En el presente estudio, se observó una asociación significativa del polimorfismo genético de los genes antioxidantes con el daño genético en la población humana expuesta a las radiaciones emitidas por torres de telefonía móvil.

(NE) Gulati, S, Kosik, P, Durdik, M, Skorvaga, M., Jakl, L., Markova, E., Belyaev, I. (2020). Efectos de diferentes señales UMTS de telefonía móvil sobre el ADN, la apoptosis y el estrés oxidativo en linfocitos humanos. *Environ Pollut.* 267:115632. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115632.

(VT, AE, IFR)

Diferentes informes científicos han sugerido un vínculo entre la exposición a la radiación de radiofrecuencia (RF) de las comunicaciones móviles y la inducción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y daños en el ADN, mientras que otros estudios no han encontrado tal vínculo. Sin embargo, los estudios disponibles no son directamente comparables porque se realizaron con diferentes parámetros de exposición, incluida la frecuencia portadora de la señal de RF, que se demostró que es crítica para la aparición de los efectos de RF. Por primera vez, analizamos comparativamente los efectos genotóxicos de las señales UMTS en diferentes canales de frecuencia utilizados por los teléfonos móviles 3G (1923, 1947,47 y 1977 MHz).

Se examinó la genotoxicidad en linfocitos humanos expuestos a RF durante 1 h y 3 h utilizando criterios de valoración complementarios como la inducción de ROS mediante citometría de flujo de imágenes, daño del ADN mediante ensayo de cometa alcalino, mutaciones en el gen TP53 mediante ensayo RSM, genes de fusión preleucémicos (PFG) mediante RT-qPCR y apoptosis mediante citometría de flujo. No se revelaron efectos de la exposición a RF sobre ROS, apoptosis, PFG y mutaciones en el gen TP53 independientemente del UMTS.

Se encontró una frecuencia de 100 MHz, mientras que se encontró una inhibición de la expresión de ARN en masa. Por otro lado, encontramos una inducción relativamente pequeña pero estadísticamente significativa de daño al ADN en dependencia del canal de frecuencia UMTS con un efecto máximo a 1977,0 MHz. Nuestros datos respaldan la idea de que cada señal específica utilizada en la comunicación móvil debe probarse en experimentos especialmente diseñados para descartar que la exposición prolongada a RF de la comunicación móvil induzca efectos genotóxicos y afecte la salud de la población humana.

(E) Guler G, Tomruk A, Ozgur E, Seyhan N. Efecto de la radiación de radiofrecuencia sobre el daño al ADN y a los lípidos en conejas gestantes y no gestantes y sus crías. *Gen Physiol Biophys.* 29(1):59-66, 2010.

Las preocupaciones de las personas sobre los posibles efectos adversos para la salud de la radiación de radiofrecuencia (RFR) generada por los teléfonos móviles, así como sus transmisores de apoyo (estaciones base), han aumentado notablemente. El efecto de la RFR en personas hipersensibles, como las mujeres embarazadas y sus fetos en desarrollo, y las personas mayores es otra fuente de preocupación que debe tenerse en cuenta. En este estudio, se investigaron el daño oxidativo del ADN y los niveles de peroxidación lipídica en el tejido cerebral de conejas blancas de Nueva Zelanda preñadas y no preñadas y sus crías expuestas a RFR. Se estudiaron conejas de trece meses de edad en cuatro grupos: control no preñadas, expuestas a RFR no preñadas, control preñadas y expuestas a RFR preñadas. Se las expuso a RFR (GSM de 1800 MHz; 14 V/m como nivel de referencia) durante 15 min/día durante 7 días. Se analizaron los niveles de malondialdehído (MDA) y 8-hidroxi-2'-desoxiguanosina (8-OHdG). Los niveles de MDA y 8-OHdG en animales no gestantes y gestantes expuestos a RFR aumentaron significativamente con respecto a los controles ( $p < 0,001$ , prueba de Mann-Whitney). No se encontraron diferencias en los recién nacidos ( $p > 0,05$ , prueba de Mann-Whitney). Existen muy pocos estudios experimentales sobre los efectos de la RFR durante el embarazo. Sería beneficioso aumentar el número de estos estudios para establecer estándares internacionales para la protección de las mujeres embarazadas frente a la RFR.

(E) \*Güler G, Tomruk A, Ozgur E, Sahin D, Sepici A, Altan N, Seyhan N. Efecto de la radiación de radiofrecuencia sobre el daño al ADN y a los lípidos en crías de conejos macho y hembra. *Int J Radiat Biol.* 88(4):367-373, 2012.

OBJETIVO: Nuestro objetivo fue diseñar una exposición prolongada a la radiación de radiofrecuencia (RF) e investigar en un modelo animal, los posibles efectos biológicos de la radiación de RF en las etapas de desarrollo en curso de los niños desde la concepción hasta la infancia. MATERIALES Y MÉTODOS: Se utilizó un total de 72 conejos blancos hembras y machos de Nueva Zelanda de un mes de edad. Las hembras fueron expuestas a la radiación de RF durante 15 min/día durante 7 días, mientras que los machos fueron expuestos al mismo nivel de radiación durante 15 min/día durante 14 días. Treinta y seis conejos bebés hembras y 36 conejos machos se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos: Grupo I [Exposición intrauterina (IU) (-); Exposición extrauterina (UE) (-)]: Exposición simulada, lo que significa que los conejos fueron expuestos a señales de RF similares al Sistema Global para Telecomunicaciones Móviles (GSM) de 1800 MHz ni en los períodos IU ni en los períodos UE. Grupo II [Exposición IU (-); Exposición UE (+)]: Los conejos bebés fueron expuestos a señales de RF de tipo GSM de 1800 MHz cuando alcanzaron un mes de edad. Grupo III [Exposición IU (+); Exposición UE (-)]: Los conejos bebés fueron expuestos a señales de RF de tipo GSM de 1800 MHz en el período UI (entre el día 15 y el 22 del período gestacional). Grupo IV [Exposición IU (+); Exposición UE (+)]: Los conejos bebés fueron expuestos a 1800 MHz

Señales de RF similares a GSM tanto en el período IU (entre los días 15 y 22 del período gestacional) como en el período EU cuando alcanzaron un mes de edad. Se realizó un análisis bioquímico para peroxidación lipídica y daño al ADN en los hígados de todos los conejos. RESULTADOS: Los niveles de peroxidación lipídica en los tejidos hepáticos de conejos lactantes machos y hembras aumentaron bajo la exposición a la radiación de RF. También se encontró que los niveles de 8-hidroxi-2'-desoxiguanosina (8-OHdG) en el hígado de conejos hembra expuestos a radiación de RF aumentaron en comparación con los niveles de bebés no expuestos. Sin embargo, no hubo cambios en los niveles de 8-OHdG en el hígado de conejos machos bajo exposición a RF. CONCLUSIÓN: En consecuencia, se puede concluir que la radiación de RF similar a GSM puede inducir cambios bioquímicos al aumentar los ataques de radicales libres a biomoléculas estructurales en el conejo como modelo animal experimental.

---

(E) Gürlér HS, Bilgici B, Akar AK, Tomak L, Bedir A. Aumento de la oxidación del ADN (8-Oxidación de proteínas (AOPP) y OHdG por campos electromagnéticos de bajo nivel (2,45 GHz) en cerebro de rata y efecto protector del ajo. Int J Radiat Biol. 90:892-896, 2014.

Objetivo: Investigar el daño oxidativo y el efecto protector del ajo en ratas expuestas a niveles bajos de campos electromagnéticos (CEM) a radiación de microondas (MWR) de 2,45 GHz.

Métodos: Treinta y seis ratas Wistar se dividieron en tres grupos. El grupo I fue el grupo de control y no estuvo expuesto a campos electromagnéticos. Los grupos II y III estuvieron expuestos a campos electromagnéticos de bajo nivel ( $3,68 \pm 0,36$  V/m) a una frecuencia de 2,45 GHz durante 1 hora al día durante 30 días consecutivos. Se administró diariamente 500 mg/kg de ajo al grupo III durante el período de estudio. Al final del estudio, se administraron sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS), productos proteicos de oxidación avanzada (AOPP) y 8-OHdG en tejido cerebral y muestras de sangre.

Resultados: La exposición a un nivel bajo de CEM aumentó el nivel de 8-OHdG tanto en el plasma como en el tejido cerebral, mientras que aumentó el nivel de AOPP solo en el plasma. El ajo impidió el aumento del nivel de 8-OHdG en el tejido cerebral y los niveles de AOPP en plasma. Conclusiones: Se puede concluir que los CEM de bajo nivel a 2,45 GHz MWR aumentan el daño del ADN tanto en los tejidos cerebrales como en el plasma de las ratas, mientras que aumentan la oxidación de proteínas solo en el plasma. También se puede argumentar que el uso de ajo disminuye estos efectos.

(E) Guney M, Ozguner F, Oral B, Karahan N, Mungan T. Cambios histopatológicos inducidos por radiofrecuencia de 900 MHz y estrés oxidativo en el endometrio de rata: protección mediante vitaminas E y C. Toxicol Ind Health. 23(7):411-420, 2007.

Existen numerosos informes sobre los efectos de la radiación electromagnética (REM) en varios sistemas celulares. Los mecanismos de los efectos adversos de la REM indican que las especies reactivas de oxígeno (ROS) pueden desempeñar un papel en los efectos biológicos de esta radiación. Los objetivos de este estudio fueron examinar el estrés oxidativo inducido por el teléfono móvil de 900 MHz que promueve la producción de ROS e investigar el papel de las vitaminas E y C, que tienen propiedades antioxidantes, en el tejido endometrial contra el posible deterioro endometrial inducido por el teléfono móvil de 900 MHz en ratas. Los animales se agruparon aleatoriamente (ocho cada uno) de la siguiente manera: 1) Grupo de control (sin estrés y REM, Grupo I), 2) ratas operadas simultáneamente que permanecieron sin exposición a REM (dispositivo de exposición apagado, Grupo II), 3) ratas expuestas a 900 MHz 4) un grupo expuesto a EMR de 900 MHz + tratado con vitaminas (grupo EMR + Vit, Grupo IV). Se aplicó una EMR de 900 MHz a los grupos EMR y EMR + Vit 30 min/día, durante 30 días, utilizando un dispositivo de exposición experimental. Endometrio

Los niveles de óxido nítrico (NO, un producto oxidante) y malondialdehído (MDA, un índice de peroxidación lipídica), aumentaron en ratas expuestas a EMR mientras que la combinación de vitaminas E y C causó una reducción significativa en los niveles de NO y MDA. Asimismo, las actividades de superóxido dismutasa endometrial (SOD), catalasa (CAT) y glutatión peroxidasa (GSH-Px) disminuyeron en animales expuestos a EMR mientras que las vitaminas E y C causaron un aumento significativo en las actividades de estas enzimas antioxidantes. En el grupo EMR, los cambios histopatológicos en el endometrio, la apoptosis difusa y severa estaba presente en las células epiteliales y glandulares de la superficie endometrial y las células del estroma. Se observó infiltración difusa de leucocitos y linfocitos eosinófilos en el estroma endometrial mientras que la combinación de vitaminas E y C causó una disminución significativa en estos efectos de EMR. Se concluye que el daño endometrial oxidativo juega un papel importante en el deterioro endometrial inducido por teléfonos móviles de 900 MHz y la modulación del estrés oxidativo con vitaminas E y C reduce el daño endometrial inducido por teléfonos móviles de 900 MHz tanto a nivel bioquímico como histológico.

---

(E) \*Hamzany Y, Feinmesser R, Shpitzer T, Mizrachi A, Hilly O, Hod R, Bahar G, Otradnov I, Gavish M, Nagler RM. ¿Es la saliva humana un indicador de los efectos adversos para la salud del uso de teléfonos móviles? Antioxid Redox Signal. 18(6):622-627, 2013.

El aumento del uso de teléfonos móviles genera cada vez más preocupación por los efectos nocivos de la radiación electromagnética no ionizante de radiofrecuencia en los tejidos humanos situados cerca del oído, donde los teléfonos se suelen sostener durante largos periodos de tiempo. Estudiamos a 20 sujetos del grupo de teléfonos móviles que tenían una duración media de uso de teléfonos móviles de 12,5 años (rango 8-15) y un tiempo medio de uso de 29,6 h al mes (rango 8-100). Los sujetos sordos sirvieron como controles. Comparamos los resultados salivales (secreción, índices de daño oxidativo, caudal y composición) entre usuarios de teléfonos móviles y no usuarios. Informamos de un aumento significativo de todos los índices de estrés oxidativo salival estudiados en usuarios de teléfonos móviles. El flujo salival, la proteína total, la albúmina y la actividad de la amilasa disminuyeron en los usuarios de teléfonos móviles. Estas observaciones conducen a la hipótesis de que el uso de teléfonos móviles puede provocar estrés oxidativo y modificar la función salival.

(E) \*Hancı H, Odacı E, Kaya H, Aliyazıcıoğlu Y, Turan I, Demir S, Colakoğlu S. El efecto de la exposición prenatal a un campo electromagnético de 900 MHz en el testículo de una rata de 21 días. Reprod Toxicol. 42:203-209, 2013.

El objetivo de este estudio fue investigar el efecto de la exposición a un campo electromagnético (CEM) de 900 MHz en el término prenatal en el testículo de rata de 21 días. Las ratas preñadas se dividieron en grupos de control (CG) y CEM (CEMG). El CEMG fue expuesto a CEM de 900 MHz durante los días 13-21 de embarazo. Las ratas CG recién nacidas se obtuvieron del CG y las ratas EMFG recién nacidas (NEMFG) del EMFG. Los testículos se extrajeron el día 21 posnatal. Se compararon los niveles de peroxidación lipídica y oxidación del ADN, el índice apoptótico y las puntuaciones de daño histopatológico. Las ratas NEMFG exhibieron irregularidades en la membrana basal y el epitelio del túbulo seminífero, células germinales inmaduras en el lumen y un diámetro disminuido en los túbulos seminíferos y el grosor del epitelio. El índice apoptótico, la peroxidación lipídica y la oxidación del ADN fueron mayores en las ratas NEMFG que en las NCG. Los testículos de ratas de 21 días de edad expuestos a campos electromagnéticos de 900 MHz durante el período prenatal pueden verse afectados negativamente y este efecto persiste después del nacimiento.

(E) Hancı H, Türedi S, Topal Z, Mercantepe T, Bozkurt I, Kaya H, Ersöz Ş, Ünal B, Odacı E. ¿Puede la exposición prenatal a un campo electromagnético de 900 MHz afectar la morfología del bazo y el timo, y alterar los biomarcadores de daño oxidativo en 21-  
¿Ratas macho de un día de edad? Biotech Histochem. 19 de mayo de 2015:1-9. [Epub antes de impresión]

Investigamos los efectos de un campo electromagnético (CEM) de 900 megahercios (MHz), aplicado durante el período prenatal, en el bazo y el timo de crías de rata macho de 21 días de edad. Las ratas Sprague-Dawley preñadas se dividieron en grupos de control y CEM. Aplicamos CEM de 900 MHz durante 1 h/día al grupo CEM de ratas preñadas. Las crías de rata macho recién nacidas fueron separadas de sus madres y sacrificadas el día 21 posnatal. Se extirparon y examinaron los tejidos del bazo y el timo. En comparación con el grupo de control, los niveles de malondialdehído en el tejido del timo fueron significativamente más altos en el grupo expuesto a CEM, mientras que los niveles de glutatión disminuyeron significativamente. Se observaron mayores niveles de malondialdehído y glutatión en el tejido esplénico de las ratas expuestas a CEM, mientras que se produjo una disminución significativa en los valores de superóxido dismutasa en comparación con los controles. La microscopía electrónica de transmisión mostró cambios patológicos en la morfología celular de los tejidos tímico y esplénico de ratas recién nacidas expuestas a campos electromagnéticos. La exposición a campos electromagnéticos de 900 MHz durante el período prenatal puede provocar cambios patológicos y bioquímicos que pueden comprometer el desarrollo del timo y el bazo de ratas macho.

(E) Hässig M, Jud F, Naegeli H, Kupper J, Spiess BM. Prevalencia de cataratas nucleares en terneros suizos y su posible asociación con estaciones base de antenas de telefonía móvil. Schweiz Arch Tierheilkd. 151(10):471-478, 2009. (LI)

El objetivo de este estudio fue evaluar la prevalencia de catarata nuclear en terneros y dilucidar un posible impacto de las estaciones base de telefonía móvil (MPBS). Para este experimento se realizó un estudio de cohorte. Se realizó un seguimiento de la ubicación geográfica de cada madre y su ternero desde la concepción durante el período fetal hasta el sacrificio. Se hizo especial hincapié en el primer trimestre de gestación (organogénesis). Se evaluaron las actividades de antioxidantes protectores seleccionados (superóxido dismutasa, catalasa, glutatión peroxidasa [GPx]) en el humor acuoso del ojo para evaluar el estado redox. De 253 terneros, 79 (32 %) tenían diversos grados de catarata nuclear, pero solo 9 (3,6 %) terneros tenían catarata nuclear grave. Los resultados demuestran una relación entre la ubicación de los terneros con cataratas nucleares en el primer trimestre de gestación y la fuerza de las antenas. El número de antenas en un radio de 100 a 199 metros se asoció con el estrés oxidativo y hubo una asociación entre el estrés oxidativo y la distancia al MPBS más cercano. El estrés oxidativo aumentó en los ojos con cataratas (OR por kilómetro: 0,80, intervalo de confianza del 95 % 0,62, 0,93). No se ha demostrado que las antenas realmente afecten al estrés. Las estadísticas de Hosmer-Lemeshow mostraron una precisión del 100 % en casos negativos con baja radiación, y solo del 11,11 % en casos positivos con alta radiación. Esto refleja que existen muchas otras posibilidades de catarata nuclear además de MPBS. Se indican más estudios sobre la influencia de los campos electromagnéticos durante el desarrollo embrionario de animales o personas en riesgo.

(E) Hässig M, Wullschleger M, Naegeli HP, Kupper J, Spiess B, Kuster N, Capstick M, Murbach M. Influencia de la radiación no ionizante de las estaciones base en la actividad de redox

Proteínas en bovinos. BMC Vet Res. 19 de junio de 2014;10(1):136. [Publicación electrónica antes de la impresión]

**ANTECEDENTES:** La influencia de los campos electromagnéticos en la salud de los seres humanos y los animales sigue siendo un tema intensamente debatido e investigado científicamente (Prakt Tierarzt 11:15-20, 2003; Umwelt Medizin Gesellschaft 17:326-332, 2004; J Toxicol Environment Health, Part B 12:572-597, 2009). Estamos rodeados de numerosos campos electromagnéticos de intensidad variable, procedentes de equipos electrónicos y sus cables de alimentación, de líneas eléctricas de alta tensión y de antenas de radio, televisión y comunicaciones móviles. En particular, estas últimas son las que causan controversia, ya que a todo el mundo le gusta tener una buena recepción móvil en cualquier momento y en cualquier lugar, mientras que nadie quiere tener una antena de estación base de este tipo cerca.

**RESULTADOS:** En este experimento, la radiación no ionizante (NIR) ha provocado cambios en las actividades enzimáticas. Algunas enzimas fueron desactivadas, otras activadas por la NIR. Además, se observaron patrones de comportamiento individuales. Mientras que algunas vacas reaccionaron a la NIR, otras no reaccionaron en absoluto, o incluso de manera inversa. **CONCLUSIÓN:** Los presentes resultados coinciden con la información de la literatura, según la cual la NIR conduce a cambios en las proteínas redox, y que hay individuos que son sensibles a la radiación y otros que no lo son. Sin embargo, esto último no se pudo atribuir de manera distintiva: hay vacas que reaccionan claramente con una enzima mientras que no reaccionan en absoluto con otra enzima, o incluso a la inversa. El enfoque del estudio de probar diez vacas cada diez veces durante tres fases ha demostrado ser adecuado. Sin embargo, los estudios futuros deberían establecer la fase posterior a la exposición más adelante.

(E) HaticeŞ. Gürler, Birşen Bilgici, Ayşegül K. Akar, Leman Tomak y Abdülkerim Bedir. Aumento de la oxidación del ADN (8-OHdG) y la oxidación de proteínas (AOPP) por un campo electromagnético de bajo nivel (2,45 GHz) en el cerebro de rata y efecto protector del ajo.

Revista internacional de biología de la radiación. Publicado en línea el 4 de agosto de 2014.

**Objetivo:** Investigar el daño oxidativo y el efecto protector del ajo en ratas expuestas a niveles bajos de campos electromagnéticos (CEM) a radiación de microondas (MWR) de 2,45 GHz.

**Métodos:** Treinta y seis ratas Wistar se dividieron en tres grupos. El grupo I fue el grupo de control y no estuvo expuesto a campos electromagnéticos. Los grupos II y III estuvieron expuestos a campos electromagnéticos de bajo nivel ( $3,68 \pm 0,36$  V/m) a 2,45 GHz MWR durante 1 hora/día durante 30 días consecutivos. Se administró diariamente 500 mg/kg de ajo al grupo III durante el período de estudio. Al final del estudio, se administraron sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS), productos proteicos de oxidación avanzada (AOPP) y 8-

Se investigaron los niveles de hidroxidesoxiguanosina (8-OHdG) en tejido cerebral y muestras de sangre.

**Resultados:** La exposición a un nivel bajo de CEM aumentó el nivel de 8-OHdG tanto en el plasma como en el tejido cerebral, mientras que aumentó el nivel de AOPP solo en el plasma. El ajo impidió el aumento del nivel de 8-OHdG en el tejido cerebral y los niveles de AOPP en plasma. **Conclusiones:** Se puede concluir que los CEM de bajo nivel a 2,45 GHz MWR aumentan el

daño del ADN tanto en los tejidos cerebrales como en el plasma de las ratas, mientras que aumentan la oxidación de proteínas solo en el plasma. También se puede argumentar que el uso de ajo disminuye estos efectos.

(E) Hernández-Morales M, Shang T, Chen J, Han V, Liu C. La oxidación lipídica inducida por ondas de radiofrecuencia y mediada por el hierro de la ferritina provoca la activación de los canales iónicos marcados con ferritina. Cell Rep. 2020 30(10):3250-3260.e7. doi: 10.1016/j.celrep.2020.02.070.

Un método de magnetogenética utiliza ondas de radiofrecuencia (RF) para activar canales de potencial transitorio del receptor (TRPV1 y TRPV4) que están acoplados a las ferritinas celulares. Los mecanismos subyacentes a este efecto no están claros y son controvertidos.

Los cálculos teóricos sugieren que el calor producido por los campos de RF es probablemente órdenes de magnitud más débil que el necesario para la activación del canal. Utilizando el sistema FeRIC (Ferritin iron Redistribution to Ion Channels), hemos descubierto un mecanismo de activación de los canales marcados con ferritina a través de una vía bioquímica iniciada por la alteración de la ferritina por RF y mediada por el hierro asociado a la ferritina. Demostramos que, en células que expresan canales TRPVFeRIC, la RF aumenta los niveles del depósito de hierro lábil de una manera dependiente de la ferritina. El hierro libre participa en reacciones químicas, produciendo especies reactivas de oxígeno y lípidos oxidados que finalmente activan los canales TRPVFeRIC. Esta vía bioquímica predice una activación inducida por RF similar de otros canales TRP sensibles a los lípidos y puede guiar futuros diseños magnetogenéticos.

(E) Hidisoglu E, Kantar Gok D, Er H, Akpinar D, Uysal F, Akkoyunlu G, Ozen S, Agar A, Yargicoglu P. Los campos electromagnéticos de 2100 MHz tienen diferentes efectos sobre los potenciales evocados visuales y el estado oxidante/antioxidante según la duración de la exposición. *Brain Res.* 1635:1-11, 2016.

El propósito del presente estudio fue investigar los efectos de la duración del campo electromagnético (CEM) de 2100 MHz sobre los potenciales evocados visuales (PEV) y evaluar la peroxidación lipídica (LPO), la producción de óxido nítrico (NO) y el estado antioxidante de ratas expuestas a CEM.

Las ratas fueron asignadas aleatoriamente a los siguientes grupos: ratas simuladas (S1 y S10) y ratas expuestas a 2100-MHz EMF (E1 y E10) durante 2 h/día durante 1 o 10 semanas, respectivamente. Al final de los períodos experimentales, se registraron los VEP bajo anestesia. Los niveles de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) y 4-hidroxi-2-nonenal (4-HNE) cerebrales disminuyeron significativamente en el E1, mientras que aumentaron en el E10 en comparación con sus grupos de control. Mientras que las actividades de catalasa cerebral (CAT), glutatión peroxidasa (GSH-Px) y los niveles de NO y glutatión (GSH) aumentaron significativamente en el E1, se detectó una reducción de la actividad de superóxido dismutasa (SOD) en el mismo grupo en comparación con el S1. Por el contrario, se observaron disminuciones de las actividades de CAT, GSH-Px y niveles de NO en el E10 en comparación con el S10. Las latencias de todos los componentes de los VEP se acortaron en el E1 en comparación con el S1, mientras que las latencias de todos los componentes de los VEP, excepto P1, se prolongaron en el E10 en comparación con el S10. Se observó una correlación positiva entre todas las latencias de los VEP y los valores de TBARS y 4-HNE cerebrales.

En consecuencia, se podría concluir que los diferentes efectos de los campos electromagnéticos sobre los VEP dependen de la duración de la exposición. Además, nuestros resultados indicaron que los campos electromagnéticos a corto plazo podrían proporcionar efectos protectores, mientras que los campos electromagnéticos a largo plazo podrían tener un efecto adverso sobre los VEP y el estado oxidante/antioxidante.

(NE) Hong MN, Kim BC, Ko YG, Lee YS, Hong SC, Kim T, Pack JK, Choi HD, Kim N, Lee JS. Efectos de la exposición a la radiación de radiofrecuencia de 837 y 1950 MHz sola o combinada sobre el estrés oxidativo en células MCF10A. *Bioelectromagnetism.* 33(7):604-611, 2012.

El objetivo de este estudio fue determinar si la exposición a una o varias frecuencias de radiación de radiofrecuencia (RF) podría inducir estrés oxidativo en cultivos celulares.

Se realizaron experimentos con células epiteliales mamarias humanas MCF10A a una sola frecuencia (837 MHz solo o 1950 MHz solo) o a múltiples frecuencias (837 y 1950 MHz) a valores de tasa de absorción específica (SAR) de 4 W/kg durante 2 h. Durante el período de exposición, la temperatura en la cámara de exposición se mantuvo isotérmica. Los niveles intracelulares de especies reactivas de oxígeno (ROS), la actividad enzimática antioxidante de la superóxido dismutasa (SOD) y la relación de glutatión reducido/oxidado (GSH/GSSG) no mostraron alteraciones estadísticamente significativas como resultado de exposiciones a radiación de RF únicas o múltiples. Por el contrario, las células expuestas a radiación ionizante, utilizadas como control positivo, mostraron cambios evidentes en todos los puntos finales biológicos medidos. Estos resultados indican que la exposición a radiación de RF única o múltiple no provocó estrés oxidativo en células MCF10A en nuestras condiciones de exposición.

(NE) Hook, GJ, Spitz, DR, Sim, JE, Higashikubo, R., Baty, JD, Moros, EG y Roti Roti, JL Evaluación de parámetros de estrés oxidativo después de la exposición in vitro a campos de radiación de radiofrecuencia modulados por FMCW y CDMA. Radiat. Res. 162, 497–504, 2004.

El objetivo de este estudio fue determinar si la radiación de radiofrecuencia (RF) es capaz de inducir estrés oxidativo o afectar la respuesta al estrés oxidativo en células de mamíferos cultivadas. Los dos tipos de radiación de RF investigados fueron onda continua modulada en frecuencia con una frecuencia portadora de 835,62 MHz (FMCW) y acceso múltiple por división de código centrado en 847,74 MHz (CDMA). Para evaluar el efecto de la radiación de RF sobre el estrés oxidativo, las células de macrófagos de ratón J774.16 se estimularon con interferón gamma (IFN) y lipopolisacárido bacteriano (LPS) antes de la exposición. Los cultivos celulares se expusieron durante 20 a 22 h a una tasa de absorción específica de 0,8 W/kg a una temperatura de  $37,0 \pm 0,3$  °C. El estrés oxidativo se evaluó midiendo los niveles de oxidantes, los niveles de antioxidantes, el daño oxidativo y la producción de óxido nítrico. La oxidación de los tioles se midió mediante el seguimiento de la acumulación de disulfuro de glutatión (GSSG). Las defensas antioxidantes celulares se evaluaron midiendo la actividad de la superóxido dismutasa (CuZnSOD y MnSOD), así como la actividad de la catalasa y la glutatión peroxidasa. Se utilizó el ensayo de exclusión del colorante azul tripán para medir cualquier cambio en la viabilidad.

Los resultados de estos estudios indicaron que la radiación de RF modulada por FMCW y CDMA no alteró los parámetros indicativos de estrés oxidativo en las células J774.16. Los campos modulados por FMCW y CDMA no alteraron el nivel de oxidantes intracelulares, la acumulación de GSSG o la inducción de defensas antioxidantes en las células estimuladas con IFN/LPS. En consonancia con la falta de un efecto sobre los parámetros de estrés oxidativo, no se observó ningún cambio en la toxicidad en las células J774.16 después de una estimulación óptima (con o sin inhibidores de la óxido nítrico sintasa) o subóptima.

(E) Hou Q, Wang M, Wu S, Ma X, An G, Liu H, Xie F. Cambios oxidativos y apoptosis inducidos por radiación electromagnética de 1800 MHz en células NIH/3T3. Electromagn Biol Med. 34(1):85-92, 2015.

Para investigar los posibles efectos adversos de la radiación de los teléfonos móviles, estudiamos las especies reactivas de oxígeno (ROS), el daño del ADN y la apoptosis en fibroblastos embrionarios de ratón (NIH/3T3) después de la exposición intermitente (5 min encendido/10 min apagado, durante varias duraciones de 0,5 a 8 h) a una radiación electromagnética (REM) en modo de conversación GSM de 1800 MHz a una tasa de absorción específica promedio de 2 W/kg. Se utilizó una sonda de fluorescencia de diacetato de 2',7'-diclorofluorescina para detectar los niveles intracelulares de ROS, se utilizó inmunofluorescencia para detectar focos de  $\gamma$ H2AX como marcador de daño del ADN y se utilizó citometría de flujo para medir la apoptosis. Nuestros resultados

Los resultados mostraron un aumento significativo de los niveles intracelulares de ROS después de la exposición a EMR y alcanzaron el nivel más alto en un tiempo de exposición de 1 h ( $p < 0,05$ ), seguido de una ligera disminución cuando la exposición continuó durante 8 h. No se detectó ningún efecto significativo en la cantidad de  $\gamma$ H2AX después de la exposición a EMR. El porcentaje de células con apoptosis tardía en el grupo expuesto a EMR fue significativamente mayor que en los grupos expuestos simultáneamente ( $p < 0,05$ ). Estos resultados indican que un EMR de 1800 MHz mejora la formación de ROS y promueve la apoptosis en células NIH/3T3.

(E) Houston BJ, Nixon B, King BV, De Iuliis GN, Aitken RJ. Los efectos de la radiación electromagnética de radiofrecuencia en la función espermática. Reproducción. 152(6):R263-R276, 2016.

El uso de teléfonos móviles se ha convertido en una parte integral de nuestras vidas. Sin embargo, los efectos de la radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF-EMR) emitida por estos dispositivos en los sistemas biológicos y, específicamente, en los sistemas reproductivos, son actualmente objeto de un activo debate. Un obstáculo fundamental para el debate actual es que no existe un mecanismo claro de cómo esta radiación no ionizante influye en los sistemas biológicos. Por lo tanto, exploramos los impactos documentados de RF-EMR en el sistema reproductivo masculino y consideramos cualquier observación común que pudiera proporcionar información sobre un mecanismo potencial. Entre un total de 27 estudios que investigaban los efectos de RF-EMR en el sistema reproductivo masculino, se informaron consecuencias negativas de la exposición en 21. Dentro de estos 21 estudios, 11 de los 15 que investigaron la motilidad de los espermatozoides informaron disminuciones significativas, 7 de 7 que midieron la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) documentaron niveles elevados y 4 de 5 estudios que investigaron el daño del ADN destacaron un mayor daño debido a la exposición a RF-EMR. En relación con esto, el tratamiento con RF-EMR redujo los niveles de antioxidantes en 6 de los 6 estudios que analizaron este fenómeno, mientras que las consecuencias de la RF-EMR se mejoraron con éxito con la suplementación de antioxidantes en los 3 estudios que llevaron a cabo estos experimentos. A la luz de esto, preveo un mecanismo de dos pasos mediante el cual la RF-EMR puede inducir una disfunción mitocondrial que conduce a una producción elevada de ROS. Un enfoque continuo en la investigación, que tiene como objetivo arrojar luz sobre los efectos biológicos de la RF-EMR, nos permitirá probar y evaluar este mecanismo propuesto en una variedad de tipos de células.

(E) Houston BJ, Nixon B, King BV, Aitken RJ, De Iuliis GN. Investigación de los orígenes del daño inducido por la radiación electromagnética de radiofrecuencia de 1.800 MHz en células germinales inmortalizadas de ratón y espermatozoides in vitro. Front Public Health. 6:270, 2018.

Como el uso de dispositivos de telefonía móvil es ahora muy frecuente, muchos estudios han buscado evaluar los efectos de la radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF-EMR) tanto en la salud humana como en la biología. Si bien varios de estos estudios han demostrado que la RF-EMR es capaz de inducir estrés celular, el origen fisiobiológico de este estrés sigue en gran medida sin resolverse. Para explorar el efecto de la RF-EMR en el sistema reproductivo masculino, expusimos líneas celulares de espermatogonias de ratón cultivadas GC1 y espermatozoides GC2, así como espermatozoides de cola de epidídimo a una guía de ondas que genera RF-EMR de onda continua (1,8 GHz, 0,15 y 1,5 W/kg).

Un estudio demostró que una exposición de 4 h es capaz de inducir la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) mitocondriales en poblaciones de células GC1 (7 vs. 18%;  $p < 0,001$ ) y GC2 (11,5 vs. 16 %;  $p < 0,01$ ), identificando el Complejo III de la cadena de transporte de electrones (CTE) como la fuente potencial de electrones productores de ROS. La evaluación de la generación de ROS en presencia de un antioxidante, la penicilamina, así como la medición de la peroxidación lipídica a través de los niveles de 4-hidroxinonanal, indicó que la elevada incidencia de generación de ROS observada en nuestras condiciones de exposición no indujo necesariamente una respuesta manifiesta de estrés oxidativo celular. Sin embargo, la exposición a RF-EMR a 0,15 W/kg durante 3 h indujo una fragmentación significativa del ADN en los espermatozoides (que ya no fue significativa después de 4 h), evaluada mediante el ensayo de cometa alcalino ( $p < 0,05$ ). Además, esta fragmentación estuvo acompañada de una inducción de daño oxidativo del ADN en forma de 8-hidroxi-2'-desoxiguanosina, que fue significativa ( $p < 0,05$ ) después de que los espermatozoides fueron expuestos a RF-EMR durante 4 h.

En este momento de exposición, también se observó una disminución en la motilidad de los espermatozoides ( $p < 0,05$ ). Este estudio aporta nueva evidencia para dilucidar un mecanismo que explique los efectos de la RF-EMR en los sistemas biológicos, proponiendo al Complejo III de la cadena de transporte de electrones mitocondrial como el objetivo clave de esta radiación.

(E) Houston BJ, Nixon B, McEwan KE, Martin JH, King BV, Aitken RJ, De Iulius GN. La exposición de todo el cuerpo a energía electromagnética de radiofrecuencia puede causar daño al ADN en espermatozoides de ratón a través de un mecanismo oxidativo. *Sci Rep.* 9(1):17478, 2019.

La energía electromagnética de radiofrecuencia generada artificialmente (RF-EME) es ahora omnipresente en nuestro entorno debido al uso de teléfonos móviles y dispositivos de comunicación basados en Wi-Fi. Si bien varios estudios han revelado que la RF-EME es capaz de provocar estrés biológico, particularmente en el contexto del sistema reproductor masculino, la base mecanicista de esta interacción biofísica sigue en gran parte sin resolverse. Para ampliar estos estudios, aquí expusimos ratones machos sin ataduras a RF-EME generada a través de una guía de ondas dedicada (905 MHz, 2,2 W/kg) durante 12 h por día durante un período de 1, 3 o 5 semanas. Los testículos de los ratones expuestos no mostraron evidencia de cambio histológico macroscópico o estrés elevado, independientemente del régimen de exposición a RF-EME. Por el contrario, 5 semanas de exposición a RF-EME afectaron negativamente los perfiles de vitalidad y motilidad de los espermatozoides epididimarios maduros. Estos espermatozoides también experimentaron un aumento en la generación mitocondrial de especies reactivas de oxígeno después de una semana de exposición, con una oxidación y fragmentación del ADN elevadas en todos los períodos de exposición. A pesar de estas lesiones, la exposición a RF-EME no afectó la capacidad de fertilización de los espermatozoides ni su capacidad para sustentar el desarrollo embrionario temprano. Este estudio respalda la utilidad de las células germinales masculinas como herramientas sensibles con las que evaluar los impactos biológicos de la exposición de todo el cuerpo a RF-EME.

(cáncer) (E) Höytö A, Luukkonen J, Juutilainen J, Naarala J. Proliferación, estrés oxidativo y muerte celular en células expuestas a oxidantes y radiación de radiofrecuencia de 872 MHz. *Radiat. Res.* 170(2):235-243, 2008. (WS)

Se expusieron células de neuroblastoma humano SH-SY5Y y fibroblastos L929 de ratón a radiación de radiofrecuencia (RF) de 872 MHz utilizando ondas continuas (CW) o una señal modulada similar a la emitida por teléfonos móviles GSM a una tasa de absorción específica (SAR) de 5 W/kg en condiciones isotérmicas. Para investigar los posibles efectos combinados con otros agentes, se utilizó menadiona para inducir especies reactivas de oxígeno y se utilizó terc-butilhidroperóxido (t-BOOH) para inducir la peroxidación lipídica. Después de 1 o 24 h de exposición, se midieron los niveles reducidos de glutatión celular, la peroxidación lipídica, la proliferación, la actividad de la caspasa 3, la fragmentación del ADN y la viabilidad. Se observaron dos diferencias estadísticamente significativas relacionadas con la radiación de RF: la peroxidación lipídica inducida por t-BOOH aumentó en las células SH-SY5Y (pero no en las L929), y la actividad de la caspasa 3 inducida por menadiona aumentó en las células L929 (pero no en las SH-SY5Y).

---

Ambas diferencias fueron estadísticamente significativas sólo para la señal modulada por GSM. Los otros puntos finales no se vieron afectados significativamente en ninguna de las condiciones experimentales y no se observaron efectos por la exposición a la radiación de RF únicamente. Los resultados positivos pueden deberse al azar, pero también pueden reflejar efectos que ocurren sólo en células sensibilizadas por estrés químico.

Se requieren más estudios para investigar la reproducibilidad y la respuesta a la dosis de los posibles efectos.

(E) Hu S, Peng R, Wang C, Wang S, Gao Y, Dong J, Zhou H, Su Z, Qiao S, Zhang S, Wang L, Wen X. Efectos neuroprotectores del suplemento dietético Kang-fu-ling contra microondas de alta potencia a través de la acción antioxidante. *Food Funct.* 24 de julio de 2014. [Epub antes de la impresión]

Kang-fu-ling (KFL) es un suplemento dietético polibotánico con propiedades antioxidantes. Este estudio tuvo como objetivo evaluar los posibles efectos protectores de KFL sobre el déficit cognitivo inducido por microondas de alta potencia (HPM) y el mecanismo subyacente de esta neuroprotección. Se empleó la técnica de resonancia de espín electrónico para evaluar la actividad de eliminación de radicales libres de KFL in vitro y KFL exhibió actividad de eliminación de radicales hidroxilo. KFL en dosis de 0,75, 1,5 y 3 g kg<sup>-1</sup> y vehículo se administraron por vía oral una vez al día durante 14 días a ratas Wistar macho después de haber sido expuestas a 30 mW cm<sup>-2</sup> HPM durante 15 minutos. KFL revirtió la pérdida de memoria inducida por HPM y los cambios histopatológicos en el hipocampo de ratas. Además, KFL mostró un efecto protector contra el estrés oxidativo inducido por HPM y activó el factor nuclear E2-relacionado con el factor 2 (Nrf2) y sus genes diana en el hipocampo de ratas. La vía de señalización del elemento de respuesta antioxidante (ARE) Nrf2 puede estar involucrada en los efectos neuroprotectores de KFL contra el estrés oxidativo inducido por HPM. En resumen, el suplemento dietético KFL es un complejo natural prometedor, que mejora el estrés oxidativo, con efectos neuroprotectores contra HPM.

---

(E) İkinici A, Mercantepe T, Unal D, Erol HS, Şahin A, Aslan A, Baş O, Erdem H, Sönmez OF, Kaya H, Odacı E. Alteraciones morfológicas y antioxidantes en la médula espinal de crías de ratas macho tras la exposición a un campo electromagnético continuo de 900 MHz durante la adolescencia temprana y media. *J Chem Neuroanat.* 17 de diciembre de 2015. pii: S0891-0618(15)00096-4. doi: 10.1016/j.jchemneu.2015.11.006. [Publicación electrónica antes de su publicación impresa]

Los efectos sobre la salud humana de los dispositivos que emiten campos electromagnéticos (CEM) se han convertido en objeto de intensa investigación entre los científicos debido al rápido aumento de su uso.

Los adolescentes se sienten especialmente atraídos por el uso de dispositivos que emiten campos electromagnéticos, como los teléfonos móviles. Por tanto, el objetivo de este estudio fue investigar los cambios en las médulas espinales de crías de ratas macho expuestas al efecto de campos electromagnéticos de 900 megahercios (MHz). El estudio comenzó con 24 ratas macho Sprague Dawley de 3 semanas de edad. Se establecieron tres grupos que contenían el mismo número de ratas: grupo de control (GC), grupo simulado (GS) y grupo de campos electromagnéticos (GEM). Las ratas GEM se colocaron dentro de una jaula EMF todos los días entre los días posnatales (PD) 21 y 46 y se expusieron al efecto de campos electromagnéticos de 900 MHz durante 1 hora. Las ratas SG se mantuvieron en la jaula EMF durante 1 hora sin estar expuestas al efecto de los campos electromagnéticos. Al final del estudio, se extirparon las médulas espinales de la región torácica superior de todas las ratas. Se recogieron tejidos para su examen bioquímico, microscopía óptica (LM) y microscopía electrónica de transmisión (TEM). Los resultados bioquímicos revelaron niveles significativamente mayores de malondialdehído y glutatión en EMFG en comparación con CG y SG, mientras que los niveles de catalasa y superóxido dismutasa en SG y EMFG fueron significativamente más altos que en CG. En EMFG, LM reveló atrofia en la médula espinal, vacuolización, engrosamiento de la mielina e irregularidades en el pericario. TEM reveló una marcada pérdida de la integridad de la vaina de mielina e invaginación en el axón y vacuolas anchas en el axoplasma. Los resultados del estudio muestran que pueden ocurrir alteraciones bioquímicas y cambios patológicos en la médula espinal de ratas macho después de la exposición a EMF de 900 MHz durante 1 hora al día en PD 21-46.

(E) Ilhan A, Gurel A, Armutcu F, Kamisli S, Iraz M, Akyol O, Ozen S. El ginkgo biloba previene el estrés oxidativo inducido por el uso de teléfonos móviles en el cerebro de ratas. Clin Chim Acta. 340(1-2): 153-162, 2004.

ANTECEDENTES: El uso generalizado de teléfonos móviles (MP) en los últimos años ha aumentado las actividades de investigación en muchos países para determinar las consecuencias de la exposición a la radiación electromagnética de baja intensidad (REM) de los teléfonos móviles. Dado que varios estudios experimentales sugieren un papel de las especies reactivas de oxígeno (ROS) en el daño oxidativo inducido por EMR en los tejidos, en este estudio, investigamos el efecto de Ginkgo biloba (Gb) en el daño oxidativo inducido por MP en el tejido cerebral de ratas. MÉTODOS: Las ratas (EMR+) fueron expuestas a 900 MHz EMR de MP durante 7 días (1 h/día). En los grupos EMR+Gb, las ratas fueron expuestas a EMR y pretratadas con Gb. Los grupos de control y de administración de Gb se produjeron apagando el teléfono móvil mientras los animales estaban en las mismas condiciones de exposición. Posteriormente, se examinaron los marcadores de estrés oxidativo y los cambios patológicos en el tejido cerebral de cada grupo. RESULTADOS: El daño oxidativo fue evidente por: (i) aumento en los niveles de malondialdehído (MDA) y óxido nítrico (NO) en el tejido cerebral, (ii) disminución en las actividades de superóxido dismutasa (SOD) y glutatión peroxidasa (GSH-Px) cerebrales y (iii) aumento en las actividades de xantina oxidasa (XO) y adenosina deaminasa (ADA) cerebrales. Estas alteraciones fueron prevenidas por el tratamiento con Gb. Además, Gb previno la lesión celular inducida por MP en el tejido cerebral histopatológicamente. CONCLUSIÓN: Las especies reactivas de oxígeno pueden desempeñar un papel en el mecanismo que se ha propuesto para explicar los efectos secundarios biológicos de MP, y Gb previene el estrés oxidativo inducido por MP para preservar la actividad de las enzimas antioxidantes en el tejido cerebral.

---

(E) Imge EB, Kiliçoğlu B, Devrim E, Cetin R, Durak I. Efectos del uso del teléfono móvil en el tejido cerebral de la rata y un posible papel protector de la vitamina C: un estudio preliminar. *Int J Radiat Biol.* 86(12):1044-1049, 2010.

Objetivo: Evaluar los efectos del uso del teléfono móvil sobre el tejido cerebral y un posible papel protector de la vitamina C. Materiales y métodos: Cuarenta ratas hembras fueron divididas aleatoriamente en cuatro grupos (Control, teléfono móvil, teléfono móvil más vitamina C y, vitamina C sola).

El grupo del teléfono móvil fue expuesto a una señal de teléfono móvil (900 MHz), el grupo del teléfono móvil más vitamina C fue expuesto a una señal de teléfono móvil (900 MHz) y tratado con vitamina C administrada por vía oral (per os). El grupo de vitamina C también fue tratado con vitamina C per os durante cuatro semanas. Luego, los animales fueron sacrificados y se diseccionaron los tejidos cerebrales para ser utilizados en los análisis de malondialdehído (MDA), potencial antioxidante (AOP), superóxido dismutasa, catalasa (CAT), glutatión peroxidasa (GSH-Px), xantina oxidasa, adenosina desaminasa (ADA) y 5'nucleotidasa (5'-NT). Resultados: El uso del teléfono móvil provocó una inhibición en las actividades de 5'-NT y CAT en comparación con el grupo de control. También se encontró que la actividad de GSH-Px y el nivel de MDA estaban reducidos en el grupo de control.

grupo de teléfonos móviles, pero no de forma significativa. La vitamina C provocó un aumento significativo de la actividad de GSH-Px y un aumento no significativo de las actividades de las enzimas 5'-NT, ADA y CAT.

Conclusión: Nuestros resultados sugieren que la vitamina C puede desempeñar un papel protector contra los efectos perjudiciales de la radiación de los teléfonos móviles en el tejido cerebral.

(E) Irmak MK, Fadillioglu E, Gulec M, Erdogan H, Yagmurca M, Akyol O. Efectos de la radiación electromagnética de un teléfono celular sobre los niveles de oxidantes y antioxidantes en conejos. *Cell Biochem Funct.* 20(4):279-283, 2002.

El número de informes sobre los efectos inducidos por la radiación electromagnética (REM) en varios sistemas celulares sigue aumentando. Hasta ahora no se ha propuesto ningún mecanismo satisfactorio para explicar los efectos biológicos de esta radiación. Los radicales libres de oxígeno pueden desempeñar un papel en los mecanismos de los efectos adversos de la REM. Este estudio se realizó para investigar la influencia de la radiación electromagnética de un teléfono móvil GSM digital (900 MHz) en los niveles de oxidantes y antioxidantes en conejos. Se midieron las actividades de adenosina deaminasa, xantina oxidasa, catalasa, mieloperoxidasa, superóxido dismutasa (SOD) y glutatión peroxidasa, así como los niveles de óxido nítrico (NO) y malondialdehído en sueros y cerebros de conejos expuestos a REM y expuestos simuladamente. La actividad de SOD sérica aumentó y los niveles de NO sérico disminuyeron en los animales expuestos a REM en comparación con el grupo simulado. Otros parámetros no cambiaron en ninguno de los grupos. Este hallazgo puede indicar el posible papel del aumento del estrés oxidativo en la fisiopatología del efecto adverso de la REM. Los niveles reducidos de NO también pueden sugerir un papel probable del NO en el efecto adverso.

(E) Ismaili LA, Joumaa WH, Moustafa ME. El impacto de la exposición de ratas diabéticas a la radiación electromagnética de 900 MHz emitida por la antena de un teléfono móvil sobre el estrés oxidativo hepático. *Electromagn Biol Med.* 2019;38(4):287-296, 2019.

La exposición excesiva de los pacientes con diabetes mellitus tipo 2 (DM2) a la radiación electromagnética (REM) de los teléfonos móviles o de sus antenas de estaciones base puede influir en el estrés oxidativo y el desarrollo de complicaciones diabéticas.

Investigaron los efectos de la exposición de ratas diabéticas tipo 2 a EMR de 900 MHz emitidos desde una antena de telefonía móvil GSM durante 24 horas al día durante un período de 28 días sobre la hiperglucemia y el estrés oxidativo hepático. Las ratas Sprague-Dawley macho se dividieron en 4 grupos (12 ratas/grupo): ratas de control, ratas normales expuestas a EMR, ratas con diabetes tipo 2 generadas mediante la administración de nicotinamida/estreptozotocina y ratas con diabetes tipo 2 expuestas a EMR. Nuestros resultados mostraron que la exposición de ratas con diabetes tipo 2 a EMR redujo de forma no significativa la hiperglucemia y la hiperinsulinemia en comparación con las ratas con diabetes tipo 2 no expuestas. La exposición de ratas con diabetes tipo 2 a REM durante 28 días aumentó los niveles hepáticos de MDA y Nrf-2, así como las actividades de la superóxido dismutasa (SOD) y la catalasa, pero disminuyó la Akt-2 fosforilada (pAkt-2) en comparación con las ratas con diabetes tipo 2 no expuestas. Por lo tanto, la disminución de la pAkt-2 hepática en ratas con diabetes tipo 2 después de la exposición a REM puede resultar en un nivel elevado de MDA hepática, aunque el nivel de Nrf-2 y las actividades de SOD y catalasa aumentaron.

Jammoul M, Lawand N. Melatonina: un escudo potencial contra las ondas electromagnéticas.

Curr Neuropharmacol. 9 de junio de 2021. doi: 10.2174/1570159X19666210609163946.

(Revisar)

La melatonina, una hormona vital sintetizada por la glándula pineal, ha estado implicada en varias funciones fisiológicas y en la regulación del ritmo circadiano. Su papel en la protección contra el campo electromagnético no ionizante (CEM), conocido por alterar el equilibrio oxidativo/antioxidante del cuerpo, ha sido cuestionado debido a los resultados inconsistentes observados en los estudios. Esta revisión proporciona el estado actual del conocimiento sobre la relación entrelazada entre la melatonina, los CEM y el estrés oxidativo. Con base en la evidencia sintetizada, presentamos un modelo que describe mejor los mecanismos subyacentes a los efectos protectores de la melatonina contra el estrés oxidativo inducido por RF/ELF-CEM. Mostramos que la actividad depuradora de radicales libres de la melatonina se habilita a través de la reducción de la tasa de conversión singlete-triplete del par de radicales y la concentración de los productos triplete. Además, esta revisión tiene como objetivo destacar los posibles beneficios terapéuticos de la melatonina contra los efectos perjudiciales de los CEM, en general, y la hipersensibilidad electromagnética (EHS), en particular.

(E) \*\*Jelodar G, Akbari A, Nazifi S. El efecto profiláctico de la vitamina C sobre los índices de estrés oxidativo en ojos de ratas tras la exposición a ondas de radiofrecuencia generadas por un modelo de antena BTS. Int J Radiat Biol. 89(2):128-131, 2013.

Propósito: Este estudio se realizó para evaluar el efecto de las ondas de radiofrecuencia (RFW) estrés oxidativo inducido en el ojo y el efecto profiláctico de la vitamina C en este órgano midiendo la actividad de las enzimas antioxidantes incluyendo: glutatión peroxidasa (GPx), superóxido dismutasa (SOD) y catalasa (CAT), y malondialdehído (MDA). Materiales y métodos: Treinta y dos ratas Sprague-Dawley macho adultas se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos experimentales y se trataron diariamente durante 45 días de la siguiente manera: Control, vitamina C (ácido L-ascórbico 200 mg/kg de peso corporal/día por sonda), prueba (expuesto a RFW de 900 MHz) y el grupo tratado (recibió vitamina C además de la exposición a RFW). Al final del experimento todos los animales fueron sacrificados, se les extrajeron los ojos y se utilizaron para la medición de las enzimas antioxidantes y la actividad de MDA. Resultados: Los resultados indican que la exposición a RFW en el grupo de prueba disminuyó la actividad de las enzimas antioxidantes y aumentó la MDA en comparación con los grupos de control ( $P < 0,05$ ). En el grupo tratado, la vitamina C mejoró

actividad de enzimas antioxidantes y MDA reducido en comparación con el grupo de prueba ( $P < 0,05$ ).

Conclusiones: Se puede concluir que el RFW provoca estrés oxidativo en los ojos y la vitamina C mejora la actividad de las enzimas antioxidantes y disminuye el MDA.

(E) \*Jelodar G, Nazifi S, Akbari A. El efecto profiláctico de la vitamina C sobre el estrés oxidativo inducido en testículos de ratas tras la exposición a ondas de radiofrecuencia de 900 MHz generadas por un modelo de antena BTS. *Electromagn Biol Med.* 32(3):409-416, 2013.

Se ha informado que las ondas de radiofrecuencia (RFW) generadas por la estación transceptora base (BTS) tienen efectos nocivos sobre la reproducción, posiblemente a través del estrés oxidativo. Este estudio se realizó para evaluar el efecto de las RFW generadas por BTS sobre el estrés oxidativo en los testículos y el efecto profiláctico de la vitamina C midiendo la actividad de las enzimas antioxidantes, incluidas la glutatión peroxidasa, la superóxido dismutasa (SOD) y la catalasa, y el malondialdehído (MDA). Treinta y dos ratas Sprague-Dawley macho adultas se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos experimentales y se trataron diariamente durante 45 días de la siguiente manera: grupo simulado, grupo simulado + vitamina C (ácido l-ascórbico 200 mg/kg de peso corporal/día por sonda), RFW (expuesto a 900 MHz RFW), los animales "simulados" y "RFW" recibieron el vehículo, es decir, agua destilada y el grupo RFW + vitamina C (recibió vitamina C además de la exposición a RFW). Al final del experimento, todas las ratas fueron sacrificadas y sus testículos fueron extirpados y utilizados para la medición de las enzimas antioxidantes y la actividad de MDA. Los resultados indican que la exposición a RFW en el grupo de prueba disminuyó la actividad de las enzimas antioxidantes y aumentó la MDA en comparación con los grupos de control ( $p < 0,05$ ). En el grupo tratado, la vitamina C mejoró la actividad de las enzimas antioxidantes y redujo la MDA en comparación con el grupo de prueba ( $p < 0,05$ ). Se puede concluir que RFW causa estrés oxidativo en los testículos y la vitamina C mejora la actividad de las enzimas antioxidantes y disminuye la MDA.

(E) Jeong YJ, Son Y Impacto, Lee Hyeon-hyun, Jung Kwon, Park Hwa, Park Jwon, Park Kwon. de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia a largo plazo en el estrés oxidativo y la neuroinflamación en cerebros envejecidos de ratones C57BL/6. *Int J Mol Sci.* 19:2103, 2018.

La expansión del uso de teléfonos móviles ha planteado preguntas sobre los posibles efectos biológicos de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) sobre el estrés oxidativo y la inflamación cerebral. A pesar de la exposición acumulativa de los humanos a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) de los teléfonos móviles, sus efectos a largo plazo sobre el estrés oxidativo y la neuroinflamación en el cerebro envejecido no se han estudiado. En el presente estudio, ratones C57BL/6 de mediana edad (de 14 meses de edad) fueron expuestos a campos electromagnéticos de 1950 MHz durante 8 meses (tasa de absorción específica (SAR) 5 W/kg, 2 h/día, 5 d/semana). En comparación con los del grupo joven, los niveles de marcadores de daño oxidativo de proteínas (3-nitro-tirosina) y lípidos (4-hidroxi-2-nonenal) aumentaron significativamente en los cerebros de los ratones mayores. Además, los niveles de marcadores de daño del ADN (8-hidroxi-2'-desoxiguanosina, p53, p21,  $\gamma$ H2AX y Bax), apoptosis (caspasa-3 escindida y poli(ADP-ribosa) polimerasa 1 escindida (PARP-1)), astrocito (GFAP) y microglia (Iba-1) estaban significativamente elevados en los cerebros de ratones viejos. Sin embargo, la exposición prolongada a campos electromagnéticos de radiofrecuencia no modificó los niveles de estrés oxidativo, daño del ADN, apoptosis, astrocitos o marcadores de microglia en los cerebros de ratones viejos. Además, la exposición prolongada a campos electromagnéticos de radiofrecuencia no alteró la actividad locomotora en ratones viejos. Por lo tanto, estos hallazgos indican que la exposición prolongada a campos electromagnéticos de radiofrecuencia no alteró la actividad locomotora en ratones viejos.

La exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia no influyó en el estrés oxidativo inducido por la edad ni en la neuroinflamación en ratones C57BL/6.

(cáncer) (E) Kahya MC, Nazıroğlu M, Ciğ B. El selenio reduce el estrés oxidativo inducido por el teléfono móvil (900 MHz), la función mitocondrial y la apoptosis en células de cáncer de mama. *Biol Trace Elem Res.* 160: 285-293, 2014.

La exposición a la radiación electromagnética (REM) inducida por el teléfono móvil puede afectar a los sistemas biológicos al aumentar los radicales libres de oxígeno, la apoptosis y los niveles de despolarización mitocondrial, aunque el selenio puede modular los valores en el cáncer. El presente estudio fue diseñado para investigar los efectos de la radiación de 900 MHz en el sistema redox antioxidante, la apoptosis y los niveles de despolarización mitocondrial en la línea celular de cáncer de mama MDA-MB-231. Los cultivos de las células cancerosas se dividieron en cuatro grupos principales como controles, selenio, REM y REM + selenio. En los grupos REM, las células se expusieron a REM de 900 MHz durante 1 h (el valor SAR de la REM fue de  $0,36 \pm 0,02$  W/kg). En los grupos de selenio, las células también se incubaron con selenito de sodio durante 1 h antes de la exposición a la REM. Luego, se analizaron los siguientes valores: (a) viabilidad celular, (b) producción intracelular de ROS, (c) despolarización de la membrana mitocondrial, (d) apoptosis celular y (e) valores de caspasa-3 y caspasa-9. El selenio suprimió el daño celular oxidativo inducido por EMR y la viabilidad celular (MTT) a través de una reducción del estrés oxidativo y la restauración del potencial de membrana mitocondrial. Además, el selenio indicó efectos antiapoptóticos, como lo demostraron los análisis del lector de placas de los niveles de apoptosis y los valores de caspasa-3 y caspasa-9. En conclusión, 900 MHz EMR parece inducir efectos de apoptosis a través del estrés oxidativo y la despolarización mitocondrial, aunque la incubación de selenio parece contrarrestar los efectos sobre la apoptosis y el estrés oxidativo

(E) Kalanjati VP, Purwantari KE, Prasetiowati L. El papel de aluminio amortiguó el efecto adverso de la radiación inducida por teléfonos móviles de 2100 MHz sobre los parámetros sanguíneos y el miocardio en ratas. *Environ Sci Pollut Res Int.* 26(12):11686-11689, 2019.

Los teléfonos móviles emiten una radiación de radiofrecuencia (RFR) que podría tener efectos adversos para la salud. Nuestro objetivo fue investigar los posibles efectos protectores del papel de aluminio (AF) como escudo físico contra la RFR de los teléfonos móviles sobre los parámetros sanguíneos y el miocardio en ratas. Los efectos de la frecuencia de 2100 MHz en todo el cuerpo con 0,84- Se investigó la exposición al Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM)-RFR durante 4 h/día durante 30 días sobre los parámetros sanguíneos (es decir, hemoglobina, leucocitos, trombocitos, velocidad de sedimentación globular, recuento diferencial de glóbulos blancos, corticosterona, CKMB) y la histología del miocardio.

Se estudiaron ratas macho de tres meses ( $n = 32$ ) y se asignaron al azar de manera igualitaria a los siguientes cuatro grupos: K1 (control sin FA ni RFR), K2 (control sin FA ni RFR), P1 (expuesta a RFR sin FA), P2 (expuesta a RFR con FA). Los datos se analizaron con un nivel de significación de  $p < 0,05$ . En P1, se encontraron recuentos más bajos de leucocitos y neutrófilos con niveles altos de corticosterona en comparación con los grupos de control, mientras que se observó una CKMB significativamente más alta en comparación con P2 ( $p = 0,034$ ).

En comparación con los otros grupos, se observaron recuentos de cardiomiocitos congruentes con la fracción de área del miocardio no fibrótico en el grupo P1 ( $p < 0,01$ ). La FA podría reducir el estrés inflamatorio y oxidativo en las células sanguíneas y el miocardio de los roedores inducido por la exposición a la radiación de radiofrecuencia de los teléfonos móviles.

(E) Kamali K, Taravati A, Sayyadi S, Gharib FZ, Maftoon H. Evidencia de estrés oxidativo después de la exposición continua a la radiación Wi-Fi en un modelo de rata.

Environ Sci Pollut Res Int. 25(35):35396-35403, 2018.

La exposición a la radiación electromagnética (REM) está aumentando rápidamente en el entorno cotidiano, lo que confiere efectos potenciales para la salud. El estrés oxidativo está surgiendo como un mecanismo implicado en la fisiopatología y la progresión de varias enfermedades. Hasta donde sabemos, hasta el momento no se ha realizado ningún informe sobre el estado de los sistemas redox antioxidantes después de la exposición continua a la radiación de radiofrecuencia emitida desde un punto de acceso Wi-Fi en un modelo animal. Por lo tanto, nuestro objetivo fue someter continuamente a las ratas del grupo experimental a la radiación de radiofrecuencia (RF) emitida desde un dispositivo Wi-Fi disponible en el mercado. Las ratas Wister macho fueron expuestas a la radiación de RF de 2,45 GHz emitida desde una red Wi-Fi durante 24 h/día durante 10 semanas consecutivas. Para evaluar el cambio en el sistema redox antioxidante del plasma después de la exposición continua a un dispositivo Wi-Fi, se midieron la capacidad antioxidante total del plasma, el nivel de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico, la concentración de glutatión reducido (GSH) y la actividad de diferentes antioxidantes enzimáticos, por ejemplo, superóxido dismutasa [SOD], catalasa [CAT], glutatión peroxidasa [GSH-Px] y glutatión S-transferasa [GST]. En el grupo expuesto a Wi-Fi, se detectó una disminución significativa en la capacidad antioxidante total del plasma y las actividades de varias enzimas antioxidantes, incluidas CAT, GSH-Px y SOD ( $P < 0,05$ ). Mientras tanto, la actividad de GST aumentó significativamente en este grupo ( $P < 0,05$ ). Sin embargo, no se encontraron cambios significativos en los niveles de GSH y TBARS después de la exposición a la radiación de RF. Según los resultados, el sistema de defensa oxidativa en ratas expuestas a la señal de Wi-Fi se vio significativamente afectado en comparación con el grupo de control. Se necesitan más estudios para comprender mejor los posibles mecanismos biológicos de la radiación electromagnética emitida por los dispositivos Wi-Fi y los resultados relevantes.

(NE) \*Kang KA, Lee HC, Lee JJ, Hong MN, Park MJ, Lee YS, Choi HD, Kim N, Ko YK, Lee JS. Efectos de la exposición combinada a la radiación de radiofrecuencia en los niveles de especies reactivas de oxígeno en las células neuronales. J Radiat Res. 8 de octubre de 2013. [Publicado electrónicamente antes de su publicación impresa]

El objetivo de este estudio fue investigar los efectos de la señal de radiación de RF combinada (837 MHz CDMA más 1950 MHz WCDMA) sobre los niveles de especies reactivas de oxígeno (ROS) intracelulares en células neuronales. La exposición a la señal de RF combinada se realizó a valores de tasa de absorción específicos de 2 W/kg de CDMA más 2 W/kg de WCDMA durante 2 h. También se realizó una coexposición a la radiación de RF combinada con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> o menadiona. Los grupos de exposición experimental fueron control de incubadora, exposición simulada, exposición a radiación de RF combinada con o sin H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> o menadiona. El nivel de ROS intracelular se midió por citometría de flujo utilizando la sonda fluorescente diacetato de diclorofluoresceína.

Los niveles intracelulares de ROS no se vieron afectados de manera consistente por la exposición combinada a la radiación de RF

solo de manera dependiente del tiempo en células U87, PC12 o SH-SY5Y. En células neuronales expuestas a radiación de RF combinada con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> o menadiona, los niveles intracelulares de ROS no mostraron ninguna alteración estadísticamente significativa en comparación con la exposición a menadiona o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> solos.

Estos hallazgos indican que ni la radiación de RF combinada sola ni la radiación de RF combinada con menadiona o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> influyen en el nivel intracelular de ROS en células neuronales como U87, PC12 o SH-SY5Y.

---

(E) Kazemi E, Mortazavi SM, Ali-Ghanbari A, Sharifzadeh S, Ranjbaran R, Mostafavi-Pour Z, Zal F, Haghani M. Efecto de la radiación electromagnética de 900 MHz en la inducción de ROS en células mononucleares de sangre periférica humana. *J Biomed Phys Eng.* 5(3):105-114, 2015.

ANTECEDENTES: A pesar de los numerosos estudios realizados durante una década, aún sigue habiendo controversia sobre los efectos biológicos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia emitidos por la telefonía móvil. OBJETIVO: Aquí investigamos el efecto de la GSM de 900 MHz en la inducción del estrés oxidativo y el nivel de especies reactivas de oxígeno (ROS) intracelulares en células mononucleares humanas, monocitos y linfocitos como células del sistema de defensa. MÉTODO: Se obtuvieron muestras de sangre periférica de 6 ml de 13 voluntarios sanos (de 21 a 30 años de edad). Cada muestra se dividió en 2 grupos: uno estuvo expuesto a la radiación de radiofrecuencia emitida desde un simulador de teléfono móvil durante 2 horas y el otro se utilizó como grupo de control que no estuvo expuesto a ningún campo. Después de eso, las células mononucleares se aislaron de la sangre periférica mediante centrifugación en gradiente de densidad en Ficoll-Paque. El contenido intracelular de ROS en monocitos y linfocitos se midió mediante la sonda de fluorescencia CM-H2DCFDA utilizando la técnica de citometría de flujo. RESULTADOS: Nuestros resultados mostraron un aumento significativo en la producción de ROS después de la exposición en la población rica en monocitos. Este efecto no fue significativo en la población rica en linfocitos en comparación con las células no expuestas. CONCLUSIÓN: Los resultados obtenidos en este estudio mostraron claramente la capacidad de inducción de estrés oxidativo del campo electromagnético de RF en la porción de PBMC principalmente en monocitos, como el caso de la exposición a microorganismos, aunque las ventajas o desventajas de este efecto deben evaluarse.

(E) Kerimoğlu G, Aslan A, Baş O, Çolakoğlu S, Odacı E. Efectos adversos en la morfología de la médula espinal lumbar y la bioquímica tisular en ratas macho Sprague Dawley tras la exposición a un campo electromagnético continuo de 900 MHz durante 1 hora al día durante la adolescencia. *J Chem Neuroanat.* 78:125-130, 2016.

Los teléfonos móviles, un elemento indispensable de la vida diaria, son utilizados hoy en día por los adolescentes en niveles casi adictivos. Por ello, los adolescentes están cada vez más expuestos a los efectos del campo electromagnético (CEM) emitido por los teléfonos móviles. El objetivo de este estudio fue investigar el efecto de la exposición a un CEM de 900 MHz durante la adolescencia sobre la médula espinal lumbar mediante técnicas histopatológicas, inmunohistoquímicas y bioquímicas.

Se incluyeron en el estudio veinticuatro ratas Sprague Dawley (28,3-43,9 g) de 21 días de edad. Se dividieron equitativamente en tres grupos: control (CG), simulación (SG) y electromagnético (ELMAG). No se realizó ningún procedimiento en las ratas CG hasta el final del estudio. Las ratas SG y ELMAG se mantuvieron dentro de una jaula EMF (EMFC) durante 1 hora al día todos los días a la misma hora entre los días 22 y 60 posnatales. Durante este tiempo, las ratas ELMAG estuvieron expuestas al efecto de un EMF de 900 MHz, mientras que las ratas SG se mantuvieron en la EMFC sin estar expuestas a

EMF. Al final del estudio, se extrajeron las regiones lumbares de las médulas espinales de todas las ratas en todos los grupos. La mitad de cada tejido extraído se almacenó a  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  para el análisis bioquímico, mientras que la otra mitad se utilizó para análisis histopatológicos e inmunohistoquímicos. En términos de histopatología, se observó una médula espinal lumbar con morfología normal en los otros grupos, mientras que la irregularidad morfológica en la materia gris, el aumento de la vacuolización y la infiltración de materia blanca en la materia gris fueron pronunciadas en las ratas ELMAG. El citoplasma de algunas neuronas en la materia gris se encogió y se tiñó de oscuro, y se observaron vacuolas en los citoplasmas. El índice apoptótico de las células gliales y las neuronas fue significativamente mayor en ELMAG en comparación con los otros grupos. El análisis bioquímico reveló un valor de MDA significativamente mayor en ELMAG en comparación con CG, mientras que los niveles de SOD y GSH disminuyeron significativamente. En conclusión, los resultados de nuestro estudio sugieren que la exposición continua a un campo electromagnético de 900 MHz durante 1 hora al día durante todas las etapas de la adolescencia puede provocar alteraciones a nivel morfológico y bioquímico en la médula espinal de la región lumbar de ratas Sprague Dawley.

(E) Kerimoğlu G, Hancı H, Baş O, Aslan A, Erol HS, Turgut A, Kaya H, Çankaya S, Sönmez OF, Odacı E. Efectos perniciosos del campo electromagnético continuo y de largo plazo de 900 MHz durante la adolescencia sobre la morfología, la bioquímica y el número de neuronas piramidales del hipocampo en ratas macho Sprague Dawley de 60 días de edad. Revista de Neurología, 2016.

El sistema nervioso central (SNC) comienza a desarrollarse en el período intrauterino, un proceso que continúa hasta la edad adulta. Por lo tanto, el contacto con sustancias químicas, fármacos o agentes ambientales como los campos electromagnéticos (CEM) durante la adolescencia tiene el potencial de alterar el desarrollo de la arquitectura morfológica de los componentes del SNC (como el hipocampo). El hipocampo es esencial para funciones tan diversas como la adquisición e integración de la memoria y la maniobrabilidad espacial. Los CEM pueden provocar graves daños tanto a la morfología del hipocampo como a sus principales funciones durante la adolescencia. Aunque los niños y adolescentes sufren una mayor exposición a los CEM que los adultos, la información disponible actualmente sobre los efectos de la exposición a los CEM durante este período es aún insuficiente. Este estudio investigó el hipocampo de ratas macho de 60 días de edad tras la exposición a CEM de 900 megahercios (MHz) durante el período de la adolescencia utilizando técnicas de análisis estereológico, histopatológico y bioquímico. Dieciocho ratas Sprague Dawley macho de 21 días de edad se asignaron aleatoriamente a grupos de control, grupo simulado y grupo CEM. No se realizó ningún procedimiento en las ratas del grupo de control. El grupo EMF (EMFGr) fue expuesto a un EMF de 900 MHz durante 1 h al día desde el principio hasta el final de la adolescencia. Las ratas del grupo simulado se mantuvieron en la jaula EMF pero no fueron expuestas a EMF. Todas las ratas fueron sacrificadas a los 60 días de edad. Sus cerebros fueron extraídos y divididos por la mitad. Los hemisferios izquierdos se reservaron para análisis bioquímicos y los hemisferios derechos se sometieron a evaluación estereológica e histopatológica. El examen histopatológico reveló un mayor número de neuronas picnóticas con citoplasma negro o azul oscuro en portaobjetos EMFGr teñidos con violeta de cresilo. Los análisis estereológicos revelaron menos neuronas piramidales en EMFGr que en los otros dos grupos. Los análisis bioquímicos mostraron un aumento en los niveles de malondialdehído y glutatión, pero una disminución en los niveles de catalasa en EMFGr. Nuestros resultados indican que el daño morfológico relacionado con el estrés oxidativo y la pérdida de neuronas piramidales pueden observarse en el hipocampo de ratas después de la exposición a campos electromagnéticos de 900 MHz durante el período de la adolescencia.

(E) Kerimoğlu G, Mercantepe T, Erol HS, Turgut A, Kaya H, Çolakoğlu S, Odacı E.

Efectos de la exposición prolongada a un campo electromagnético de 900 megahercios sobre la morfología y la bioquímica del corazón de ratas adolescentes macho. *Biotech Histochem.* 11 de agosto de 2016:1-10. [Publicación electrónica antes de su impresión]

Los efectos patológicos de la exposición a un campo electromagnético (CEM) durante la adolescencia pueden ser mayores que los de la edad adulta. Investigamos los efectos de la exposición a un CEM de 900 MHz durante la adolescencia en ratas adultas macho. Se dividieron veinticuatro ratas macho de 21 días de edad en tres grupos iguales: control (Cont-Gr), simulación (Shm-Gr) y exposición a CEM (EMF-Gr).

Las ratas EMF-Gr se colocaron en una jaula de exposición a EMF (jaula de plexiglás) durante 1 h/día entre los días 21 y 59 posnatales y se expusieron a EMF de 900 MHz. Las ratas Shm-Gr se colocaron dentro de la jaula de plexiglás en las mismas condiciones y durante la misma duración, pero no se expusieron a EMF. Todos los animales fueron sacrificados el día 60 posnatal y se les extrajeron los corazones para análisis microscópicos y bioquímicos. El análisis bioquímico mostró niveles aumentados de malondialdehído y superóxido dismutasa, y niveles reducidos de glutatión y catalasa en EMF-Gr en comparación con los animales Cont-Gr. Las secciones teñidas con hematoxilina y eosina de los animales EMF-Gr exhibieron cambios estructurales y congestión capilar en el miocardio. El porcentaje de células miocárdicas apoptóticas en EMF-Gr fue mayor que en los animales Shm-Gr o Cont-Gr. La microscopía electrónica de transmisión de células miocárdicas de animales EMF-Gr mostró una estructura alterada de las bandas Z, una disminución de los miofilamentos y una vacuolización pronunciada.

Descubrimos que la exposición de ratas macho a campos electromagnéticos de 900 MHz durante 1 h/día durante la adolescencia provocó estrés oxidativo, que causó una alteración estructural del tejido cardíaco de ratas adolescentes macho.

(E) Kerimoğlu G, Güney C, Ersöz Ş, Odacı EA Evaluación histopatológica y bioquímica de la lesión oxidativa en los nervios ciáticos de ratas macho expuestas a un campo electromagnético continuo de 900 megahercios durante todos los períodos de la adolescencia. *J Chem Neuroanat.* 91:1-7, 2018.

Los efectos sobre la salud humana de los campos electromagnéticos (CEM) emitidos por los teléfonos móviles, utilizados por aproximadamente 7 mil millones de personas en todo el mundo, se han convertido en un tema importante para la investigación científica. Los estudios han sugerido que los CEM emitidos por los teléfonos móviles pueden causar estrés oxidativo en diferentes tejidos y grupos de edad. Los jóvenes en la adolescencia, un período de tiempo en el que aumentan las conductas de riesgo y las dependencias, utilizan los teléfonos móviles más que los adultos. Los CEM emitidos por los teléfonos móviles, que generalmente se llevan en el bolsillo o en el bolso cuando no se utilizan, muy probablemente afectarán al nervio ciático. Ningún estudio previo ha investigado el efecto del uso del teléfono móvil en la adolescencia sobre el nervio periférico. Este estudio se planificó en consecuencia. Veinticuatro ratas Sprague Dawley macho de 21 días de edad se dividieron por igual en grupos de control (CGr), simulado (SGr) y CEM (EMFGr). No se realizó ningún procedimiento en ratas CGr. Los EMFGr estuvieron expuestos al efecto de un EMF de 900 megahercios (MHz) durante 1 hora a la misma hora todos los días entre los días postnatales 21 y 59 (todo el período de la adolescencia) dentro de una jaula en el aparato EMF.

Las ratas SGr se colocaron dentro de la jaula durante 1 h todos los días sin exponerlas a campos electromagnéticos. Todas las ratas fueron sacrificadas al final del período de estudio y se extrajeron secciones de 1 cm del nervio ciático. Se investigaron bioquímicamente los valores de malondialdehído (MDA), glutatión, catalasa (CAT) y superóxido dismutasa (SOD) en la mitad de los tejidos del nervio ciático derecho.

Las otras mitades de los tejidos nerviosos se sometieron a un análisis histopatológico de rutina.

procedimientos, seccionados y teñidos con hematoxilina y eosina (H&E) y tricrómico de Masson. La evaluación histopatológica de los portaobjetos teñidos con tricrómico de Masson y H&E reveló una apariencia normal en las células de Schwann y los axones en todos los grupos. Sin embargo, hubo un marcado engrosamiento en el epineuro de los nervios ciáticos de ratas EMFGr. Los niveles de MDA, SOD y CAT fueron más altos en EMFGr que en CGr y SGr en los análisis bioquímicos. El análisis del índice apoptótico (IA) reveló un aumento significativo en el número de células TUNEL (+) cuando se comparó EMFGr con CGr y SGr. En conclusión, los resultados de nuestro estudio sugieren que la exposición continua a un EMF de 900 MHz durante 1 h a lo largo de la adolescencia puede causar daño oxidativo y engrosamiento en el epineuro del nervio ciático en ratas macho.

(E) \*Kesari KK, Behari J. Exposición a microondas que afecta el sistema reproductivo en ratas macho. Appl Biochem Biotechnol 31:495-498, 2010. (LI)

El objetivo del presente estudio es investigar los efectos de los campos electromagnéticos de frecuencia de microondas de 50 GHz en el sistema reproductivo de ratas macho. En el estudio se utilizaron ratas macho de la cepa Wistar. Los animales de 60 días de edad se dividieron en dos grupos: el grupo I de exposición simulada y el grupo II experimental (expuesto a microondas). Durante la exposición, las ratas se confinaron en jaulas de plexiglás con orificios de ventilación perforados durante 2 horas al día durante 45 días de forma continua a una tasa de absorción específica especificada de  $8.0 \times 10^{-4}$  W/kg. Después de la última exposición, las ratas se sacrificaron inmediatamente y se recogieron los espermatozoides. Se analizaron las enzimas antioxidantes (superóxido dismutasa (SOD), glutatión peroxidasa (GPx) y catalasa), la histona quinasa, la apoptosis y el ciclo celular en los espermatozoides. Los resultados muestran una disminución significativa en el nivel de actividad de GPx y SOD en los espermatozoides ( $p \leq 0.05$ ), mientras que la catalasa muestra un aumento significativo en el grupo expuesto de muestras de esperma en comparación con el control ( $p < 0.02$ ). Observamos una disminución estadísticamente significativa en la actividad media de la histona quinasa en comparación con el control ( $p < 0.016$ ). El porcentaje de células que se dividen en una espermatogénesis se estimó analizando el ADN por célula mediante citometría de flujo. El porcentaje de apoptosis en el grupo expuesto al campo electromagnético muestra una proporción mayor en comparación con el grupo expuesto simulado ( $p < 0.004$ ). No hubo diferencias significativas en la fase G(0)/G; sin embargo, se obtuvo una disminución significativa ( $p < 0.026$ ) en la fase S. Los resultados también indican una disminución en el porcentaje de la fase de transición G/M del ciclo celular en el grupo expuesto en comparación con el grupo expuesto simulado ( $p < 0.019$ ). Concluimos que estas radiaciones pueden tener un efecto significativo en el sistema reproductivo de las ratas macho, lo que puede ser una indicación de infertilidad masculina.

(E) Kesari KK, Behari J. Evidencia de los efectos de la exposición a la radiación de los teléfonos móviles en el patrón reproductivo de ratas macho: papel de las ROS. Electromagn Biol Med. 31(3):213-22, 2012.

La relación entre los campos electromagnéticos de radiofrecuencia emitidos por los teléfonos móviles y la infertilidad es un tema de debate continuo. Se postula que estas radiaciones pueden afectar el patrón reproductivo al actuar sobre la bioquímica de los espermatozoides. En un intento de acelerar el tema, se expuso a ratas Wistar de 70 días de edad ( $n = 6$ ) a la radiación de radiofrecuencia (RF) de teléfonos móviles durante 2 horas al día durante 45 días y se compararon los datos con el grupo de exposición simulada ( $n = 6$ ). Se observó una disminución significativa ( $P < 0.05$ ) en el nivel de testosterona.

y se encontró un aumento en la actividad de la caspasa-3 en los animales expuestos a RF. También se observaron distorsiones en la cabeza del espermatozoide y en la parte media de la vaina mitocondrial del espermatozoide, capturadas por microscopio electrónico de transmisión (TEM). Además, la progenie de ratas expuestas a RF mostró disminuciones significativas en número y peso en comparación con la de los animales expuestos simuladamente. Una reducción en la testosterona, un aumento en la caspasa-3 y una distorsión en los espermatozoides podrían ser causadas por la sobreproducción de especies reactivas de oxígeno (ROS) en animales expuestos a la radiación de teléfonos móviles. Nuestros hallazgos sobre estos biomarcadores son indicaciones claras de posibles implicaciones para la salud de la exposición repetida a la radiación de teléfonos móviles.

(E) Kesari KK, Kumar S, Behari J. Uso de teléfonos móviles e infertilidad masculina en ratas Wistar. Indian J Exp Biol. 48(10):987-992, 2010.

Se observó una disminución significativa de la proteína quinasa C y del recuento total de espermatozoides junto con un aumento de la apoptosis en ratas Wistar macho expuestas a frecuencias de telefonía móvil (2 h/día x 35 días a una tasa de absorción específica de 0,9 W/kg). Los resultados sugieren que una reducción de la actividad de la proteína quinasa puede estar relacionada con la sobreproducción de especies reactivas de oxígeno (ROS) bajo la exposición al campo de microondas. La disminución del recuento de espermatozoides y un aumento de la apoptosis pueden ser factores causales debido a la exposición a la radiación móvil que conduce a la infertilidad.

(E) Kesari KK, Kumar S, Behari J. Efectos de la exposición a ondas electromagnéticas de radiofrecuencia de teléfonos celulares sobre el patrón reproductivo en ratas Wistar macho. Appl Biochem Biotechnol. 164(4):546-559, 2011.

El presente estudio investiga el efecto de la formación de radicales libres debido a la exposición al teléfono móvil y el efecto sobre el patrón de fertilidad en ratas Wistar macho de 70 días de edad (expuestas simuladamente y expuestas). La exposición se llevó a cabo en jaulas de plexiglás durante 2 ha día durante 35 días a la frecuencia del teléfono móvil. La tasa de absorción específica se estimó en 0,9 W/kg. Un análisis de las enzimas antioxidantes glutatión peroxidasa ( $P < 0,001$ ) y superóxido dismutasa ( $P < 0,007$ ) mostró una disminución, mientras que se observó un aumento de la catalasa ( $P < 0,005$ ).

El malondialdehído ( $P < 0,003$ ) mostró un aumento y la histona quinasa ( $P = 0,006$ ) mostró una disminución significativa en el grupo expuesto. Los micronúcleos también muestran una disminución significativa ( $P < 0,002$ ) en el grupo expuesto. Un cambio significativo en el ciclo celular del espermatozoide de G(0)-G(1)

( $P = 0,042$ ) y G(2)/M ( $P = 0,022$ ). Se registró un aumento significativo de la generación de radicales libres ( $P = 0,035$ ). Nuestros hallazgos sobre antioxidantes, malondialdehído, histona quinasa, micronúcleos y ciclo celular del espermatozoide son indicaciones claras de un patrón de infertilidad, iniciado debido a una sobreproducción de especies reactivas de oxígeno. Se concluye que las ondas electromagnéticas de radiofrecuencia de los teléfonos celulares disponibles comercialmente podrían afectar el potencial de fertilización de los espermatozoides.

(E) \*Kesari KK, Kumar S, Behari J. La radiación de microondas de 900 MHz promueve la oxidación en el cerebro de ratas. Electromagn Biol Med. 30(4):219-234, 2011.

Recientemente, han aparecido varios informes que hacen referencia a los efectos perjudiciales de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF). Se prestó especial atención a investigar el efecto de la exposición a teléfonos móviles en el cerebro de ratas.

El mecanismo de todo el cuerpo se encuentra en el cerebro, por lo que es sugerente analizar sus aspectos bioquímicos. Para ello, ratas Wistar de 35 días de edad fueron expuestas a un teléfono móvil durante 2 h al día durante 45 días, donde la tasa de absorción específica (SAR) fue de 0,9 W/Kg. Los animales se dividieron en dos grupos: grupo de exposición simulada (n = 6) y grupo expuesto (n = 6). Nuestras observaciones indican una disminución significativa ( $P < 0,05$ ) en el nivel de glutatión peroxidasa, superóxido dismutasa y un aumento en la actividad de la catalasa. Además, la proteína quinasa muestra una disminución significativa ( $P < 0,05$ ) en el grupo expuesto de hipocampo y cerebro completo. Además, se observó una disminución significativa ( $P < 0,05$ ) en el nivel de melatonina pineal y un aumento significativo ( $P < 0,05$ ) en la creatina quinasa y la caspasa 3 en el grupo expuesto de cerebro completo en comparación con la exposición simulada. Por último, también se registró un aumento significativo del nivel de ROS (especies reactivas de oxígeno) ( $P < 0,05$ ). El estudio concluye que una reducción o un aumento de las actividades de las enzimas antioxidantes, proteína quinasa C, melatonina, caspasa 3 y creatina quinasa están relacionadas con la sobreproducción de especies reactivas de oxígeno (ROS) en animales expuestos a la radiación de los teléfonos móviles. Nuestros hallazgos sobre estos biomarcadores son indicaciones claras de posibles implicaciones para la salud.

(E) Khalil AM, Gagaa MH, Alshamali AM. 8-Oxo-7, 8-dihidro-2'-desoxiguanosina como biomarcador de daño del ADN por la radiación de los teléfonos móviles. *Hum Exp Toxicol.* 31(7):734-740, 2012.

Examinamos el efecto de la exposición a la radiación de radiofrecuencia (RFR) de 1800 MHz de los teléfonos móviles sobre la excreción urinaria de 8-oxo-7, 8-dihidro-2'-desoxiguanosina (8-oxodG), una forma importante de daño oxidativo del ADN, en ratas Sprague-Dawley macho adultas. Se utilizaron veinticuatro ratas en tres experimentos independientes (expuestas a RFR y control, 12 ratas, cada uno). Los animales fueron expuestos a RFR durante 2 h desde un generador de señales del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) con una tasa de absorción específica para todo el cuerpo de 1,0 W/kg. Se recogieron muestras de orina de la rata mientras estaba alojada en una jaula metabólica durante el período de exposición durante un período de 4 h a las 0,5, 1,0, 2,0 y 4,0 h desde el comienzo de la exposición. En el grupo de control, el generador de señales se dejó en la posición de apagado. Se midieron las concentraciones estandarizadas de creatinina de 8-oxodG. Con la excepción de la orina recogida en la última media hora de exposición, se observaron elevaciones significativas en los niveles de 8-oxodG en muestras de orina de ratas expuestas a RFR en comparación con los animales de control. Se observaron diferencias significativas en general en los distintos momentos de la recolección de orina, con un máximo 1 hora después de la exposición, lo que sugiere una reparación de las lesiones del ADN que conducen a la formación de 8-oxodG.

(NE) \*Khalil AM, Abu Khadra KM, Aljaberi AM, Gagaa MH, Issa HS. Evaluación del estado oxidante/antioxidante en la saliva de usuarios de teléfonos móviles. *Electromagn Biol Med.* 33(2):92-97, 2014.

Resumen En la literatura se han descrito efectos nocivos para la salud derivados de la exposición a la radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF-EMR) emitida por los teléfonos móviles. Sin embargo, los objetivos celulares y moleculares de la RF-EMR siguen siendo controvertidos. El objetivo de este estudio fue examinar el estado oxidante/antioxidante en la saliva de usuarios de teléfonos celulares. Las muestras de saliva recolectadas antes de usar un teléfono celular, así como al final de 15

y se probaron llamadas de 30 minutos para dos biomarcadores de estrés oxidativo de uso común: malondialdehído (MDA) y 8-oxo-7,8-dihidro-2'-desoxiguanosina (8-Oxo-dG). Los niveles de oxo-dG se determinaron mediante un ensayo de inmunoabsorción ligado a enzimas (ELISA), mientras que los niveles de MDA se midieron utilizando el kit ELISA de aductos de MDA OxiSelect. La capacidad antioxidante de la saliva se evaluó utilizando los ensayos de capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC) y capacidad de evitación de radicales hidroxilo (HORAC) de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Las concentraciones medias de 8-oxo-dG y de proteína Bradford (ng/ml y mg/ml, respectivamente) alcanzaron un máximo a los 15 min. Los niveles de HORAC, ORAC y MDA aumentaron progresivamente con el tiempo y alcanzaron un máximo a los 30 min. Sin embargo, no se observó un efecto significativo del tiempo de conversación sobre los niveles de 8-Oxo-dG y MDA. De manera similar, no se observó un efecto estadísticamente significativo del tiempo de conversación sobre las capacidades de prevención de radicales de oxígeno e hidroxilo (ORAC) y (HORAC), respectivamente. Estos hallazgos sugieren que no existe una relación entre la exposición a la radiación de radiofrecuencia (RFR) y los cambios en el perfil oxidante/antioxidante salival.

(E) Kim JY, Kim HJ, Kim N, Kwon JH, Park MJ. Efectos de la exposición a campos de radiofrecuencia sobre el estrés oxidativo inducido por glutamato en células HT22 del hipocampo de ratón. *Int J Radiat Biol.* 93(2):249-256, 2017.

OBJETIVO: Para definir el impacto de la radiofrecuencia (RF) en condiciones experimentales in vitro de la enfermedad de Alzheimer, investigamos el efecto de la radiación RF sobre el estrés oxidativo inducido por glutamato en células neuronales HT22 del hipocampo de ratón. MATERIALES Y MÉTODOS: La tasa de supervivencia celular se midió mediante ensayos de exclusión de azul tripán y MTT. La distribución del ciclo celular, la muerte celular y la producción de ROS se analizaron mediante citometría de flujo. La expresión de proteínas se analizó mediante Western blot. RESULTADOS: La exposición a RF por sí sola tuvo un impacto marginal en la proliferación celular, sin embargo mejoró significativamente la citotoxicidad inducida por glutamato en células HT22. El glutamato aumentó la fracción subG1 del ciclo celular, la población celular positiva a anexina/yoduro de propidio y la expresión de la poli (ADP ribosa) polimerasa escindida, que aumentaron aún más con la exposición a RF. La generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) inducida por glutamato y la exposición a RF la reguló aún más. El tratamiento con N-acetilcisteína (NAC) anuló por completo la producción de ROS inducida por glutamato y RF seguida de muerte celular y restableció la proliferación celular en células HT22. Finalmente, el glutamato fosforiló la quinasa N-terminal c-Jun (JNK) y RF aumentó aún más este evento. El tratamiento con NAC e inhibidor de JNK disminuyó la fosforilación de JNK y restableció la proliferación celular, respectivamente. CONCLUSIONES: Nuestros resultados demuestran que la exposición a RF mejoró la citotoxicidad inducida por glutamato al aumentar aún más la producción de ROS en las células HT22.

(E) Kim MJ, Rhee SJ. Las catequinas del té verde protegen a las ratas del daño oxidativo inducido por microondas en el tejido cardíaco. *J Med Food.* 7(3):299-304, 2004.

Investigamos los efectos de la catequina del té verde sobre el daño oxidativo en ratas expuestas a microondas. Las ratas expuestas a microondas recibieron una de tres dietas: sin catequina (MW-0C), 0,25% de catequina (MW-0,25C) o 0,5% de catequina (MW-0,5C). Las ratas fueron sacrificadas 6 días después de la irradiación con microondas (2,45 GHz, 15 minutos). Los niveles de citocromo P(450) en el grupo MW-0C aumentaron un 85% en comparación con los normales, pero fueron un 11% y un 14% más bajos en los grupos MW-0,25C y MW-0,5C que en el grupo MW-0C. La actividad de la NADPH-citocromo P(450) reductasa en el grupo MW-0C aumentó un 29%, en comparación con el normal.

grupo, pero fue significativamente menor en los grupos MW-0.25C y MW-0.5C. La actividad de la superóxido dismutasa en el grupo MW-0C disminuyó en un 34%, en comparación con el grupo normal, pero en los grupos MW-0.25C y MW-0.5C fue un 19% y un 25% mayor. La actividad de la glutatión peroxidasa en el grupo MW-0C disminuyó en un 28%, pero se mantuvo cerca de lo normal con los suplementos de catequina. Las concentraciones de radicales superóxido en el grupo MW-0C aumentaron en un 35%, en comparación con el grupo normal. Sin embargo, los radicales superóxido en los grupos MW-0.25C y MW-0.5C fueron un 11% y un 12% menores, respectivamente, en comparación con el grupo MW-0C. La irradiación con microondas aumentó significativamente los niveles de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico, los valores de carbonilo y los contenidos de lipofuscina, pero la catequina del té verde superó parcialmente los efectos de la irradiación con microondas. En conclusión, se activó el sistema de oxidasa de función mixta, se aumentó la formación de radical superóxido, peróxido lipídico, proteína oxidada y lipofuscina, y se debilitó el sistema de defensa antioxidante en el tejido cardíaco de ratas expuestas a microondas, pero el daño oxidativo se redujo significativamente con la suplementación con catequina.

(NE) \*Kismali G, Ozgur E, Guler G, Akcay A, Sel T, Seyhan N. La influencia de las señales de tipo GSM de 1800 MHz en la química sanguínea y el estrés oxidativo en conejas preñadas y no preñadas. *Int J Radiat Biol.* 88(5):414-419, 2012.

OBJETIVO: Los campos electromagnéticos ambientales se originan en fuentes artificiales, como teléfonos móviles y estaciones base, y han provocado una creciente preocupación pública sobre sus posibles efectos adversos para la salud. Nuestro objetivo fue investigar los posibles efectos de la radiación de radiofrecuencia (RFR) generada por estos dispositivos en animales hipersensibles, como conejas preñadas. MATERIALES Y MÉTODOS: En el presente estudio, se investigaron los efectos de la exposición de cuerpo entero a RFR de 1800 MHz similar al Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) durante 15 minutos/día durante siete días sobre la química sanguínea y los niveles de peroxidación lipídica en conejas blancas de Nueva Zelanda preñadas y no preñadas. Se estudiaron conejos de trece meses de edad en los siguientes cuatro grupos: control no preñada, no preñadas expuestas a RFR, control preñadas y embarazadas expuestas a RFR. RESULTADOS: La peroxidación lipídica, es decir, los niveles de malondialdehído (MDA), no cambiaron después de la exposición a RFR. Sin embargo, los parámetros de la química sanguínea, como el colesterol (CHO), la proteína total (TP), la albúmina (ALB), el ácido úrico, la creatinina y la creatina quinasa (CK) y la isoenzima de la banda miocárdica de la creatina quinasa (CK-MB) cambiaron debido tanto al embarazo como a la exposición a RFR. CONCLUSIÓN: Nuestras investigaciones han demostrado que no se detectó ninguna indicación de estrés oxidativo en la sangre de conejas preñadas tras la exposición a RF en las condiciones específicas empleadas en el presente estudio. Se detectaron cambios menores en algunos parámetros de la química sanguínea, pero se encontraron aumentos notables de CK-MB y CK. Los estudios sobre la exposición a RFR durante el embarazo ayudarán a establecer estándares internacionales para la protección de las mujeres embarazadas de la RFR ambiental.

(E) Kivrak EG, Altunkaynak BZ, Alkan I, Yurt KK, Kocaman A, Onger ME. Efectos de la radiación de 900 MHz en el hipocampo y el cerebelo de ratas adultas y atenuación de dichos efectos mediante ácido fólico y *Boswellia sacra*. *J Microsc Ultrastruct.*;5(4):216-224,2017.

La radiación emitida por los teléfonos móviles tiene diversos efectos nocivos para la salud humana. Este estudio se realizó para evaluar los efectos de la exposición a los campos electromagnéticos (CEM) de radiación de 900 MHz emitidos por los teléfonos móviles en el cuerno de Amón y el giro dentado (GD) en el hipocampo y el cerebelo de los Wistar machos.

Ratas albinas. También investigamos los efectos neuroprotectores de los antioxidantes Boswellia sacra (BS) y ácido fólico (FA) contra la exposición a los campos electromagnéticos. Veinticuatro ratas macho adultas se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos de seis animales cada uno, un grupo de campos electromagnéticos, un grupo de exposición a campos electromagnéticos + FA (EFA), un grupo de exposición a campos electromagnéticos + BS (EBS) y un grupo de control (Cont). Los grupos de campos electromagnéticos, EFA y EBS fueron expuestos a una radiación de campos electromagnéticos de 900 MHz dentro de un tubo una vez al día durante 21 días (60 min/día). El grupo Cont no fue expuesto a campos electromagnéticos de 900 MHz. Los resultados mostraron que los campos electromagnéticos causaron una disminución significativa en el número total de células piramidales y granulares en el hipocampo, y en el número de células DG y de Purkinje en el cerebelo en el grupo de campos electromagnéticos en comparación con los otros grupos ( $p < 0,05$ ). BS y FA atenuaron los efectos neurodegenerativos de los campos electromagnéticos en el hipocampo y el cerebelo. También se determinaron diferencias significativas entre el número de neuronas en los grupos EFA y EMF, y entre los grupos EBS y EMF ( $p < 0,05$ ). Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre Cont, EFA y EBS ( $p > 0,05$ ). Nuestros resultados pueden contribuir a la investigación en curso sobre los efectos de la exposición a EMF de 900 MHz.

Kivrak EG, Yurt KK, Kaplan AA, Alkan I, Altun G. Efectos de la exposición a campos electromagnéticos en el sistema de defensa antioxidante. J Microsc Ultrastruct. 2017 Oct-Dec;5(4):167-176, 2017. (Revisión)

Los aparatos tecnológicos se han convertido en componentes esenciales de la vida diaria. Sin embargo, sus efectos nocivos sobre el organismo, en particular sobre el sistema nervioso, son bien conocidos. Los campos electromagnéticos (CEM) tienen diversos efectos químicos, entre ellos, el deterioro de las moléculas grandes de las células y el desequilibrio del equilibrio iónico.

A pesar de ser esenciales para la vida, las moléculas de oxígeno pueden generar subproductos peligrosos, conocidos como especies reactivas de oxígeno (ROS), durante las reacciones biológicas. Estas especies reactivas de oxígeno pueden dañar componentes celulares como proteínas, lípidos y ADN. Los sistemas de defensa antioxidantes existen para mantener la formación de radicales libres bajo control y prevenir sus efectos nocivos sobre el sistema biológico. La formación de radicales libres puede tener lugar de varias formas, incluida la luz ultravioleta, los medicamentos, la oxidación de lípidos, las reacciones inmunológicas, la radiación, el estrés, el tabaquismo, el alcohol y las reacciones bioquímicas redox. El estrés oxidativo se produce si el sistema de defensa antioxidante es incapaz de prevenir los efectos nocivos de los radicales libres. Varios estudios han informado que la exposición a los campos electromagnéticos produce estrés oxidativo en muchos tejidos del cuerpo. Se sabe que la exposición a los campos electromagnéticos aumenta las concentraciones de radicales libres y la trazabilidad y puede afectar la recombinación de pares de radicales. El propósito de esta revisión fue destacar el impacto del estrés oxidativo en los sistemas antioxidantes.

(E) Koohestani NV, Zavareh S, Lashkarbolouki T, Azimipour F. La exposición a teléfonos celulares induce estrés oxidativo en folículos preantrales de ratones durante el cultivo in vitro: un estudio experimental. Int J Reprod Biomed (Yazd). 22 de septiembre de 2019;17(9):637-646.

**ANTECEDENTES:** Se ha propuesto que las radiaciones emitidas por los teléfonos móviles afectan la salud de las personas, mediada por varios mecanismos como la inducción de estrés oxidativo.

**OBJETIVO:** Este estudio tiene como objetivo investigar el efecto de la exposición al teléfono celular en el estado oxidativo de los folículos preantrales (PF) de ratones durante el cultivo in vitro.

**MATERIALES Y MÉTODOS:** Los PF (n = 2580) se aislaron mecánicamente de ratones NMRI de 16 a 18 días de edad (n = 50) y se dividieron en grupos de control y expuestos al teléfono celular. Los PF se cultivaron durante 12 días y se indujo la ovulación utilizando gonadotropina coriónica humana. Se evaluaron los parámetros de desarrollo que incluyen tamaño, supervivencia, formación de cavidad antral, ovulación y maduración de ovocitos. Paralelamente, se evaluaron las actividades antioxidantes enzimáticas, la capacidad antioxidante total (CAT) y los niveles de malondialdehído (MDA).

**RESULTADOS:** Los diámetros y las tasas de supervivencia, formación del antro, ovulación y metafase II de los ovocitos de las PF expuestas al teléfono celular fueron significativamente menores que los del grupo control ( $p \leq 0,001$ ). Las PF expuestas al teléfono celular tuvieron una actividad significativamente menor de superóxido dismutasa (SOD), glutatión peroxidasa (GPX) y catalasa (CAT) en comparación con el grupo control. En las PF expuestas al teléfono celular, el nivel de TAC fue significativamente menor ( $p \leq 0,001$ ) y los niveles de MDA fueron significativamente mayores ( $p \leq 0,001$ ), en comparación con los del grupo control.

**CONCLUSIÓN:** La exposición al teléfono celular comprometió la competencia de desarrollo de las PF de ratones al aumentar el estrés oxidativo.

(E) Koylu H, Mollaoglu H, Ozguner F, Nazyroglu M, Delibab N. La melatonina modula los cambios de peroxidación lipídica inducidos por microondas de 900 Mhz en el cerebro de ratas. *Toxicol Ind Health*. 22(5):211-216, 2006.

Las microondas (MW) de los teléfonos celulares pueden afectar los sistemas biológicos al aumentar los radicales libres, lo que puede aumentar los niveles de peroxidación lipídica del cerebro, lo que conduce a un daño oxidativo. La melatonina se sintetiza y secreta en la glándula pineal por la noche y exhibe propiedades antioxidantes. Varios estudios sugieren que la suplementación con antioxidantes puede influir en el daño cerebral inducido por MW. El presente estudio fue diseñado para determinar los efectos de MW en el sistema de peroxidación lipídica del cerebro y los posibles efectos protectores de la melatonina en la degeneración cerebral inducida por MW. Veintiocho ratas macho Sprague-Dawley se dividieron aleatoriamente en tres grupos de la siguiente manera: (1) grupo de control operado simuladamente (N = 8); (2) grupo de estudio expuesto a MW de 900 MHz (N = 8); y (3) Grupo tratado con exposición a MW de 900 MHz + melatonina (100 microg/kg sc antes de la exposición diaria a MW) (N = 10). Se extrajeron tejidos de la corteza cerebral y del hipocampo para estudiar los niveles de peroxidación lipídica como malonil dialdehído. Los niveles de peroxidación lipídica en la corteza cerebral y el hipocampo aumentaron en el grupo de MW en comparación con el grupo de control, aunque los niveles en el hipocampo disminuyeron con la administración de MW + melatonina. Los niveles de peroxidación lipídica en la corteza cerebral no se vieron afectados por el tratamiento con melatonina. Concluimos que la melatonina puede prevenir los cambios oxidativos inducidos por MW en el hipocampo al fortalecer el sistema de defensa antioxidante, al reducir los productos del estrés oxidativo.

(E) Kulaber A, Kerimoğlu G, Ersöz Ş, Çolakoğlu S, Odacı E. Alteraciones de la morfología tímica y biomarcadores antioxidantes en ratas macho de 60 días de edad después de la exposición a un campo electromagnético continuo de 900 MHz durante la adolescencia. *Biotech Histochem*. 92(5):331-337, 2017.

Investigamos los cambios en el tejido tímico de ratas macho expuestas a un campo electromagnético (CEM) de 900 megahercios (MHz) entre los días 22 y 59 después del nacimiento. Se asignaron tres grupos de seis ratas Sprague-Dawley macho de 21 días de edad como: grupo control (CG), grupo simulado (SG) y grupo CEM (EMFG). No se realizó ningún procedimiento en las ratas CG. Las ratas SG se colocaron en una jaula de plexiglás durante 1 h todos los días entre los días 22 y 59 posnatales sin exposición a campos electromagnéticos. Las ratas EMFG se colocaron en la misma jaula durante los mismos períodos que las ratas SG y se expusieron a campos electromagnéticos de 900 MHz. Las ratas se sacrificaron el día 60 posnatal. Se tiñeron secciones del timo para evaluación histológica. Se investigaron bioquímicamente los parámetros oxidantes/antioxidantes. Los niveles de malondialdehído (MDA) en EMFG aumentaron en comparación con los otros grupos. Se observaron eritrocitos extravasculares en las regiones medular/corticomedular en secciones de EMFG. Descubrimos que la aplicación de EMF de 900 MHz durante 1 h/día entre los días 22 y 59 después del nacimiento puede aumentar la MDA tisular y los cambios histopatológicos en el tejido tímico de ratas macho.

(E) Kumar S, Nirala JP, Behari J, Paulraj R. Efecto de la irradiación electromagnética producida por un teléfono móvil 3G en el sistema reproductor de ratas macho en un escenario simulado.

Revista de Ciencias Biológicas de la India. 52(9):890-897, 2014.

Los informes sobre la disminución de la fertilidad masculina han renovado el interés por evaluar el papel de los campos electromagnéticos (CEM). La función testicular es particularmente susceptible a la radiación emitida por los CEM. Se observó una disminución significativa en el recuento de espermatozoides, un aumento en el daño por peroxidación lipídica en los espermatozoides, una reducción en los túbulos seminíferos y el peso testicular y daño en el ADN después de la exposición a CEM en ratas albinas macho. Los resultados sugieren que la exposición a teléfonos móviles afecta negativamente a la fertilidad masculina.

(E) Kuzay D, Ozer C, Sirav B, Canseven AG, Seyhan N. Efectos oxidativos del campo magnético de frecuencia extremadamente baja y la radiación de radiofrecuencia en los tejidos testiculares de ratas diabéticas y sanas. Bratisl Lek Listy. 118(5):278-282, 2017.

Con el desarrollo de la tecnología, las personas están cada vez más expuestas a los campos electromagnéticos. Las personas con enfermedades crónicas como la diabetes ahora están expuestas a largo plazo a la radiación de radiofrecuencia-RF y a los campos magnéticos (MF) de frecuencia extremadamente baja (ELF). El propósito de este estudio actual es investigar los efectos oxidativos y los parámetros antioxidantes de los MF ELF y la radiación RF en el tejido testicular en ratas diabéticas y sanas. Las ratas macho Wistar se dividieron en 10 grupos. Se inyectó una dosis única intraperitoneal de STZ (65 mg/kg) disuelta en tampón de citrato (0,1 M (pH 4,5)) a los grupos de diabetes. Los MF ELF y la radiación RF se utilizaron como exposición electromagnética durante 20 min/día, 5 días/semana durante un mes. Se determinaron los niveles de malondialdehído (MDA) oxidante del tejido testicular y los antioxidantes glutatión (GSH) y óxido nítrico total (NOx). Se compararon los resultados de las pruebas ANOVA y Mann-Whitney;  $p < 0,05$  se consideró significativo. La radiación ELF y RF resultó en un aumento de los niveles de MDA y NOx en el tejido testicular ( $p < 0,05$ ), y causó una disminución de los niveles de GSH ( $p < 0,05$ ) tanto en ratas sanas como diabéticas, aunque de forma más distintiva en las ratas diabéticas. El efecto más pronunciado se registró en el grupo D-RF + ELF ( $p < 0,005$ ). Ambas prácticas de radiación aumentaron el estrés oxidativo en el tejido testicular al tiempo que causaron una disminución del nivel de antioxidantes que fue más distintiva en las ratas diabéticas (Tab. 1, Fig. 3, Ref. 30).

(E) Lai, H, Singh, NP, La melatonina y un compuesto de trampa de espín bloquean las roturas de cadenas de ADN inducidas por radiación electromagnética de radiofrecuencia en células cerebrales de rata. Bioelectromagnetismo 18(6):446-454, 1997.

Se investigaron los efectos de la exposición in vivo a microondas sobre las roturas de cadenas de ADN, una forma de daño del ADN, en células cerebrales de ratas. En investigaciones anteriores, hemos descubierto que la exposición aguda (2 horas) a la radiación electromagnética de radiofrecuencia (RFR) pulsada (pulsos de 2 microsegundos, 500 pps) de 2450 MHz (densidad de potencia 2 mW/cm<sup>2</sup>, tasa de absorción específica corporal promedio 1,2 W/kg) provocó un aumento de las roturas de cadenas simples y dobles de ADN en las células cerebrales de la rata cuando se analizó 4 horas después de la exposición utilizando un ensayo de electroforesis en microgel. En el presente estudio, descubrimos que el tratamiento de ratas inmediatamente antes y después de la exposición a RFR con melatonina (1 mg/kg/inyección, SC) o el compuesto de trampa de espín N-tert-butil-alfa-fenilnitrona (PBN) (100 mg/kg/inyección, ip) bloquea estos efectos de la RFR. Dado que tanto la melatonina como la PBN son eficaces captadores de radicales libres, se ha planteado la hipótesis de que los radicales libres están implicados en el daño del ADN inducido por la RFR en las células cerebrales de ratas. Dado que las roturas acumuladas de cadenas de ADN en las células cerebrales pueden provocar enfermedades neurodegenerativas y cáncer, y se ha sugerido que un exceso de radicales libres en las células es la causa de varias enfermedades humanas, los datos de este estudio podrían tener implicaciones importantes para los efectos de la exposición a la RFR en

(NE) Lantow M, Schuderer J, Hartwig C, Simko M. Liberación de radicales libres y expresión de HSP70 en dos líneas celulares inmunorrelevantes humanas después de la exposición a radiación de radiofrecuencia de 1800 MHz. Radiat Res. 165(1):88-94, 2006.

El objetivo de este estudio fue investigar si la exposición a campos electromagnéticos (CEM) de radiofrecuencia (RF) a 1800 MHz provoca la producción de radicales libres y/o la expresión de proteínas de choque térmico (HSP70) en sistemas celulares humanos relevantes para el sistema inmunitario. Se utilizaron células humanas Mono Mac 6 y K562 para examinar la liberación de radicales libres después de la exposición a condiciones de control de incubadora, simulación, CEM de RF, PMA, LPS, calor (40 grados C) o coexposición. Se utilizaron varias señales: onda continua, varias modulaciones típicas del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM): GSM-no DTX (solo habla), GSM-DTX (solo audición), GSM-Talk (34 % habla y 66 % audición) a tasas de absorción específicas (SAR) de 0,5, 1,0, 1,5 y 2,0 W/kg. El tratamiento con calor y PMA indujo un aumento significativo en los aniones radicales superóxido y en la producción de ROS en las células Mono Mac 6 en comparación con las condiciones simuladas y/o de incubación. No se detectaron diferencias significativas en la producción de radicales libres después de la exposición a EMF de RF o en los respectivos controles, y no se detectaron efectos adicionales en la producción de aniones radicales superóxido después de la coexposición a EMF de RF + PMA o EMF de RF + LPS. La señal GSM-DTX a 2 W/kg produjo una diferencia significativa en la producción de radicales libres cuando los datos se compararon con el tratamiento simulado debido al valor simulado decreciente. Esta diferencia desapareció cuando los datos se compararon con los controles de incubación. Para determinar la participación de las proteínas de choque térmico como un posible inhibidor de la producción de radicales libres, investigamos el nivel de expresión de HSP70 después de diferentes exposiciones a EMF de RF; no se detectaron efectos significativos.

---

(NE) Lantow M, Lupke M, Frahm J, Mattsson MO, Kuster N, Simko M.

Liberación de ROS y expresión de Hsp70 después de la exposición a radiofrecuencia de 1.800 MHz

Campos electromagnéticos en monocitos y linfocitos humanos primarios. *Radiat Environ Biophys.* 45(1):55-62, 2006.

El objetivo de este estudio es investigar si los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) de 1.800 MHz pueden inducir la liberación de especies reactivas de oxígeno (ROS) y/o cambios en la expresión de la proteína de choque térmico 70 (Hsp70) en células sanguíneas humanas, utilizando diferentes condiciones de exposición y coexposición. Se utilizaron monocitos y linfocitos derivados de sangre del cordón umbilical humano para examinar la liberación de ROS después de la exposición a ondas continuas o diferentes señales GSM (GSM-DTX y GSM-Talk) a 2 W/kg durante 30 o 45 minutos de exposición continua o intermitente (5 minutos ON/ 5 minutos OFF). Las células se expusieron a condiciones de incubadora, a condiciones simuladas, a RF-EMF o a sustancias químicas en paralelo. La estimulación celular con el éster de forbol forbol-12-miristato-13- Se utilizó acetato de metilfenidato (PMA; 1  $\mu$ M) como control positivo para la liberación de ROS. Para investigar los efectos en la expresión de Hsp70, los monocitos humanos se expusieron a la señal GSM-DTX a 2 W/kg durante 45 min, o a un tratamiento térmico (42 grados C) como control positivo. La producción de ROS y la expresión de Hsp70 se determinaron mediante análisis de citometría de flujo. Los datos se compararon con los valores simulados y/o de control y el análisis estadístico se realizó mediante la prueba t de Student ( $P < 0,05$ ). El tratamiento con PMA indujo un aumento significativo en la producción de ROS en monocitos y linfocitos humanos cuando los datos se compararon con los de los controles simulados o de incubadora.

Después de la exposición continua o intermitente a la señal GSM-DTX (2 W/kg), se detectó una producción de ROS significativamente diferente en los monocitos humanos si se compararon los datos con el estudio simulado. Sin embargo, esta diferencia significativa apareció debido al valor reducido de liberación de ROS durante la exposición simulada. En los linfocitos humanos, no se pudieron detectar diferencias si los datos se compararon con la exposición simulada o con el control de incubación. El nivel de expresión de Hsp70 después de 0, 1 y 2 h posteriores a la exposición a la señal GSM-DTX a 2 W/kg durante 1 h no mostró diferencias en comparación con la incubadora o el control simulado.

(NE) Lee JS, Kim JY, Kim HJ, Kim JC, Lee JS, Kim N, Park MJ. Efectos de la exposición combinada a campos de radiofrecuencia sobre la citotoxicidad inducida por beta-amiloide en neuronas hipocampales de ratones HT22. *J Radiat Res.* 57(6):620-626, 2016.

La enfermedad de Alzheimer (EA) es la enfermedad neurodegenerativa progresiva e irreversible más común y está causada por la muerte neuronal en el cerebro. Estudios recientes han demostrado que la radiación de radiofrecuencia (RF) no ionizante tiene algunos efectos cognitivos beneficiosos en modelos animales de EA. En este estudio, examinamos el efecto de la radiación de RF combinada sobre la citotoxicidad inducida por beta amiloide ( $A\beta$ ) en neuronas del hipocampo de ratas HT22. El tratamiento con  $A\beta$  suprimió la proliferación de células HT22 de manera dependiente de la concentración. La exposición a RF no afectó la proliferación celular y también tuvo un efecto marginal en la supresión del crecimiento inducida por  $A\beta$  en células HT22. El análisis del ciclo celular mostró que  $A\beta$  disminuyó la fracción G1 y aumentó la fracción subG1, lo que indica un aumento de la apoptosis. En consecuencia,  $A\beta$  aumentó la fracción de células positivas a anexina V/yoduro de propidio (PI) y la degradación de la poli (ADP ribosa) polimerasa y la caspasa-3 en células HT22. Sin embargo, la RF sola y la combinación de  $A\beta$  y RF no afectaron estos eventos significativamente.  $A\beta$  aumentó la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), suprimiendo así la proliferación celular. Esto fue anulado por el tratamiento con N-acetilcisteína (NAC), lo que indica que la generación de ROS inducida por  $A\beta$  es la principal causa de la supresión de la proliferación. La NAC también restableció la generación de ROS inducida por  $A\beta$ .

poblaciones de células positivas para anexina V/PI. Sin embargo, la radiofrecuencia no tuvo un impacto significativo en estos eventos. Finalmente, A $\beta$  estimuló la vía de rotura de cadena simple de ADN de la proteína relacionada con Rad3/quinasa 1 y la ataxia telangiectasia, y mejoró la expresión de la proteína precursora amiloide del sitio beta; la radiofrecuencia no tuvo efecto sobre ellas. En conjunto, nuestros resultados demuestran que la exposición a radiofrecuencia no afectó significativamente la disminución inducida por A $\beta$  de la proliferación celular, el aumento de la producción de ROS o la inducción de la muerte celular en estas células.

---

(E) Lewicka M, Henrykowska GA, Pacholski K, Szczęsny A, Dziedziczak-Buczyńska M, Buczyński A. El impacto de la radiación electromagnética de diferentes parámetros en el metabolismo del oxígeno plaquetario: estudios in vitro. *Adv Clin Exp Med.* 24(1):31-35, 2015.

ANTECEDENTES: La radiación electromagnética emitida por una variedad de dispositivos, por ejemplo, teléfonos celulares, computadoras y microondas, interactúa con el cuerpo humano de muchas maneras. Los estudios de investigación realizados en las últimas décadas aún no han resuelto la cuestión del efecto de este factor en el cuerpo humano y muchas preguntas quedan sin una respuesta inequívoca. Varios efectos biológicos y relacionados con la salud no han sido plenamente reconocidos. Por lo tanto, se justifican más estudios en esta área.

OBJETIVOS: Una comparación de los cambios en la actividad enzimática de la catalasa y la concentración de malondialdehído que surgen bajo la influencia de la radiación electromagnética emitida por la electrónica de los automóviles, el equipo utilizado en fisioterapia y los monitores LCD.

MATERIAL Y MÉTODOS: El material de estudio fue una suspensión de plaquetas de sangre humana en una concentración de  $1 \times 10^9/0,001 \text{ dm}^3$ , obtenidas de sangre completa por aféresis manual. Las plaquetas de sangre se expusieron a un campo electromagnético durante 30 min en un soporte de laboratorio diseñado para la reconstrucción de la radiación electromagnética generada por la electrónica de automóviles, equipos de fisioterapia y monitores LCD. Se investigaron los cambios en la actividad de la catalasa y la concentración de malondialdehído después de la exposición y se compararon con los valores de control (material no expuesto).

RESULTADOS: Se observó un aumento en la actividad de la catalasa y la concentración de malondialdehído después de 30 min de exposición de las plaquetas a los campos electromagnéticos independientemente de la fuente de radiación. Los cambios más significativos que determinan el grado de estrés oxidativo se observaron después de la exposición a los campos electromagnéticos generados por la electrónica de los automóviles.

CONCLUSIONES: Los campos electromagnéticos de baja frecuencia generados por la electrónica de los automóviles, los equipos de fisioterapia y los monitores LCD pueden ser causa de estrés oxidativo en el cuerpo humano y pueden conducir a enfermedades por radicales libres.

(E) Li Q, Tian M, Teng J, Gao P, Tang BQ, Wu H. La acumulación de superóxido inducida por radiofrecuencia afectó el crecimiento y la viabilidad de *Saccharomyces cerevisiae*. *Int Microbiol.* 2 de enero de 2020. doi: 10.1007/s10123-019-00111-2. [Publicación electrónica antes de la impresión]

Con el desarrollo de las tecnologías eléctricas, los efectos biológicos de los campos electromagnéticos (CEM) se han estudiado ampliamente. Sin embargo, los resultados siguen siendo controvertidos y los mecanismos biofísicos aún son desconocidos. Hasta donde sabemos, pocos estudios prestan atención a la radiofrecuencia (RF) de 2,6-5 MHz. En el presente estudio, investigamos el efecto de estas radiofrecuencias en el crecimiento y la viabilidad celular de *Saccharomyces cerevisiae* a una densidad de potencia muy baja por debajo de 0,1 mT. El resultado pareció depender del tiempo. El crecimiento de las células de levadura fue obviamente

Las células se vieron afectadas por el campo electromagnético de radiofrecuencia con un aumento del 43,5 % cuando estuvieron expuestas durante 30 h, y el efecto promotor del crecimiento disminuyó junto con el tiempo de radiación y finalmente se convirtió en un efecto inhibitorio que retardó el crecimiento en un 20,7 % a las 89 h. La viabilidad celular mejoró al 70,1 % a las 8 h y se redujo en un 33,5 % a las 28 h. El superóxido se acumuló en las células expuestas a medida que aumentaba el tiempo de radiación, lo que puede conducir a la inhibición de la viabilidad y el crecimiento de las células. Sin embargo, la frecuencia eficiente, la densidad de potencia y la dosis de exposición esperan una mayor investigación. No obstante, la banda de ondas estudiada en esta investigación es eficaz para producir un efecto biológico y, por lo tanto, puede proporcionar una nueva radiofrecuencia opcional que es valiosa para el desarrollo y la utilización en técnicas de terapia y uso médico.

(E) Li R, Ma M, Li L, Zhao L, Zhang T, Gao X, Zhang D, Zhu Y, Peng Q, Luo X, Wang M. El efecto protector de la autofagia sobre el daño del ADN en células derivadas de espermatoцитos de ratón expuestas a radiofrecuencia de 1800 MHz  
Campos electromagnéticos. *Cell Physiol Biochem*. 48(1):29-41, 2018.

ANTECEDENTES/OBJETIVOS: Los efectos de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF) en el sistema reproductor masculino han suscitado preocupación pública y los estudios han demostrado que la exposición a CEM-RF puede inducir daño del ADN y autofagia. Sin embargo, no existen informes relacionados sobre el papel de la autofagia en el daño del ADN en los espermatoцитos, especialmente después de la exposición a CEM-RF. El objetivo del presente estudio fue determinar el mecanismo y el papel de la autofagia inducida por CEM-RF en células de espermatozoides. MÉTODOS: Las células derivadas de espermatozoides de ratón (GC-2) fueron expuestas a CEM-RF 4 W/kg durante 24 h. El nivel de especies reactivas de oxígeno (ROS) se determinó mediante un kit de ensayo de ROS. Se utilizó el ensayo Comet para detectar daño del ADN. La autofagia se detectó mediante tres indicadores: LC3II/LC3I, vacuolas autofágicas y puntos GFP-LC3, que se midieron mediante transferencia Western, microscopía electrónica de transmisión y transfección con GFP-LC3, respectivamente. La expresión de la vía de señalización molecular AMP-activated protein kinase (AMPK)/mTOR se determinó mediante transferencia Western. RESULTADOS: Los resultados mostraron que los RF-EMF indujeron autofagia y daño del ADN en células GC-2 a través de la generación de ROS, y la vía de señalización de autofagia AMPK/mTOR se activó por la generación de ROS. Además, después de la inhibición de la autofagia por la supresión de AMPK $\alpha$ , se observó un mayor daño del ADN en células GC-2 después de la exposición a RF-EMF, y la sobreexpresión de AMPK $\alpha$  promovió la autofagia y atenuó el daño del ADN. CONCLUSIONES: Estos hallazgos demostraron que la autofagia inducida por campos electromagnéticos de radiofrecuencia a través de la vía de señalización AMPK/mTOR podría prevenir el daño del ADN en las células de los espermatozoides.

(E) Lian HY, Lin KW, Yang C, Cai P. La generación y propagación del prión de levadura [URE3] aumenta bajo un campo electromagnético. *Cell Stress Chaperones*. 23(4):581-594, 2018.

Estudiamos el efecto de la exposición a un campo electromagnético de radiofrecuencia (RF-EMF) de 2,0 GHz y a un campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF) de 50 Hz sobre la generación y

Propagación utilizando dos cepas de levadura en ciernes, NT64C y SB34, como organismos modelo. Bajo exposición a RF-EMF o ELF-EMF, la generación de novo y propagación de priones de levadura [URE3] se elevó en ambas cepas. La elevación aumentó con el tiempo, y los efectos de ELF-EMF ocurrieron de manera dependiente de la dosis. Los niveles de transcripción y expresión de las chaperonas moleculares Hsp104, Hsp70-Ssa1/2 y Hsp40-Ydj1 no cambiaron estadísticamente significativamente después de la exposición. Además, los niveles de ROS, así como las actividades de superóxido dismutasa (SOD) y catalasa (CAT), se elevaron significativamente después de la exposición a corto plazo, pero no a largo plazo. Este trabajo demostró por primera vez que la exposición a EMF podría elevar la generación de novo y la propagación de priones de levadura y respalda la hipótesis de que ROS puede desempeñar un papel en los efectos de EMF en el mal plegamiento de proteínas. Los efectos de los EMF sobre el plegamiento de proteínas y los niveles de ROS pueden mediar los efectos amplios de los EMF sobre la función celular.

(E) Lin Y, Gao P, Guo Y, Chen Q, Lang H, Guo Q, Miao X, Li J, Zeng L, Guo G. Efectos de la exposición prolongada a microondas de alta potencia de banda L en la función cerebral de ratones machos. *Biomed Res Int.* 4 de septiembre de 2021;2021:2237370. doi: 10.1155/2021/2237370.

En la actualidad, el impacto de la exposición a campos electromagnéticos (CEM) en el sistema nervioso es una preocupación pública cada vez mayor. El presente estudio fue diseñado para explorar los efectos de la exposición continua a largo plazo a microondas de alta potencia de banda L (~ 2,0 GHz) (L-HPM) en la función cerebral y los mecanismos relacionados. Cuarenta y ocho ratones macho del Instituto de Investigación del Cáncer (ICR) fueron expuestos a L-HPM a varias densidades de potencia (0,5, 1,0 y 1,5 W/m<sup>2</sup>) y se examinó la función cerebral en diferentes períodos de tiempo después de la exposición. La morfología del cerebro se examinó mediante tinción de hematoxilina-eosina (HE) y marcaje de extremos de dUTP mediado por desoxinucleotidil transferasa (TUNEL). Además, se evaluaron marcadores colinérgicos, marcadores de estrés oxidativo y la expresión de c-fos para identificar un mecanismo "potencial". Los resultados mostraron que la exposición a L-HPM a 1,5 W/m<sup>2</sup> puede causar lesiones generalizadas en el hipocampo (CA1 y CA3) y la corteza cerebral (la primera corteza somatosensorial) de ratones, incluyendo apoptosis celular, disfunción colinérgica y daño oxidativo. Además, los efectos nocivos estaban estrechamente relacionados con la densidad de potencia y el tiempo de exposición, lo que indica que la exposición a largo plazo y a una densidad de potencia alta puede ser perjudicial para el sistema nervioso.

(E) Liu C, Gao P, Xu SC, Wang Y, Chen CH, He MD, Yu ZP, Zhang L, Zhou Z. La radiación de los teléfonos móviles induce daño al ADN dependiente del modo en una línea celular derivada de espermatozoides de ratón: un papel protector de la melatonina. *Int J Radiat Biol.* 89:993-1001, 2013b.

Objetivo: Evaluar si la exposición a la radiación de los teléfonos móviles (MPR) puede inducir daño del ADN en las células germinales masculinas. Materiales y métodos: Una línea celular GC-2 derivada de espermatozoides de ratón se expuso a un teléfono móvil comercial una vez cada 20 minutos en los modos de espera, escucha, marcado o marcando durante 24 h. El daño del ADN se determinó utilizando un ensayo de cometa alcalino. Resultados: Los niveles de daño del ADN aumentaron significativamente después de la exposición a MPR en los modos de escucha, marcado y marcando. Además, hubo aumentos significativamente mayores en los modos marcado y marcando que en el modo de escucha.

Curiosamente, estos resultados fueron consistentes con las intensidades de radiación de estos modos. Sin embargo, los efectos del daño del ADN de la MPR en el modo de marcación se atenuaron de manera eficiente con el pretratamiento con melatonina. Conclusiones: Estos resultados con respecto al daño del ADN dependiente del modo tienen implicaciones importantes para la seguridad de la marcación inapropiada.

El uso de teléfonos móviles por parte de los hombres en edad reproductiva también sugiere una medida preventiva sencilla: mantener nuestro cuerpo alejado de los teléfonos móviles lo más posible, no solo durante las conversaciones, sino también durante los modos de funcionamiento "marcado" y "marcando". Dado que el modo "marcado" es en realidad parte del modo de espera, los teléfonos móviles deben mantenerse a una distancia segura de nuestro cuerpo incluso durante el funcionamiento en espera. Además, el papel protector de la melatonina sugiere que puede ser un candidato farmacológico prometedor para prevenir los trastornos reproductivos relacionados con el uso del teléfono móvil.

(E) \*Liu C, Duan W, Xu S, Chen C, He M, Zhang L, Yu Z, Zhou Z. La exposición a la radiación electromagnética de radiofrecuencia de 1800 MHz induce daño oxidativo de la base del ADN en una línea celular derivada de espermatoцитos de ratón. *Toxicol Lett* 218(1): 2-9, 2013a.

Aún no está claro si la exposición a la radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF-EMR) emitida por los teléfonos móviles puede inducir daño del ADN en las células germinales masculinas. En este estudio, realizamos una exposición intermitente de 24 horas (5 minutos encendido y 10 minutos apagado) de una línea celular GC-2 derivada de espermatoцитo de ratón a señales del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) de 1800 MHz en modo GSM-Talk a tasas de absorción específicas (SAR) de 1 W/kg, 2 W/kg o 4 W/kg. Posteriormente, mediante el uso de la ADN glicosilasa de formamidopirimidina (FPG) en un ensayo cometa modificado, determinamos que el grado de migración del ADN aumentó significativamente a una SAR de 4 W/kg. El análisis de citometría de flujo demostró que los niveles del aducto de ADN 8-oxoG también aumentaron a una SAR de 4 W/kg. Estos aumentos fueron concomitantes con aumentos similares en la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS); estos fenómenos se mitigaron mediante el cotratamiento con el antioxidante  $\alpha$ -tocoferol. Sin embargo, no se observó ninguna rotura detectable de la cadena de ADN mediante el ensayo cometa alcalino. En conjunto, estos hallazgos pueden implicar la nueva posibilidad de que la RF-EMR con energía insuficiente para la inducción directa de roturas de la cadena de ADN pueda producir genotoxicidad a través del daño oxidativo de la base del ADN en las células germinales masculinas.

(E) Liu K, Zhang G, Wang Z, Liu Y, Dong J, Dong X, Liu J, Cao J, Ao L, Zhang S. El efecto protector de la autofagia en las células derivadas de espermatozoides de ratón expuestas a la radiación electromagnética de radiofrecuencia de 1800 MHz. *Toxicol Lett.* 8 de mayo de 2014. pii: S0378-4274(14)00195-7. doi: 10.1016/j.toxlet.2014.05.004. [Publicado electrónicamente antes de su publicación impresa]

La creciente exposición a la radiación de radiofrecuencia (RF) emitida por el uso de teléfonos móviles ha suscitado preocupación pública con respecto a los efectos biológicos de la exposición a RF en el sistema reproductor masculino. La autofagia contribuye a mantener la homeostasis intracelular bajo estrés ambiental. Para aclarar si la exposición a RF podría inducir la autofagia en el espermatoцитo, células derivadas de espermatoцитo de ratón (GC-2) se expusieron a señales del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) de 1800 MHz en modo GSM-Talk a valores de tasa de absorción específica (SAR) de 1 w/kg, 2 w/kg o 4 w/kg durante 24 h, respectivamente. Los resultados indicaron que la expresión de LC3-II aumentó de manera dependiente de la dosis y el tiempo con la exposición a RF, y mostró un cambio significativo en el valor de SAR de 4 w/kg. La formación de autofagosomas y la aparición de autofagia se confirmaron además mediante el ensayo de transfección transitoria de GFP-LC3 y el análisis de microscopía electrónica de transmisión (TEM). Además, la conversión de LC3-I a LC3-II se mejoró mediante el cotratamiento con cloroquina (CQ), lo que indica un flujo autofágico.

La exposición a RF podría mejorar la respuesta inmune. Los niveles intracelulares de ROS aumentaron significativamente de manera dependiente de la dosis y el tiempo después de que las células se expusieron a RF. El pretratamiento con NAC antioxidante obviamente disminuyó la conversión de LC3-I a LC3-II y atenuó la degradación de p62 inducida por la exposición a RF. Mientras tanto, la quinasa regulada por señales extracelulares (ERK) fosforilada aumentó significativamente después de la exposición a RF al valor SAR de 2 w/kg y 4 w/kg. Además, observamos que la exposición a RF no aumentó el porcentaje de células apoptóticas, pero la inhibición de la autofagia podría aumentar el porcentaje de células apoptóticas. Estos hallazgos sugirieron que el flujo de autofagia podría mejorarse con la exposición a GSM de 1800 MHz (4 w/kg), que está mediada por la generación de ROS. La autofagia puede desempeñar un papel importante en la prevención de la muerte celular apoptótica de las células bajo estrés por exposición a RF.

(E) Liu Q, Si T, Xu X, Liang F, Wang L, Pan S. La radiación electromagnética a 900 MHz induce la apoptosis de los espermatozoides a través de las vías de señalización de bcl-2, bax y caspasa-3 en ratas. *Reprod Health*. 12:65, 2015.

**ANTECEDENTES:** La disminución de la capacidad reproductiva de los hombres es un factor importante que contribuye a la infertilidad. La evidencia acumulada ha demostrado que la radiación electromagnética potencialmente tiene efectos negativos en la salud humana. Sin embargo, aún se requiere más investigación para determinar si la radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF-EMR) afecta el sistema reproductivo humano. Por lo tanto, el presente estudio investiga si la RF-EMR a una frecuencia de 900 MHz puede desencadenar la apoptosis de los espermatozoides y afectar la morfología, la concentración y la microestructura del semen. **MÉTODOS:** Veinticuatro ratas fueron expuestas a una radiación electromagnética de 900 MHz con una tasa de absorción especial de  $0,66 \pm 0,01$  W/kg durante 2 h/d. Después de 50 días, se investigaron el recuento de espermatozoides, la morfología, la apoptosis, las especies reactivas de oxígeno (ROS) y la capacidad antioxidante total (TAC), que representa la suma de antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos. Se utilizaron transferencia Western y PCR con transcriptasa inversa para determinar los niveles de expresión de proteínas y genes relacionados con la apoptosis, incluidos bcl-2, bax, citocromo c y caspasa-3.

**RESULTADOS:** En el presente estudio, el porcentaje de espermatozoides apoptóticos en el grupo de exposición aumentó significativamente en un 91,42% en comparación con el grupo de control. Además, la concentración de ROS en el grupo de exposición aumentó en un 46,21%, mientras que el TAC disminuyó en un 28,01%. La radiación también disminuyó drásticamente la expresión de proteína y ARNm de bcl-2 y aumentó la de bax, citocromo c y caspasa-3.

**CONCLUSIÓN:** RF-EMR aumenta el nivel de ROS y disminuye el TAC en el esperma de rata.

El estrés oxidativo excesivo altera los niveles de expresión de genes relacionados con la apoptosis y desencadena la apoptosis de los espermatozoides a través de las vías de señalización bcl-2, bax, citocromo c y caspasa-3.

(E) López-Furelos A, Salas-Sánchez AA, Ares-Pena FJ, Leiro-Vidal JM, López-Martín E. La exposición a radiación de radiofrecuencias simples o combinadas provoca disfunción de macrófagos en la línea celular RAW 264.7.

*Revista de Biología Molecular y Oncología* (6):607-618, 2018.

**OBJETIVO:** El objetivo de este estudio fue determinar si la exposición a la radiación de señales de radiofrecuencia (RF) simples o múltiples a 900 y 2450 MHz induciría efectos en la línea celular RAW 264.7. **MATERIALES Y MÉTODOS:** Los cultivos celulares fueron expuestos a RF simple o combinada durante 4, 24, 48 o 72 h en una cámara de prueba electromagnética GTEM. Al final del tiempo de exposición a la radiación, se analizó la viabilidad y el crecimiento celular por citometría de flujo, se midió la producción de óxido nítrico (NO) por colorimetría, se determinó la expresión de HSP70 y TNF- $\alpha$  por qPCR y se observó la actividad fagocítica por microscopía. **RESULTADOS:** La producción de NO aumentó después de 48 h de exposición a 2450 MHz, en comparación con los controles. El grupo sometido a la interacción combinada de dos RF mostró un aumento de HSP70 después de 48 h de exposición y un aumento significativo de NO y TNF- $\alpha$  después de 72 h. La actividad fagocítica de los macrófagos disminuyó en todos los grupos a medida que aumentó el tiempo de exposición.

**CONCLUSIONES:** Nuestros resultados indicaron una disminución de la actividad fagocítica y un aumento de las respuestas inflamatorias, citoprotectoras y citotóxicas en los macrófagos después de la exposición continua y combinada de múltiples señales de RF. Múltiples RF interactúan en la vida cotidiana, se desconoce la respuesta inmune en humanos.

(E) Lu YS, Huang BT, Huang YX. Formación de especies reactivas de oxígeno y apoptosis en células mononucleares de sangre periférica humana inducidas por la radiación de teléfonos móviles de 900 MHz. *Oxid Med Cell Longev.* 2012:740280, 2012.

Demostremos que las especies reactivas de oxígeno (ROS) desempeñan un papel importante en el proceso de apoptosis en células mononucleares de sangre periférica (PBMC) humanas, que es inducida por la radiación de un campo electromagnético de radiofrecuencia (RFEMF) de 900 MHz a una tasa de absorción específica (SAR) de  $\sim 0,4$  W/kg cuando la exposición dura más de dos horas. La apoptosis se induce a través de la vía mitocondrial y está mediada por la activación de ROS y caspasa-3, y la disminución del potencial mitocondrial. La activación de ROS se desencadena por la alteración de la conformación de lípidos, proteínas y ADN inducida por la exposición a RFEMF GSM. Aunque se descubrió que las PBMC humanas tienen un mecanismo de autoprotección de liberación de carotenoides en respuesta al estrés oxidativo para disminuir el aumento adicional de ROS, el desequilibrio entre las defensas antioxidantes y la formación de ROS aún da como resultado un aumento de la muerte celular con el tiempo de exposición y puede causar aproximadamente el 37% de la muerte de PBMC humanas en ocho horas.

(E) Luo YP, Ma HR, Chen JW, Li JJ, Li CX. [Efecto de la cápsula de ginseng americano sobre la lesión oxidativa hepática y la expresión de la proteína Nrf2 en ratas expuestas a la radiación electromagnética de la frecuencia de un teléfono celular.] [Artículo en chino]. *Zhongguo Zhong Xi Yi Jie He Za Zhi.* 34(5):575-580, 2014. (En chino)

**OBJETIVO:** Observar el efecto de la cápsula de ginseng americano (AGC) sobre la lesión oxidativa hepática y la expresión de la proteína Nrf2 en el tejido hepático de ratas expuestas a la radiación electromagnética de un teléfono celular de 900 MHz. **MÉTODOS:** Se dividieron aleatoriamente 40 ratas SD macho en el grupo de control normal, el grupo modelo, el grupo de la cápsula Shuifei Jibin (SJC) y el grupo AGC, 10 en cada grupo. Las ratas del grupo de control normal no fueron irradiadas. Las ratas de los tres grupos restantes fueron expuestas a un teléfono celular de 900 MHz imitado durante 10 minutos.

4 h en 12 días consecutivos. Mientras tanto, a las ratas del grupo SJC y del grupo AGC se les administró por vía intragástrica una suspensión de SJC y AGC (1 mL/200 g de peso corporal) respectivamente. Se administró solución salina normal a las ratas del grupo control normal y del grupo modelo. Los cambios histomorfológicos del tejido hepático se observaron mediante tinción HE. Los contenidos de malónico dialdehído (MDA), superóxido dismutasa (SOD), glutatión (GSH) y glutatión peroxidasa (GSH-PX) se detectaron mediante colorimetría. La expresión de la proteína Nrf2 de los hepatocitos se detectó mediante ensayo inmunohistoquímico y Western blot.

RESULTADOS: En comparación con el grupo control normal, el núcleo del hepatocito estaba atrofiado o desapareció parcialmente, el contenido de proteína hepática MDA y Nrf2 aumentó obviamente (P < 0.05, P < 0.01); los contenidos de SOD y GSH en el hígado disminuyeron (P < 0.05) en el grupo modelo.

En comparación con el grupo modelo, la cariopícnosis se atenuó obviamente y se acercó al nivel normal en el grupo SJC y el grupo AGC. Los contenidos de la expresión de la proteína MDA y Nrf2 del hígado disminuyeron (P < 0,05), y los contenidos de SOD, GSH y GSH-PX del hígado aumentaron obviamente (P < 0,05) en el grupo SJC. Los contenidos de MDA del hígado y la expresión de la proteína Nrf2 disminuyeron (P < 0,05), y los contenidos de SOD y GSH aumentaron obviamente en el grupo AGC (P < 0,01, P < 0,05).

CONCLUSIONES: La radiación electromagnética inducida por el teléfono celular de 900 MHz podría afectar la expresión de la proteína Nrf2, inducir daño oxidativo e inducir morfología anormal de las células hepáticas. SJC y AGC podrían promover la recuperación morfológica de las células hepáticas. Su mecanismo podría estar relacionado con afectar la expresión de la proteína Nrf2 y atenuar el daño oxidativo de las células hepáticas.

(cáncer) (E) Luukkonen J, Hakulinen P, Mäki-Paakkanen J, Juutilainen J, Naarala J.

Mejora de la producción de especies reactivas de oxígeno inducidas químicamente y del daño al ADN en células de neuroblastoma humano SH-SY5Y mediante radiación de radiofrecuencia de 872 MHz. Mutación Res. 662(1-2):54-58, 2009.

El objetivo del estudio fue investigar los efectos de la radiación de radiofrecuencia (RF) de 872 MHz en la producción intracelular de especies reactivas de oxígeno (ROS) y el daño del ADN a un valor SAR relativamente alto (5 W/kg). Los experimentos también implicaron la exposición combinada a la radiación de RF y menadiona, una sustancia química que induce la producción intracelular de ROS y el daño del ADN. La producción de ROS se midió utilizando la sonda fluorescente diclorofluoresceína y el daño del ADN se evaluó mediante el ensayo Comet. Las células de neuroblastoma humano SH-SY5Y se expusieron a la radiación de RF durante 1 hora con o sin menadiona. Los cultivos de control se expusieron simuladamente. Se utilizaron ondas continuas (CW) y una señal pulsada similar a la utilizada en los teléfonos móviles del sistema global para comunicaciones móviles (GSM). La exposición a la radiación de RF de CW aumentó la rotura del ADN ( $p < 0,01$ ) en comparación con las células expuestas solo a menadiona. La comparación de los mismos grupos también mostró que el nivel de ROS era más alto en las células expuestas a la radiación de radiofrecuencia continua a los 30 y 60 minutos después del final de la exposición ( $p < 0,05$  y  $p < 0,01$ , respectivamente). No se observaron efectos de la señal GSM en la producción de ROS ni en el daño del ADN. Los resultados del presente estudio sugieren que la radiación de radiofrecuencia continua de 872 MHz a 5 W/kg podría aumentar la producción de ROS inducida químicamente y, por lo tanto, causar Sin embargo, no existe ningún mecanismo conocido que pueda explicar dichos efectos de la radiación de RF CW pero no de la radiación de RF modulada GSM con un SAR idéntico.

(NE) Luukkonen J, Juutilainen J, Naarala J. Efectos combinados de la radiación de radiofrecuencia de 872 MHz y el cloruro ferroso sobre la producción de especies reactivas de oxígeno y el daño del ADN en células de neuroblastoma humano SH-SY5Y. *Bioelectromagnetismo*. 31(6):417-424, 2010.

El objetivo del presente estudio fue investigar los posibles efectos cooperativos de la radiación de radiofrecuencia (RF) y el cloruro ferroso ( $\text{FeCl}_2$ ) en la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y el daño al ADN. Para probar la producción intracelular de ROS como un posible mecanismo subyacente del daño al ADN, aplicamos la sonda fluorescente DCFH-DA. La integridad del ADN se cuantificó mediante el ensayo de cometa alcalino. Las exposiciones a la radiación de RF de 872 MHz se llevaron a cabo a una tasa de absorción específica (SAR) de 5 W/kg utilizando ondas continuas (CW) o una señal modulada similar a la utilizada en los teléfonos del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM). Se incluyeron cuatro grupos: (1) Exposición simulada (control), (2) radiación de RF, (3) tratamiento químico, (4) tratamiento químico y radiación de RF. En los experimentos de producción de ROS, las células de neuroblastoma humano (SH-SY5Y) se expusieron a radiación de RF y 10  $\mu\text{g/ml}$  de  $\text{FeCl}_2$  durante 1 h. En los experimentos de ensayo cometa, el tiempo de exposición fue de 3 h y se utilizó un producto químico adicional (0,015 % maleato de dietilo) para hacer observable el nivel de daño del ADN. Los tratamientos químicos dieron como resultado respuestas estadísticamente significativas, pero no se observaron efectos de la radiación de RF modulada ni de la CW sobre la producción de ROS, el daño del ADN o la viabilidad celular.

(E) Ma HR, Ma ZH, Wang GY, Song CM, Ma XL, Cao XH, Zhang GH. Impactos de la exposición a la radiación de teléfonos móviles de 900 MHz en la función hepática en ratas. *Zhongguo Ying Yong Sheng Li Xue Za Zhi*. 31(6):567-571, 2015.

**OBJETIVO:** Estudiar los impactos de la exposición a la radiación electromagnética (REM) en la función hepática en ratas. **MÉTODOS:** Veinte ratas Sprague-Dawley macho adultas se dividieron aleatoriamente en un grupo normal y un grupo irradiado. Las ratas del grupo normal no fueron irradiadas, las del grupo irradiado fueron expuestas a REM 4 h/d durante 18 días consecutivos. Las ratas fueron sacrificadas inmediatamente después del final del experimento. Los niveles séricos de alanina aminotransferasa (ALT) y aspartato aminotransferasa (AST), y los de malondialdehído (MDA) y glutatión (GSH) en el tejido hepático se evaluaron mediante un método colorimétrico. Los cambios histopatológicos del hígado se observaron mediante tinción con hematoxilina y eosina y la expresión de proteínas de bax y bcl-2 en el tejido hepático se detectó mediante un método inmunohistoquímico.

Se utilizó el método de marcaje y corte mediado por la desoxinucleotidil transferasa terminal (TUNEL) para el análisis de la apoptosis en el hígado. **RESULTADOS:** En comparación con las ratas normales, los niveles séricos de ALT y AST en el grupo irradiado no mostraron cambios obvios ( $P > 0,05$ ), mientras que los contenidos de MDA aumentaron ( $P < 0,01$ ) y los de GSH disminuyeron ( $P < 0,01$ ) en los tejidos hepáticos.

El examen histopatológico mostró hinchazón y vacuolización difusa de los hepatocitos, fragmentos pequeños y necrosis focal. Los resultados inmunohistoquímicos mostraron que la expresión de la proteína bax fue mayor y la de la proteína bcl-2 fue menor en el grupo irradiado. Las tasas de apoptosis de los hepatocitos en el grupo irradiado fueron mayores que en el grupo normal (todos  $P < 0,01$ ). **CONCLUSIÓN:** La exposición a un teléfono móvil de 900 MHz 4 h/día durante 18 días podría inducir cambios histológicos en el hígado, que pueden deberse en parte a la apoptosis y al estrés oxidativo inducidos en el tejido hepático por la radiación electromagnética.

(E) \*Maaroufi K, Save E, Poucet B, Sakly M, Abdelmelek H, Had-Aissouni L. Estrés oxidativo y prevención de la respuesta adaptativa a la sobrecarga crónica de hierro en el cerebro de ratas adultas jóvenes expuestas a un campo electromagnético de 150 kilohercios. *Neurociencia*. 186:39-47, 2011.

La sobrecarga de hierro puede inducir un deterioro de varias funciones neurológicas debido al estrés oxidativo. Además, se ha sugerido que los campos electromagnéticos (CEM) de frecuencias de hasta aproximadamente 100 kHz, emitidos por dispositivos eléctricos/electrónicos, aumentan la actividad de los radicales libres. producción a través de una vía dependiente del hierro. Por lo tanto, el propósito de este estudio fue determinar una posible relación entre el estado de hierro, la exposición a los campos electromagnéticos y el estrés oxidativo cerebral en ratas adultas jóvenes. Se microdisecaron muestras de la corteza prefrontal, el hipocampo, el cuerpo estriado y el cerebelo después de una sobrecarga crónica de hierro o solución salina (IO), así como después de una exposición simulada crónica o exposición a un campo electromagnético de 150 kHz o después de combinar la exposición a campos electromagnéticos con IO. Las muestras de cerebro se utilizaron para monitorear la peroxidación lipídica inducida por estrés oxidativo y la actividad de las enzimas antioxidantes superóxido dismutasa y catalasa. Si bien el IO no indujo estrés oxidativo en ratas adultas jóvenes, estimuló las defensas antioxidantes en el cerebelo y la corteza prefrontal en particular. Por el contrario, la exposición a los campos electromagnéticos estimuló la peroxidación lipídica principalmente en el cerebelo, sin afectar las defensas antioxidantes. Cuando se aplicó el campo electromagnético junto con el IO, la peroxidación lipídica aumentó aún más en comparación con el campo electromagnético solo, mientras que el aumento de las defensas antioxidantes desencadenado por el IO solo se eliminó. Estos datos sugieren que la exposición a los campos electromagnéticos puede ser perjudicial en adultos jóvenes al afectar las defensas antioxidantes dirigidas a prevenir el estrés oxidativo inducido por el hierro.

(NE) Maaroufi K, Had-Aissouni L, Melon C, Sakly M, Abdelmelek H, Poucet B, Save E. Aprendizaje espacial, monoaminas y estrés oxidativo en ratas expuestas a un campo electromagnético de 900 MHz en combinación con sobrecarga de hierro. *Behav Brain Res.* 258:80-89, 2014. (AS, CE, BE, CH)

El uso creciente de la tecnología de telefonía móvil durante la última década plantea inquietudes sobre el impacto de los campos electromagnéticos de alta frecuencia (CEM) en la salud. Más recientemente, se ha sugerido un vínculo entre los CEM, la sobrecarga de hierro en el cerebro y los trastornos neurodegenerativos, incluidas las enfermedades de Parkinson y Alzheimer. La coexposición a los CEM y la sobrecarga de hierro en el cerebro puede tener un mayor impacto en los tejidos cerebrales y los procesos cognitivos que cada tratamiento por separado. Para examinar esta hipótesis, ratas Long-Evans sometidas a una exposición de 900 MHz o tratamientos combinados de CEM de 900 MHz y sobrecarga de hierro fueron sometidas a pruebas en varias tareas de aprendizaje espacial (tarea de navegación en el laberinto acuático de Morris, tarea de memoria de trabajo en el laberinto de brazos radiales y tarea de exploración de objetos que involucra procesamiento espacial y no espacial). Se midieron las monoaminas y metabolitos biógenos (dopamina, serotonina) y el estrés oxidativo. Las ratas expuestas a los CEM tuvieron problemas en la tarea de exploración de objetos, pero no en las tareas de navegación y memoria de trabajo. También mostraron alteraciones del contenido de monoaminas en varias áreas del cerebro, pero principalmente en el hipocampo. Las ratas que recibieron el tratamiento combinado no mostraron mayores déficits conductuales y neuroquímicos que las ratas expuestas a los CEM. Ninguno de los dos tratamientos produjo estrés oxidativo global. Estos resultados muestran que existe un impacto de los CEM en el cerebro y los procesos cognitivos, pero este impacto se revela solo en una tarea que explota la actividad exploratoria espontánea. Por el contrario, no hay efectos sinérgicos entre los CEM y un alto contenido de hierro en el cerebro.

---

(E) Manta AK, Papadopoulou D, Polyzos AP, Fragopoulou AF, Skouroliakou AS, Thanos D, Stravopodis DJ, Margaritis LH. Perturbación del perfil de expresión génica, equilibrio redox y control de apoptosis esporádica inducidos por la radiación de teléfonos móviles en el ovario de *Drosophila melanogaster*. *Fly (Austin)*. 11(2):75-95, 2017.

ANTECEDENTES: El uso diario por parte de las personas de dispositivos de comunicación inalámbrica ha aumentado exponencialmente en la última década, generando preocupaciones sobre sus posibles riesgos para la salud.

MÉTODOS: Se expusieron moscas hembra adultas de cuatro días de edad de *Drosophila melanogaster* durante 30 minutos a la radiación emitida por un teléfono móvil comercial con una SAR de 0,15 W/kg y una SAE de 270 J/kg. Se analizaron los niveles de ROS y los folículos apoptóticos en paralelo con un análisis de microarrays de todo el genoma. RESULTADOS: Se encontró que el contenido celular de ROS aumentaba 1,6 veces (x), inmediatamente después del final de la exposición, en los folículos de las etapas precorigénicas (germario - estadio 10), mientras que los folículos apoptóticos generados esporádicamente (germarium 2b y estadios 7-9) presentaron una sobreexpresión media de 2x en la masa de su subpoblación, 4 h después de la irradiación de la mosca con un dispositivo móvil. El análisis de microarrays reveló 168 genes expresados diferencialmente, 2 h después de la exposición, en respuesta a la exposición a la radiación del campo electromagnético de radiofrecuencia (RF) ( $\geq 1,25x$ ,  $P < 0,05$ ) y asociados con múltiples y críticos procesos biológicos, como el metabolismo básico y las subrutinas celulares relacionadas con la respuesta al estrés y la muerte apoptótica.

CONCLUSIÓN: La exposición de moscas adultas a la radiación del teléfono móvil para

30 min tiene un impacto inmediato en la producción de ROS en el ovario del animal, lo que parece causar una reprogramación transcripcional global, sistémica y no dirigida de la expresión genética, 2 h después de la exposición, siendo finalmente seguida por la inducción de apoptosis 4 h después del final de la exposición.

En conclusión, este tipo único de radiación pulsada, derivada principalmente de los teléfonos móviles de uso diario, parece capaz de movilizar mecanismos citopáticos críticos y alterar programas y redes genéticas fundamentales en *D. melanogaster*.

(E) Mailankot M, Kunnath AP, Jayalekshmi H, Koduru B, Valsalan R. La radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF-EMR) de los teléfonos móviles GSM (0,9/1,8 GHz) induce estrés oxidativo y reduce la motilidad de los espermatozoides en ratas. *Clinics (Sao Paulo)*. 64(6):561-565, 2009.

**INTRODUCCIÓN:** Los teléfonos móviles se han vuelto indispensables en la vida diaria de hombres y mujeres de todo el mundo. A medida que el uso de teléfonos móviles se ha generalizado, han aumentado las preocupaciones sobre los efectos potencialmente nocivos de la radiación electromagnética de radiofrecuencia de estos dispositivos.

**OBJETIVO:** El presente estudio fue diseñado para evaluar los efectos de la RF-EMR de los teléfonos móviles sobre el metabolismo de los radicales libres y la calidad del esperma. **MATERIALES Y MÉTODOS:** Ratas Wistar albinas macho (10-12 semanas de edad) fueron expuestas a RF-EMR de un teléfono móvil GSM (0,9/1,8 GHz) activo durante 1 hora continua por día durante 28 días.

Los controles estuvieron expuestos a un teléfono móvil sin batería durante el mismo período. El teléfono se mantuvo en una jaula con un fondo de madera para abordar las preocupaciones de que los efectos de la exposición al teléfono podrían deberse al calor emitido por el teléfono en lugar de solo a RF-EMR. Los animales fueron sacrificados 24 horas después de la última exposición y se recolectaron los tejidos de interés. **RESULTADOS:** Una hora de exposición al teléfono no cambió significativamente la temperatura facial en ninguno de los grupos de ratas. No se observó ninguna diferencia significativa en el recuento total de espermatozoides entre los controles y los grupos expuestos a RF-EMR. Sin embargo, las ratas expuestas a RF-EMR exhibieron un porcentaje significativamente reducido de espermatozoides móviles. Además, la exposición a RF-EMR resultó en un aumento significativo en la peroxidación lipídica y un bajo contenido de GSH en el testículo y el epidídimo. **CONCLUSIÓN:** Dados los resultados del presente estudio, especulamos que la RF-EMR de los teléfonos móviles afecta negativamente a la calidad del semen y puede perjudicar la fertilidad masculina.

(E) \*Manta AK, Stravopodis DJ, Papassideri IS, Margaritis LH. Elevación y recuperación de especies reactivas de oxígeno en cuerpos y ovarios de *Drosophila* tras exposición a corto y largo plazo a campos electromagnéticos de base DECT. *Electromagn Biol Med*. 33(2):118-131, 2014. (LI)

**Resumen** El objetivo de este estudio fue abordar el mecanismo básico subyacente a la muerte celular apoptótica ovárica y la disminución de la fecundidad inducidas por radiación no ionizante (NIR) en *Drosophila melanogaster*. Los niveles de ROS (especies reactivas de oxígeno) se midieron en los cuerpos y los ovarios de moscas (sexualmente maduras) de 4 días de edad, después de la exposición durante 0,5, 1, 6, 24 y 96 h a una radiación base DECT (teléfono inalámbrico digital mejorado) inalámbrica (1,88-1,90 GHz). La intensidad del campo eléctrico fue de 2,7 V/m, medida dentro de los viales de las moscas y el valor SAR (tasa de absorción específica) calculado = 0,009 W/Kg. Los cuerpos de machos y hembras mostraron un aumento del doble en los niveles de ROS ( $p < 0,001$ ) después de 6 h de exposición, aumentando ligeramente con más irradiación (24 y 96 h).

Los ovarios de las hembras expuestas tuvieron una respuesta rápida en el aumento de ROS después de 0,5 h (1,5 veces,  $p < 0,001$ ), alcanzando 2,5 veces después de 1 h sin elevación a partir de entonces a las 6, 24 y 96 h. Los niveles de ROS volvieron a la normalidad, en los cuerpos de los machos y las hembras 24 h después de 6 h de exposición de las moscas ( $p < 0,05$ ) y en los ovarios 4 h después de 1 h de exposición de las hembras ( $p < 0,05$ ). Se postula que el estado inactivo pulsado (a una frecuencia de 100 Hz y una duración de 0,08 ms) de la radiación de base DECT es capaz de inducir la formación de radicales libres a pesar del SAR muy bajo, lo que lleva rápidamente a la acumulación de ROS en una forma de saturación de nivel bajo exposición continua, o en una forma de recuperación después de la interrupción de la radiación, posiblemente debido a la activación de la maquinaria antioxidante del organismo.

(E) Marconi A, Tasteyre A, de Seze R, Fogel P, Simoneau G, Conti M, Sarbach C, Young SS, Gilbert JE, Thomas Y. Journal Scientific Exploration. 29 (3): 449-465, 2015.

Se llevó a cabo un proyecto multidisciplinario para estudiar el posible impacto biológico de las emisiones de los teléfonos móviles. Como parte de ese proyecto, realizamos un estudio piloto en 18 voluntarios humanos, con el tratamiento de exposición a teléfonos móviles GSM. Los voluntarios fueron asignados al azar y el estudio fue un diseño cruzado doble ciego. Se siguieron y midieron dos categorías de biomarcadores de estrés oxidativo en sangre y aire exhalado: aquellos que evalúan los ataques oxidativos de los lípidos de la membrana celular (malondialdehído, alcanos exhalados, aldehídos e isopreno) y aquellos que representan los sistemas de defensa antioxidante del organismo (superóxido dismutasa, glutatión peroxidasa y alcanos halogenados exhalados). Luego se calculó la entropía general del sistema con y sin exposición a GSM para cada voluntario, utilizando un enfoque estadístico basado en la diferencia de entropía global de los datos brutos. Se encontró una modulación significativa de la organización de los biomarcadores después de 30 minutos de exposición al teléfono móvil, como lo demuestra una entropía reducida del conjunto de datos asociado con la condición de teléfono móvil emisor. Si bien estos resultados no demuestran los efectos nocivos ni la inocuidad del uso de teléfonos móviles, constituyen evidencia de interacciones reales de estas longitudes de onda con sistemas biológicos complejos. Estos resultados deberán confirmarse en estudios futuros más amplios.

(E) Marjanovic AM, Pavicic I, Trosic I, Desequilibrio de oxidación-reducción celular después de la radiación de radiofrecuencia modulada. Electromagn Biol Med. 34(4):381-386, 2015.

El objetivo de este estudio fue evaluar la influencia del campo de radiofrecuencia modulado (RF) de 1800 MHz, con una fuerza de 30 V/m en los procesos de oxidación-reducción dentro de la célula. El campo de RF asignado se generó dentro de una celda de modo electromagnético transversal de gigahercios equipada con un generador de señal, modulador y amplificador. La línea celular V79 se irradió durante 10, 30 y 60 minutos, y se calculó que la tasa de absorción específica era de 1,6 W/kg. La actividad metabólica celular y la viabilidad se determinaron mediante el ensayo MTT. Para definir el contenido de proteína total, se utilizó el método colorimétrico. La concentración de proteínas oxidadas se evaluó mediante un ensayo inmunoabsorbente ligado a enzimas. Las especies reactivas de oxígeno (ROS) se marcaron con la sonda fluorescente 2',7'-

El diacetato de diclorofluorescina se midió mediante un dispositivo lector de placas. En comparación con las muestras de células de control, la actividad metabólica y el contenido total de proteínas en las células expuestas no difirieron significativamente. Las concentraciones de derivados de carbonilo, un producto de la oxidación de proteínas, aumentaron de manera insignificante pero continua con la duración de la exposición. En las muestras expuestas, el nivel de ROS aumentó significativamente ( $p < 0,05$ ) después de 10 minutos de exposición. Se observó una disminución en el nivel de ROS después de 30 minutos de tratamiento, lo que indica la activación del mecanismo de defensa antioxidante.

En conclusión, en las condiciones de laboratorio dadas, la radiación de RF modulada podría causar un deterioro en el equilibrio de oxidación-reducción dentro de las células en crecimiento.

(E) Marjanovic Cermak AM, Pavicic I, Tariba Lovakovic B, Pizent A, Trosic I. Respuesta al estrés oxidativo no térmico in vitro después de la radiación de radiofrecuencia de 1800 MHz. *Gen Physiol Biophys.* 36(4): 407-414, 2017.

En este estudio se investigó la posible conexión entre la exposición a radiofrecuencias (RF) y el desarrollo del estrés oxidativo midiendo el deterioro del equilibrio de oxidación-reducción celular inmediatamente después de la exposición a RF. Se expusieron células de fibroblastos V79 durante 10, 30 y 60 minutos a una radiación de RF de 1800 MHz. La intensidad del campo eléctrico fue de 30 V/m y se calculó que la tasa de absorción específica (SAR) era de 1,6 W/kg.

Se generó un campo electromagnético dentro de una celda de modo electromagnético transversal de gigahercios (GTEM) equipada con un generador de señales, un amplificador y un modulador. La viabilidad celular se determinó mediante un ensayo colorimétrico CCK-8 y se detectó el nivel de especies reactivas de oxígeno (ROS) mediante tinción con dihidroetidio. Se utilizaron glutatión reducido (GSH) y glutatión peroxidasa (GSH-Px) para evaluar la actividad antioxidante celular, mientras que el daño oxidativo de lípidos se evaluó midiendo la concentración de malondialdehído. La viabilidad de las células V79 se mantuvo dentro de los valores fisiológicos normales independientemente del tiempo de exposición. Se detectó un aumento del nivel de radicales superóxido después de 60 minutos de exposición. Se observó un nivel de GSH significativamente más alto inmediatamente después de 10 minutos de exposición con una actividad mayor pero insignificante de GSH-Px. No se observó daño oxidativo de lípidos en las muestras de células expuestas.

La exposición a RF a corto plazo reveló un desequilibrio transitorio de oxidación-reducción en las células de fibroblastos después de la adaptación a las condiciones experimentales aplicadas.

(cáncer) (E) Marjanovic Cermak AM, Pavicic I, Trosic I. Respuesta al estrés oxidativo en células SH-SY5Y expuestas a radiación de radiofrecuencia de 1800 MHz a corto plazo. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng.* 53(2):132-138, 2018.

El mecanismo exacto que podría explicar los efectos de la exposición a la radiación de radiofrecuencia (RF) a nivel no térmico aún se desconoce. Cada vez hay más evidencia que sugiere una posible participación de las especies reactivas de oxígeno (ROS) y el desarrollo del estrés oxidativo. Para probar la hipótesis propuesta, las células de neuroblastoma humano (SH-SY5Y) fueron expuestas a una exposición a RF de corto plazo de 1800 MHz durante 10, 30 y 60 minutos. La intensidad del campo eléctrico dentro de la celda electromagnética transversal de gigahercios (GTEM) fue de 30 V m<sup>-1</sup> y la tasa de absorción específica (SAR) se calculó en 1,6 W kg<sup>-1</sup>. La viabilidad celular se midió mediante el ensayo MTT y el nivel de ROS se determinó mediante la sonda fluorescente 2',7'-diacetato de diclorofluorescina. Se utilizaron concentraciones de malondialdehído y carbonilos proteicos para evaluar el daño oxidativo de lípidos y proteínas y la actividad antioxidante se evaluó midiendo las concentraciones de glutatión total (GSH). Después de la exposición a la radiación, la viabilidad de las células irradiadas se mantuvo dentro de los valores fisiológicos normales. Se observó un nivel de ROS significativamente más alto para cada tiempo de exposición a la radiación. Después de 60 minutos de exposición, la radiación aplicada causó un daño significativo a los lípidos y las proteínas. La concentración más alta de GSH se detectó después de 10 minutos de exposición. Los resultados de nuestro estudio mostraron una mayor susceptibilidad de las células SH-SY5Y al desarrollo de estrés oxidativo incluso después de una exposición a RF de corto plazo.

(E) Masoumi A, Karbalaee N, Mortazavi SMJ, Shabani M. Radiofrecuencia

La radiación emitida por Wi-Fi (2,4 GHz) provoca una secreción deficiente de insulina y un aumento del estrés oxidativo en los islotes pancreáticos de ratas. *Int J Radiat Biol.* 94(9):850-857, 2018.

OBJETIVO: Existe una gran preocupación con respecto a los posibles efectos adversos de la radiación electromagnética (REM). Este estudio investigó los efectos de la REM inducida por Wi-Fi (2,45 GHz) en la secreción de insulina y los sistemas redox antioxidantes en el páncreas de ratas. MATERIALES Y

MÉTODOS: Se dividieron ratas Sprague-Dawley macho adultas en el rango de peso de 230-260 g en grupos de control, grupo simulado y grupo expuesto a Wi-Fi. Después de una exposición prolongada (4 h/día durante 45 días) a EMR Wi-Fi, se midieron los niveles plasmáticos de glucosa e insulina durante una prueba de tolerancia a la glucosa intraperitoneal.

Se determinó la secreción y el contenido de insulina de los islotes, la peroxidación lipídica y el estado antioxidante en el páncreas de ratas. RESULTADOS: Nuestros datos mostraron que el aumento de peso en el grupo expuesto a Wi-Fi fue significativamente menor que el grupo de control ( $p < .05$ ). El grupo expuesto a Wi-Fi (2,45 GHz) mostró hiperglucemia. El nivel de insulina plasmática y la secreción de insulina estimulada por glucosa de los islotes pancreáticos se redujeron significativamente en el grupo expuesto a Wi-Fi. La REM emitida por Wi-Fi provocó un aumento significativo en la peroxidación lipídica y una disminución significativa en el nivel de GSH, SOD y actividades GPx del páncreas. CONCLUSIONES: Estos datos mostraron que la REM de Wi-Fi conduce a hiperglucemia, aumento del estrés oxidativo y alteración de la secreción de insulina en los islotes pancreáticos de ratas.

(E) Marzook EA, Abd El Moneim AE, Elhadary AA. Función protectora del aceite de mar contra el estrés oxidativo inducido por estaciones base de telefonía móvil. *J Rad Res Appl Sci* 7(1):1-6, 2014.

El presente estudio se realizó para arrojar luz sobre las amenazas ambientales asociadas con la revolución inalámbrica y los riesgos para la salud asociados con la exposición a estaciones base móviles (MBS). Además, se estudió el posible papel protector del aceite de sésamo (SO) como antioxidante contra el estrés oxidativo. Por lo tanto, el presente trabajo fue diseñado para estudiar el efecto de la exposición crónica a radiaciones electromagnéticas (REM), producidas por una torre celular para teléfono móvil y el posible papel protector del aceite de sésamo sobre la glutatión reductasa (GSH-Rx), superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), testosterona total y perfil lipídico (colesterol total (Tch), triglicéridos (TG), colesterol de lipoproteínas de baja densidad (LDL-c) y colesterol de lipoproteínas de alta densidad (HDL-c) en ratas albinas macho. Las ratas se organizaron en cuatro grupos: el grupo control no expuesto, el grupo expuesto no tratado y el grupo expuesto tratado (1,5 y 3 ml de aceite). Los grupos expuestos se sometieron a un campo electromagnético a una frecuencia de 900 MHz, durante 24 h/día durante 8 semanas, al mismo tiempo que a ambos grupos tratados se les suministró una inyección oral de aceite de sésamo tres veces por semana. Al final del experimento, se obtuvieron muestras de sangre para la determinación de las variables mencionadas anteriormente en suero. Los resultados obtenidos revelaron que los TG y Los niveles de testosterona aumentaron significativamente en comparación con el grupo de control en todos los grupos y el aumento significativo en los grupos de aceite se produjo de manera dependiente de la dosis. Las actividades de SOD y CAT se redujeron significativamente en las ratas expuestas que en el grupo de control y aumentaron significativamente en los grupos de aceite de sésamo a medida que aumentaba la dosis de aceite. El colesterol total solo mostró una reducción notable en el grupo tratado con 3 ml de aceite de sésamo. Además, en este último grupo, se registró una elevación significativa de GSH-Rx. Los cambios en el HDL-c y LDL-c séricos siguieron un p

Tendencia opuesta en los grupos expuestos y con aceite de sésamo, lo que refleja su afectación por la radiación electromagnética o el aceite de sésamo. En conclusión, todos los resultados del estudio actual demostraron que el aceite de sésamo se puede utilizar como aceite comestible para atenuar el estrés oxidativo que podría producirse como resultado de la exposición crónica a la radiación electromagnética.

(NE) McNameeJP, GrybasVS, QutobSS, BellierPV Efectos de los campos de radiofrecuencia de 1800 MHz en la transducción de señales y las proteínas antioxidantes en células de glioblastoma humano A172. *Int J Radiat Biol* 28 de mayo de 2021;1-34. doi: 10.1080/09553002.2021.1934751. En línea antes de su impresión.

Objetivo: Evaluar los efectos de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) de 1800 MHz en la expresión de proteínas antioxidantes y de transducción de señales en una línea celular de glioblastoma A172 de origen humano. Materiales y métodos: Se expusieron células de glioblastoma A172 de origen humano adherentes (1,0 x 10<sup>5</sup> células por placa de cultivo de 35 mm, que contenía 2 mL de medio DMEM) a campos de RF de onda continua (CW) o modulados por GSM de 1800 MHz, en presencia o ausencia de suero durante 5, 30 o 240 min a una tasa de absorción específica (SAR) de 0 (simulado) o 2,0 W/kg. Se incluyeron controles negativos (vehículo) y positivos concurrentes (1 µg/mL de anisomicina) en cada experimento. Los lisados celulares se recogieron inmediatamente después de la exposición, se estabilizaron con inhibidores de proteasa y fosfatasa en tampón de lisis, luego se congelaron y se mantuvieron a -80 °C hasta el análisis. Los niveles de expresión relativa de las proteínas de transducción de señales fosforiladas y totales (CREB, JNK, NF-κB, ERK1/2, Akt, p70S6K, STAT3 y STAT5) y las proteínas antioxidantes (SOD1, SOD2, CAT, TRX1, PRX2) se evaluaron utilizando paneles de matriz de perlas magnéticas Milliplex y un sistema de imágenes MagPix Multiplex. Resultados: En células expuestas a RF-EMF de onda continua de 1800 MHz con presencia de suero en el medio de cultivo, la expresión de CAT disminuyó de manera estadísticamente significativa después de una exposición de 30 min, la JNK total disminuyó tanto a los 30 como a los 240 min de exposición, la STAT3 disminuyó después de 240 min de exposición y la expresión de CREB fosforilada disminuyó después de 30 min de exposición. En las células expuestas a campos electromagnéticos de radiofrecuencia modulados por GSM de 1800 MHz en cultivos sin suero, el nivel de expresión de STAT5 total disminuyó después de 30 y 240 minutos de exposición. Estos cambios observados se detectaron esporádicamente en distintos puntos temporales, condiciones de cultivo y condiciones de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia, lo que indica la probabilidad de eventos positivos falsos.

Cuando las células se trataron con anisomicina durante 15 minutos como control positivo, se observaron aumentos espectaculares en la expresión de proteínas de señalización fosforiladas tanto en las células A172 privadas de suero como en las alimentadas con suero, con mayores aumentos en el factor de cambio en los cultivos sin suero. No se observaron diferencias estadísticamente significativas en los niveles de expresión de SOD1, SOD2 o TRX1 en ninguna de las condiciones analizadas después de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia. Conclusiones: El estudio actual no encontró evidencia consistente de cambios en la expresión de proteínas antioxidantes (SOD1, SOD2, CAT o TRX2) o una variedad de proteínas de transducción de señales (CREB, JNK, NF-κB, ERK1/2, Akt, p70S6K, STAT3, STAT5) en una línea celular de glioblastoma A172 de origen humano en respuesta a la exposición a RF-EMF modulada por GSM o de onda continua de 1800 MHz durante 5, 30 o 240 minutos en cultivos sin suero o con suero.

(E) \*Meena R, Kumari K, Kumar J, Rajamani P, Verma HN, Kesari KK. Enfoques terapéuticos de la melatonina en la toxicidad mediada por estrés oxidativo inducido por radiaciones de microondas en el patrón de fertilidad masculina de ratas Wistar *Electromagn Biol Med.* 33(2):81-91, 2014.

Resumen La radiación de microondas (MW) producida por las telecomunicaciones inalámbricas y una serie de dispositivos eléctricos utilizados en el hogar o en instituciones de salud puede afectar negativamente el patrón reproductivo. El presente estudio tuvo como objetivo investigar los efectos protectores de la melatonina (un antioxidante bien conocido que protege el ADN, los lípidos y las proteínas del daño de los radicales libres) contra el deterioro testicular mediado por estrés oxidativo debido a la exposición a largo plazo de MW. Para esto, ratas Wistar macho de 70 días de edad se dividieron en cuatro grupos (n = 6/grupo): exposición simulada, tratamiento con melatonina (Mel) (2 mg/kg), exposición a MW de 2,45 GHz y tratamiento con MW + Mel. La exposición se llevó a cabo en jaulas de plexiglás durante 2 ha día durante 45 días, donde se estimó la densidad de potencia (0,21 mW/cm<sup>2</sup>) y la tasa de absorción específica (SAR 0,14 W/Kg). Después de completar el período de exposición, las ratas fueron sacrificadas y se realizaron varios parámetros relacionados con el estrés, es decir, la actividad de LDH-X (isoenzima de lactato deshidrogenasa), xantina oxidasa (XO), ROS (especies reactivas de oxígeno), contenido de carbonilo proteico, daño del ADN y MDA (malondialdehído). El resultado muestra que la melatonina previene el daño oxidativo bioquímicamente mediante un aumento significativo (p < 0,001) en los niveles de LDH-X testicular, disminución (p < 0,001) de los niveles de MDA y ROS en los testículos (p < 0,01). Mientras tanto, revirtió los efectos de MW en XO, contenido de carbonilo proteico, recuento de espermatozoides, nivel de testosterona y fragmentación del ADN en células testiculares. Estos resultados concluyeron que la melatonina tiene un fuerte potencial antioxidante contra el daño del ADN mediado por estrés oxidativo inducido por MW en las células testiculares.

(E) \*Megha K, Deshmukh PS, Banerjee BD, Tripathi AK, Abegaonkar MP. Estrés oxidativo, deterioro cognitivo e inflamación inducidos por radiación de microondas en el cerebro de ratas Fischer. Indian J Exp Biol. 50(12):889-896, 2012. (LI)

La preocupación pública por los posibles efectos adversos para la salud de la radiación de microondas emitida por los teléfonos móviles va en aumento. Para evaluar la intensidad del estrés oxidativo, el deterioro cognitivo y la inflamación en el cerebro de ratas Fischer expuestas a la radiación de microondas, se expuso a ratas Fischer-344 macho a una radiación de microondas de 900 MHz (SAR = 5,953 x 10<sup>(-4)</sup> W/kg) y radiación de microondas de 1800 MHz (SAR = 5,835 x 10<sup>(-4)</sup> W/kg) durante 30 días (2 h/día). Se observó un deterioro significativo de la función cognitiva y la inducción de estrés oxidativo en los tejidos cerebrales de las ratas expuestas a microondas en comparación con los grupos expuestos simuladamente. Además, también se observó un aumento significativo del nivel de citocinas (IL-6 y TNF-alfa) tras la exposición a microondas. Los resultados del presente estudio indicaron que el aumento del estrés oxidativo debido a la exposición a microondas puede contribuir al deterioro cognitivo y la inflamación en el cerebro.

(E) Meral I, Mert H, Mert N, Deger Y, Yoruk I, Yetkin A, Keskin S. Efectos del campo electromagnético de 900 MHz emitido por un teléfono celular sobre el estrés oxidativo cerebral y algunos niveles de vitaminas en cobayas. Brain Res. 1169:120-124, 2007.

Este estudio fue diseñado para demostrar los efectos del campo electromagnético (CEM) de 900 MHz emitido por un teléfono celular sobre el tejido cerebral y también sobre los niveles de malondialdehído (MDA), glutatión (GSH), retinol (vitamina A), vitamina D(3) y tocoferol (vitamina E) en sangre, y la actividad de la enzima catalasa (CAT) de los conejillos de indias. Catorce conejillos de indias machos, con un peso de 500 a 800 g, fueron divididos aleatoriamente en uno de dos grupos experimentales: control y tratamiento (expuestos a CEM), cada uno de los cuales contenía siete animales. Los animales en el tratamiento

El grupo estuvo expuesto a un campo electromagnético de 890 a 915 MHz (frecuencia de pulso de 217 Hz, potencia máxima de pico de 2 W, SAR 0,95 w/kg) de un teléfono celular durante 12 h/día (11 h 45 min en espera y 15 h 45 min en modo de espera). min spiking mode) durante 30 días. Los conejillos de indias de control se alojaron en una habitación separada sin exposición a los campos electromagnéticos de un teléfono celular. Se recogieron muestras de sangre a través de una punción cardíaca y se extrajeron los cerebros después de la decapitación para el análisis bioquímico al final de los 30 días del período experimental. Se encontró que el nivel de MDA aumentó ( $P < 0,05$ ), el nivel de GSH y la actividad de la enzima CAT disminuyeron ( $P < 0,05$ ) y los niveles de vitaminas A, E y D (3) no cambiaron ( $P > 0,05$ ) en los tejidos cerebrales de los conejillos de indias expuestos a los campos electromagnéticos. Además, los niveles de MDA, vitaminas A, D (3) y E, y la actividad de la enzima CAT aumentaron ( $P < 0,05$ ), y el nivel de GSH disminuyó ( $P < 0,05$ ) en la sangre de los conejillos de indias expuestos a los campos electromagnéticos. Se concluyó que el campo electromagnético emitido por el teléfono celular podría producir estrés oxidativo en el tejido cerebral de los conejillos de indias. Sin embargo, se necesitan más estudios para demostrar si estos efectos son perjudiciales y/o afectan las funciones neuronales.

(E) Moghadasi N, Alimohammadi I, Variani AS, Ashtarinezhad A. El efecto de la radiación móvil en los biomarcadores de estrés oxidativo en ratones preñados. *J Family Reprod Health*. 2021 Sep;15(3):172-178. doi: 10.18502/jfrh.v15i3.7134.

Objetivo: Debido al creciente uso de instrumentos de comunicación como teléfonos celulares y dispositivos inalámbricos, existe una creciente preocupación pública sobre los posibles efectos nocivos, especialmente en grupos sensibles como las mujeres embarazadas. Este estudio tuvo como objetivo investigar el estrés oxidativo inducido por la exposición a la radiación de teléfonos móviles de 900 MHz y el efecto de la ingesta de vitamina C en la reducción de posibles cambios en ratones preñados. Materiales y métodos: Veintiún ratones preñados se dividieron en tres grupos (control, expuestos a radiación móvil y radiación móvil más con ingesta de vitamina C coexpuesta (200 mg / kg)). Los ratones en los grupos de exposición fueron expuestos a 900 MHz, 2 vatios y una densidad de potencia de  $0,045 \mu\text{w} / \text{cm}^2$  de radiación móvil durante ocho horas / día durante diez días consecutivos. Después de cinco días de descanso, MDA (Malondialdehído), 8-

Se midieron los niveles de OHdG (8-hidroxi-2' -desoxiguanosina) y TAC (capacidad antioxidante total) en la sangre de los animales. Los resultados se analizaron mediante el software SPSS.22.0. Resultados: Los resultados mostraron que la exposición a la radiación móvil aumentó significativamente la MDA ( $P = 0,002$ ) y 8-OHdG ( $P = 0,001$ ) y disminuyó la capacidad antioxidante total en los grupos expuestos ( $P = 0,001$ ). La ingesta de vitamina C inhibió el aumento significativo de los niveles de MDA y 8-OHdG en los grupos expuestos. Conclusión: Aunque la exposición a la radiación móvil puede causar estrés oxidativo en la sangre de ratones preñados, la vitamina C como antioxidante puede prevenirlo.

(E) Mojez MR, Gaeini AA, Choobineh S, Sheykhloovand M. Estrés oxidativo hipocampal inducido por radiación electromagnética de radiofrecuencia y efectos neuroprotectores del ejercicio aeróbico en ratas: un ensayo de control aleatorizado. *J Phys Act Health* 25 de octubre de 2021;1-7. doi: 10.1123/jpah.2021-0213. En línea antes de su impresión.

Antecedentes: El presente estudio determinó si 4 semanas de ejercicio aeróbico moderado mejoran la capacidad antioxidante del cerebro de ratas contra el estrés oxidativo causado por la radiación electromagnética de radiofrecuencia emitida por los teléfonos celulares. Métodos: Se examinaron las respuestas del malondialdehído, la catalasa, la glutatión peroxidasa y la superóxido dismutasa, así como el número de células muertas del hipocampo. Se analizaron ratas Wistar macho (de 10 a 12 semanas de edad)

asignados aleatoriamente a 1 de 4 grupos (N = 8): (1) ejercicio aeróbico moderado (EXE) (2 × 15-30 min a 1215 m/min de velocidad con 5 min de recuperación activa entre series), (2) exposición a ondas electromagnéticas de radiofrecuencia de 900/1800 MHz 3 horas al día (RAD), (3) EXE + RAD, y (4) exposición a un teléfono experimental sin batería. Resultados: Después de la exposición, el número de células muertas del hipocampo fue significativamente mayor en el grupo RAD en comparación con los grupos EXE, EXE + RAD y el grupo control. La concentración de malondialdehído en el grupo RAD fue significativamente mayor que la de los grupos EXE, EXE + RAD y el grupo control. Además, la actividad de la catalasa, glutatión peroxidasa y superóxido dismutasa en los grupos EXE, EXE + RAD y el grupo control fue significativamente mayor en comparación con las del grupo de exposición. Conclusión: Este estudio demostró que el ejercicio aeróbico moderado mejora la capacidad antioxidante del hipocampo frente al desafío oxidativo en forma de ondas electromagnéticas de radiofrecuencia.

(E) Monselise EB, Levkovitz A, Gottlieb HE, Kost D. Bioensayo para evaluar el estrés celular en las proximidades de antenas de irradiación de radiofrecuencia. *J Environ Monit.* 13(7):1890-1896, 2011.

La exposición de plantas acuáticas (lenteja de agua etiolada) a campos electromagnéticos de radiofrecuencia entre 7,8 V m(-1) y 1,8 V m(-1), generados por antenas transmisoras AM de 1,287 MHz, durante 24 h provocó la acumulación de alanina en las células de las plantas, un fenómeno que hemos demostrado anteriormente que es una señal de estrés universal. La magnitud del efecto corresponde cualitativamente al nivel de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia. En presencia de 10 mM de vitamina C, la acumulación de alanina se suprime por completo, lo que sugiere la participación de radicales libres en el proceso. De este modo, se ha establecido una conexión biológica única entre la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia y el estrés celular, en las proximidades de antenas transmisoras de radiofrecuencia. Esta sencilla prueba, que dura sólo 24 h, constituye un bioensayo útil para la detección rápida del estrés celular biológico causado en las proximidades de antenas irradiadoras de radiofrecuencia.

(E) Morimoto S, Takahashi T, Shimizu K, Kanda T, Okaishi K, Okuro M, Murai H, Nishimura Y, Nomura K, Tsuchiya H, Ohashi I, Matsumoto M. Los campos electromagnéticos inhiben la producción de endotelina-1 estimulada por la trombina en células endoteliales. *J Int Med Res.* 33(5):545-554, 2005.

Se ha descubierto que la radiación de campos electromagnéticos (CEM) induce dilatación arteriolar, pero el mecanismo de acción sigue siendo en gran medida desconocido. Este estudio investigó el efecto de la radiación de campos electromagnéticos en la producción de endotelina-1 (ET-1), un potente vasoconstrictor, por células endoteliales cultivadas. La radiación de campos electromagnéticos redujo los niveles basales de ET-1 en células endoteliales de la vena umbilical y microvasculares humanas, pero no logró reducir los niveles basales de ET-1 en células endoteliales aórticas bovinas y humanas. La radiación de campos electromagnéticos inhibió significativamente la producción de ET-1 estimulada por trombina en los cuatro tipos de células endoteliales de una manera dependiente de la dosis. La radiación EMF inhibió significativamente la expresión de ARNm de endotelina-1 inducida por trombina en los cuatro tipos de células. El efecto inhibitorio de la radiación EMF sobre la producción de ET-1 fue abolido por el inhibidor de la óxido nítrico sintasa NG-monometil-L-arginina (10(-3) mol/l). Estos resultados demuestran que la radiación EMF modula la producción de ET-1 en células endoteliales vasculares cultivadas y el efecto inhibitorio de la radiación EMF está mediado, al menos en parte, a través de una vía relacionada con el óxido nítrico.

---

(E) Mortazavi SMJ, Mostafavi-Pour Z, Daneshmand M, Zal F, Zare R, Mosleh-Shirazi MA. Respuesta adaptativa inducida por preexposición a radiofrecuencia de 915 MHz: un posible papel de la actividad enzimática antioxidante. J Biomed Phys Eng. 7(2):137-142, 2017.

ANTECEDENTES: En los últimos años, el uso rápido de campos electromagnéticos de alta frecuencia como los teléfonos móviles ha suscitado preocupaciones globales sobre los efectos negativos para la salud de su uso. La respuesta adaptativa es la capacidad de una célula o tejido para resistir mejor el daño por estrés mediante la exposición previa a una menor cantidad de estrés. Este estudio tuvo como objetivo evaluar si la radiación de radiofrecuencia puede inducir una respuesta adaptativa al cambiar el equilibrio antioxidante. MATERIALES Y MÉTODOS: Para evaluar la respuesta adaptativa inducida por RF en los tejidos, evaluamos el nivel de GSH y la actividad de GR en el hígado. 50 ratas se dividieron en 5 grupos. Tres grupos fueron preexpuestos a radiación de RF de 915 MHz, 4 horas al día durante una semana a diferentes potencias, como baja, media y alta. 24 horas después de la última exposición a la radiación, fueron expuestos a una dosis subletal de 4 Gy de radiación gamma y luego sacrificados después de 5 horas. Se les extrajo el hígado, se lo lavó y se lo conservó a -80o C hasta su uso. RESULTADOS: Nuestro hallazgo mostró que la preexposición a la radiación de radiofrecuencia de 915 MHz con potencia específica podría inducir una respuesta adaptativa en el hígado al inducir cambios en la actividad y el nivel de enzimas antioxidantes. CONCLUSIÓN: Se puede concluir que la preexposición a la radiación de microondas podría aumentar el nivel de GSH y la actividad de la enzima GR, aunque estos aumentos se observaron solo en el grupo de baja potencia, y la actividad de GR se indicó en el grupo de potencia media. Este aumento protege al tejido del daño oxidativo inducido por la dosis subletal de radiación gamma.

(E) Motawi TK, Darwish HA, Moustafa YM, Labib MM. Modificaciones bioquímicas y daño neuronal en el cerebro de ratas jóvenes y adultas después de una exposición prolongada a las radiaciones de los teléfonos móviles. Cell Biochem Biophys. 70:845-855, 2014.

Este estudio investigó el efecto de la exposición a las radiaciones de los teléfonos móviles sobre el estrés oxidativo y la apoptosis en el cerebro de ratas. Las ratas se dividieron en seis grupos (tres jóvenes y tres adultas). Los grupos 1 y 4 no estuvieron expuestos a la fuente de radiación y sirvieron como grupos de control. En los grupos 2 y 5, los teléfonos móviles solo estaban conectados al sistema global de comunicación móvil, mientras que en los grupos 3 y 6, se utilizó la opción de llamar. Las microondas se generaron mediante un teléfono móvil de prueba (SAR = 1,13 W/kg) durante 60 días (2 h/día). Se evidenciaron incrementos significativos en dienos conjugados, carbonilos proteicos, estado oxidante total e índice de estrés oxidativo junto con una reducción significativa de los niveles de capacidad antioxidante total después de la exposición. La relación Bax/Bcl-2, la actividad de la caspasa-3 y el nivel del factor de necrosis tumoral alfa aumentaron, mientras que no se detectó fragmentación del ADN. El peso relativo del cerebro de las ratas jóvenes se vio muy afectado y el examen histopatológico reforzó el daño neuronal.

El estudio destaca los efectos nocivos de las radiaciones de los teléfonos móviles sobre el cerebro en edades jóvenes y adultas. La interacción de estas radiaciones con el cerebro se produce mediante la disipación de su estado antioxidante y/o el desencadenamiento de la muerte celular apoptótica.

(E) Moustafa YM, Moustafa RM, Belacy A, Abou-El-Ela SH, Ali FM. Efectos de la exposición aguda a los campos de radiofrecuencia de los teléfonos celulares sobre las actividades de peróxido lipídico plasmático y antioxidante en eritrocitos humanos. J Pharm Biomed Anal 26(4):605-608, 2001.

Los campos de radiofrecuencia de los teléfonos celulares pueden afectar los sistemas biológicos al aumentar los radicales libres, que parecen mejorar principalmente la peroxidación lipídica, y al cambiar las actividades antioxidantes de la sangre humana, lo que conduce al estrés oxidativo. Para probar esto, hemos investigado el efecto de la exposición aguda a los campos de radiofrecuencia de los teléfonos celulares disponibles comercialmente sobre algunos parámetros indicativos de estrés oxidativo en 12 voluntarios varones adultos sanos. Cada voluntario puso el teléfono en su bolsillo en posición de espera con el teclado hacia el cuerpo. Los parámetros medidos fueron el peróxido lipídico y las actividades de superóxido dismutasa (SOD), glutatión peroxidasa total (GSH-Px) y catalasa. Los resultados obtenidos mostraron que el nivel plasmático de peróxido lipídico aumentó significativamente después de 1, 2 y 4 horas de exposición a los campos de radiofrecuencia del teléfono celular en posición de espera. Además, las actividades de SOD y GSH-Px en los eritrocitos humanos mostraron una reducción significativa, mientras que la actividad de la catalasa en los eritrocitos humanos no disminuyó significativamente. Estos resultados indican que la exposición aguda a los campos de radiofrecuencia de los teléfonos celulares disponibles comercialmente puede modular el estrés oxidativo de los radicales libres al mejorar la peroxidación lipídica y reducir la activación de SOD y GSH-Px, que son captadores de radicales libres. Por lo tanto, estos resultados respaldan la interacción de los campos de radiofrecuencia de los teléfonos celulares con los sistemas biológicos.

(NE) Nakatani-Enomoto S, Okutsu M, Suzuki S, Suganuma R, Groiss SJ, Kadowaki S, Enomoto H, Fujimori K, Ugawa Y. Efectos de la señal de tipo W-CDMA de 1950 MHz en los espermatozoides humanos. Bioelectromagnetismo. 11 de junio de 2016. doi: 10.1002/bem.21985. [Publicación electrónica antes de la impresión]

Existe una creciente preocupación sobre cómo las ondas electromagnéticas (EMW) emitidas por los teléfonos móviles afectan a los espermatozoides humanos. Varios experimentos han sugerido efectos nocivos de las EMW sobre la calidad, la motilidad, la velocidad o el ácido desoxirribonucleico (ADN) de los espermatozoides humanos. En este estudio, analizamos los efectos sobre los espermatozoides humanos (movilidad espermática y variables cinéticas) inducidos por 1 h de exposición a EMW de tipo Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha de 1950 MHz (W-CDMA) con tasas de absorción específicas de 2,0 o 6,0 W/kg, utilizando un sistema analizador de espermatozoides asistido por computadora. También medimos el porcentaje de espermatozoides positivos a 8-hidroxi-2'-desoxiguanosina (8-OHdG) con citometría de flujo para evaluar el daño al ADN. No se observaron diferencias significativas entre la exposición a EMW y la exposición simulada en la motilidad espermática, las variables cinéticas o los niveles de 8-OHdG. Concluimos que la exposición a W-CDMA durante 1 hora en condiciones de temperatura controlada no tiene ningún efecto detectable en los espermatozoides humanos normales. Las diferencias en las condiciones de exposición, la humedad, el control de la temperatura, las características basales de los espermatozoides y la edad de los donantes pueden explicar la inconsistencia de nuestros resultados con varios estudios previos.

(E) Narayanan SN, Kumar RS, Kedage V, Nalini K, Nayak S, Bhat PG. Evaluación del estrés oxidativo y la defensa antioxidante en regiones cerebrales discretas de ratas expuestas a radiación de 900 MHz. Bratisl Lek Listy. 115(5):260-266, 2014.

OBJETIVO: En el estudio actual, se analizaron los efectos de la radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF-EMR) de 900 MHz sobre los niveles de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS), antioxidantes totales (TA) y actividad de glutatión S-transferasa (GST) en regiones cerebrales discretas.

se estudiaron en ratas adolescentes. MATERIALES Y MÉTODOS: Treinta y seis ratas Wistar macho (6-8 semanas de edad) fueron asignadas a tres grupos (n = 12 en cada grupo). El grupo de control (1) permaneció sin molestias en su jaula; el grupo simulado (2) fue expuesto al teléfono móvil en modo apagado durante cuatro semanas; el grupo expuesto a RF-EMR (3) fue expuesto a 900 MHz de RF-EMR (1 h/día con una densidad de potencia máxima de 146,60  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) de un teléfono móvil GSM (sistema global para comunicaciones móviles) activado (mantenido en modo silencioso; sin tono de llamada y sin vibración) durante cuatro semanas. El día 29, se realizó un análisis de comportamiento. Después de esto, seis animales de cada grupo fueron sacrificados y se estudiaron los parámetros bioquímicos en la amígdala, el hipocampo, la corteza frontal y el cerebelo.

RESULTADOS: Se encontraron alteraciones en el comportamiento de las ratas expuestas a RF-EMR. Además, se encontró un nivel elevado de TBARS en todas las regiones cerebrales estudiadas. La exposición a RF-EMR disminuyó significativamente la TA en la amígdala y el cerebelo, pero su nivel no se modificó significativamente en otras regiones cerebrales. La actividad de GST disminuyó significativamente en el hipocampo, pero su actividad no se alteró en otras regiones cerebrales estudiadas.

CONCLUSIÓN: La exposición a RF-EMR durante un mes indujo estrés oxidativo en el cerebro de ratas, pero su magnitud fue diferente en las diferentes regiones estudiadas. El estrés oxidativo inducido por RF-EMR podría ser una de las causas subyacentes de los déficits conductuales observados en ratas después de la exposición a RF-EMR (Fig. 5, Ref. 37).

(E) Narayanan SN, Lukose ST, Arun G, Mohapatra N, Pamala J, Concessao PL, Jetti R, Kedage V, Nalini K, Bhat PG. Efecto modulador de la radiación de 900 MHz sobre parámetros bioquímicos y reproductivos en ratas. Bratisl Lek Listy. 119(9):581-587, 2018.

En el presente estudio, se evaluó el efecto de la exposición a la radiación de 900 MHz sobre los parámetros bioquímicos y reproductivos de la sangre en ratas adolescentes. Se expusieron ratas Wistar albinas macho (de 8 a 10 semanas de edad) a la radiación de 900 MHz (1 h/día, densidad de potencia - 146,60  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) de un teléfono móvil durante 28 días. El día 29, los animales fueron sacrificados y se estudiaron los niveles de malondialdehído (MDA), antioxidantes totales (TA) y la actividad de glutatión-S transferasa (GST) en la sangre. Se determinaron parámetros reproductivos como el recuento total de espermatozoides, el porcentaje de espermatozoides no móviles y la morfología de los espermatozoides. Se tiñeron secciones de testículos con tinción H(et)E y se evaluó su integridad celular. También se determinó la actividad de la caspasa-3 en los testículos. La concentración de MDA aumentó, pero no se encontró que los niveles de TA y la actividad de GST fueran diferentes en el grupo de 900 MHz en comparación con los controles. Se encontró que la motilidad de los espermatozoides estaba ligeramente reducida en el grupo de 900 MHz. El porcentaje de espermatozoides anormales estaba significativamente elevado en el grupo de 900 MHz. Además, se encontró pérdida de células germinales, particularmente espermatoцитos y espermátidas, en los testículos del grupo de 900 MHz. La actividad de la caspasa-3 en los testículos estaba ligeramente elevada en las ratas expuestas a 900 MHz. La exposición crónica a 900 MHz indujo daño oxidativo en la sangre y provocó alteraciones en los parámetros reproductivos en ratas (Fig. 4, Ref. 33).

(E) Naziroğlu M, Gümral N. Efectos moduladores de la L-carnitina y el selenio sobre el estrés oxidativo inducido por dispositivos inalámbricos (2,45 GHz) y registros electroencefalográficos en el cerebro de ratas. Int J Radiat Biol. 85(8):680-689, 2009.

**OBJETIVO:** La radiación electromagnética (REM) de dispositivos inalámbricos puede afectar los sistemas biológicos al aumentar los radicales libres. El presente estudio fue diseñado para determinar los efectos de la REM de 2,45 GHz en el sistema redox antioxidante cerebral y los registros de electroencefalografía (EEG) en ratas.

También se probaron los posibles efectos protectores del selenio y la L-carnitina y se compararon con los controles no tratados. **MATERIALES Y MÉTODOS:** Treinta ratas se dividieron equitativamente en cinco grupos diferentes, a saber: Grupo A (1): Control de jaula, Grupo A (2): Control simulado, grupo B: REM de 2,45 GHz, grupo C: REM de 2,45 GHz + selenio, grupo D: REM de 2,45 GHz + L-carnitina. Los grupos B, C y D fueron expuestos a REM de 2,45 GHz durante 60 min/día durante 28 días. Al final de los experimentos, se tomaron registros de EEG y muestras de la corteza cerebral.

**RESULTADOS:** Las concentraciones de vitamina A ( $p < 0,05$ ), vitamina C ( $p < 0,01$ ) y vitamina E ( $p < 0,05$ ) en la corteza cerebral fueron menores en el grupo B que en el grupo A1 y A2, aunque sus concentraciones aumentaron con la suplementación con selenio y L-carnitina. Los niveles de peroxidación lipídica fueron menores en el grupo C ( $p < 0,05$ ) y D ( $p < 0,01$ ) que en el grupo B, mientras que los niveles de glutatión reducido fueron mayores en el grupo C ( $p < 0,05$ ) que en el grupo A1, A2 y B.

Sin embargo, los niveles de betacaroteno no cambiaron en los cinco grupos. **CONCLUSIONES:** La L-carnitina y el selenio parecen tener efectos protectores sobre la disminución de las vitaminas inducida por la frecuencia de 2,45 GHz al apoyar el sistema redox antioxidante. La L-carnitina sobre las concentraciones de vitaminas parece tener un efecto más protector que el selenio.

(cáncer) (E) \*Nazıroğlu M, Cığ B, Doğan S, Uğuz AC, Dilek S, Faouzi D. Los dispositivos inalámbricos de 2,45 Gz inducen estrés oxidativo y proliferación a través de la entrada de  $Ca^{2+}$  citosólico en células de cáncer de leucemia humana. *Int J Radiat Biol.* 88(6):449-456, 2012a.

**OBJETIVO:** La radiación electromagnética de los dispositivos inalámbricos puede afectar a los sistemas biológicos al aumentar los radicales libres. El presente estudio se diseñó para determinar los efectos de la frecuencia de 2,45 GHz.

Efecto de la radiación sobre el sistema redox antioxidante, señalización del ion calcio, recuento celular y viabilidad en células de leucemia humana 60. **MATERIALES Y MÉTODOS:** Doce cultivos celulares se dividieron equitativamente

en dos grupos principales como controles ( $n = 6$ ) e irradiados ( $n = 6$ ) y luego se subdividieron en cuatro subgrupos diferentes según la duración de la exposición, a saber, 1, 2, 12 y 24 horas. Las muestras se analizaron inmediatamente después del período experimental.

**RESULTADOS:** El grado de peroxidación lipídica,  $Ca^{2+}$  libre citosólico y el número de células fueron mayores en los grupos de 2,45 GHz que en los controles. El aumento de las concentraciones de  $Ca^{2+}$  libre citosólico dependió del tiempo de radiación y fue máximo con la exposición de 24 h. Los valores de glutatión reducido, glutatión peroxidasa, vitamina C y viabilidad celular no mostraron cambios en ninguno de los grupos experimentales. El 2-aminoetil difenilborinato inhibe la entrada de iones  $Ca^{2+}$  mediante el bloqueo del potencial receptor transitorio melastatina 2. **CONCLUSIONES:** La radiación electromagnética de 2,45 GHz parece inducir efectos proliferativos a través del estrés oxidativo y la entrada de  $Ca^{2+}$ , aunque el bloqueo de los canales del potencial receptor transitorio melastatina 2 por el 2-aminoetil difenilborinato parece contrarrestar los efectos sobre la entrada de iones  $Ca^{2+}$ .

(E) \*Nazıroğlu M, Çelik Ö, Özgül C, Çığ B, Doğan S, Bal R, Gümral N, Rodríguez AB, Pariente JA. La melatonina modula la lesión oxidativa inducida de forma inalámbrica (2,45 GHz) a través de TRPM2 y canales de  $Ca^{2+}$  (2+) dependientes de voltaje en el cerebro y el ganglio de la raíz dorsal en ratas. *Fisioterapia.* 105(3):683-692, 2012b.

Nuestro objetivo fue investigar los efectos protectores de la melatonina y la radiación electromagnética (REM) de 2,45 GHz sobre el sistema redox antioxidante de las neuronas del cerebro y del ganglio de la raíz dorsal (DRG), el flujo de  $\text{Ca}^{2+}$ , la viabilidad celular y los registros de electroencefalografía (EEG) en la rata. Treinta y dos ratas se dividieron equitativamente en cuatro grupos diferentes, a saber, grupo A1: control de jaula, grupo A2: control simulado, grupo B: REM de 2,45 GHz, grupo C: REM de 2,45 GHz + melatonina. Los grupos B y C fueron expuestos a REM de 2,45 GHz durante 60 min/día durante 30 días. Al final de los experimentos, se tomaron registros de EEG y muestras de la corteza cerebral y del DRG. La peroxidación lipídica (LP), la viabilidad celular y los valores de  $\text{Ca}^{2+}$  citosólico en las neuronas DRG fueron mayores en el grupo B que en los grupos A1 y A2, aunque sus concentraciones aumentaron con la suplementación con melatonina, 2-aminoetildifenil borinato (2-APB), diltiazem y verapamilo. El número de picos de registros de EEG en el grupo C fue menor que en el grupo B. La concentración de vitamina E en la corteza cerebral fue mayor en el grupo C que en el grupo B. En conclusión, la suplementación con melatonina en las neuronas DRG y el cerebro parece tener efectos protectores sobre el aumento inducido por 2,45 GHz de la afluencia de  $\text{Ca}^{2+}$ , los registros de EEG y la viabilidad celular de la hormona a través de TRPM2 y los canales de  $\text{Ca}^{2+}$  dependientes del voltaje.

(NE) Nazırođlu M, Özkan FF, Hapil SR, Ghazizadeh V, Çiğ B. La epilepsia, pero no la frecuencia del teléfono móvil (900 MHz), induce apoptosis y entrada de calcio en el hipocampo de ratas epilépticas: participación de los canales TRPV1. *J Membr Biol.* 248(1):83-91, 2015.

Se ha informado que la radiación electromagnética (REM) y la epilepsia median la regulación de la apoptosis y el estrés oxidativo a través del flujo de  $\text{Ca}^{2+}$ . Los resultados de informes recientes indicaron que la REM puede aumentar la temperatura y el estrés oxidativo de las células corporales, y el canal TRPV1 se activa por el calor nocivo, el estrés oxidativo y la capsaicina (CAP). Investigamos los efectos de la exposición a la REM de teléfonos móviles (900 MHz) sobre el flujo de  $\text{Ca}^{2+}$ , la apoptosis, el estrés oxidativo y las activaciones del canal TRPV1 en el hipocampo de ratas epilépticas inducidas con pentilenoetrazol (PTZ). En el estudio se utilizaron neuronas hipocámpicas recién aisladas de veintidós ratas en tres grupos, a saber, control, PTZ y PTZ + REM. Las neuronas de los tres grupos fueron estimuladas por CAP. La epilepsia se indujo mediante la administración de PTZ. Las neuronas del grupo PTZ + REM estuvieron expuestas a la REM de 900 MHz durante 1 h. Los valores de apoptosis, despolarización de la membrana mitocondrial, especies reactivas de oxígeno (ROS) intracelulares y caspasa-3 y caspasa-9 fueron mayores en los grupos PTZ y PTZ + EMR que en el grupo control. Sin embargo, la EMR no agregó efectos de aumento adicionales en los valores en las neuronas del hipocampo. Las concentraciones intracelulares de  $\text{Ca}^{2+}$  libre en los análisis de fura-2 también fueron mayores en el grupo PTZ + CAP que en el grupo control, aunque sus concentraciones disminuyeron con el bloqueador del canal TRPV1, capsazepina. Sin embargo, no hubo cambios estadísticos en las concentraciones de  $\text{Ca}^{2+}$  entre los grupos de epilepsia y EMR. En conclusión, la apoptosis, mitocondrial, ROS y el flujo de  $\text{Ca}^{2+}$  a través del canal TRPV1 aumentaron en las neuronas del hipocampo por la inducción de la epilepsia, aunque el teléfono móvil no cambió los valores. Los resultados indicaron que los canales TRPV1 en el hipocampo posiblemente sean un nuevo objetivo para el tratamiento eficaz de la epilepsia.

(cáncer) (Revisión) Nazırođlu M, Tokat S, Demirci S. Función de la melatonina en el estrés oxidativo inducido por la radiación electromagnética y las vías moleculares de señalización de  $\text{Ca}^{2+}$  en el cáncer de mama. *J Recept Signal Transduct Res.* 32(6):290-297, 2012c.

**OBJETIVOS:** La exposición a la radiación electromagnética (REM) puede aumentar el riesgo de cáncer de mama al inducir estrés oxidativo y suprimir la producción de melatonina. El objetivo de la presente revisión es discutir los mecanismos y factores de riesgo de la REM y el cáncer de mama inducido por estrés oxidativo, resumir los estudios controlados que evalúan las medidas de prevención y concluir con estrategias basadas en evidencia para la prevención.

**MATERIALES:** La revisión de la literatura relevante y los resultados de nuestros estudios básicos recientes, así como los análisis críticos de las revisiones sistemáticas publicadas se obtuvieron de Pubmed y Science Citation Index.

**RESULTADOS:** Se ha propuesto que la exposición crónica a los REM puede aumentar el riesgo de cáncer de mama al suprimir la producción de melatonina; esta supresión puede afectar el desarrollo del cáncer de mama ya sea al aumentar los niveles de circulación de estrógeno o a través de la sobreproducción de radicales libres de oxígeno. La mayoría de los estudios epidemiológicos también han indicado el efecto general de la exposición a los REM en mujeres premenopáusicas, en particular en los tumores de mama con receptores de estrógeno positivos. También se ha demostrado que la corriente de  $Ca(2+)$  dependiente de voltaje aumentada y la función inhibidora de la proteína G alterada, y el trastorno de los orgánulos intracelulares con un efecto amortiguador de  $Ca(2+)$ , como el retículo endoplasmático y las mitocondrias, contribuyen a la señalización alterada de  $Ca(2+)$  en el cáncer de mama. **CONCLUSIÓN:** La melatonina puede modular el cáncer de mama a través de la modulación del estrés oxidativo aumentado y la entrada de  $Ca(2+)$  en las líneas celulares.

Sin embargo, no hay evidencia suficiente sobre un mayor riesgo de cáncer de mama relacionado con la exposición a EMR.

(Revisión) Nazırođlu M, Yüksel M, Köse SA, Özkaya MO. Informes recientes sobre la radiación inducida por Wi-Fi y teléfonos móviles en el estrés oxidativo y las vías de señalización reproductiva en mujeres y hombres. *J Membr Biol.* 246(12):869-875, 2013.

La exposición ambiental a la radiación electromagnética (REM) ha aumentado con la creciente demanda de dispositivos de comunicación. El objetivo del estudio fue discutir los mecanismos y factores de riesgo de los cambios de la REM en las funciones reproductivas y la biología oxidativa de la membrana en hembras y machos. Se informó que incluso la exposición crónica a la REM no aumentó el riesgo de abortos por funciones reproductivas, como el aumento de los niveles de neoantígenos. Sin embargo, los resultados de algunos estudios indican que la REM indujo endometriosis e inflamación y disminuyó el número de folículos en el ovario o el útero de ratas. En estudios con ratas macho, la exposición causó degeneración en los túbulos seminíferos, reducción en el número de células de Leydig y producción de testosterona, así como aumentos en los niveles de hormona luteinizante y células apoptóticas. En algunos casos de infertilidad masculina y femenina, se informaron niveles aumentados de estrés oxidativo y peroxidación lipídica y valores disminuidos de antioxidantes como melatonina, vitamina E y glutatión peroxidasa en animales expuestos a REM.

En conclusión, los resultados de los estudios actuales indican que el estrés oxidativo provocado por la exposición a la radiación electromagnética inducida por wifi y teléfonos móviles es un mecanismo importante que afecta a los sistemas reproductivos femenino y masculino. Sin embargo, hasta la fecha no hay pruebas que respalden un mayor riesgo de infertilidad femenina y masculina relacionado con la exposición a la radiación electromagnética.

(E) Nirwane A, Sridhar V, Majumdar A. Cambios neuroconductuales y estrés oxidativo cerebral inducidos por exposición aguda a radiaciones de teléfonos móviles GSM900 en pez cebra (*Danio rerio*). *Toxicol Res.* 2016 Abr;32(2):123-32. doi: 10.5487/TR.2016.32.2.123. Publicación electrónica 2016 Abr 30.

El impacto de la radiación de los teléfonos móviles (MP) en el cerebro es de especial interés para la comunidad científica y justifica investigaciones, ya que el MP se sostiene cerca de la cabeza. Los estudios en humanos y roedores revelaron peligros asociados a la radiación de MP, como tumores cerebrales, deterioro cognitivo, auditivo, etc. La melatonina (MT) es un modulador importante del funcionamiento del SNC y es una hormona antioxidante neuronal. El pez cebra se ha convertido en un organismo modelo popular para los estudios del SNC. En este trabajo, evaluamos el impacto de la exposición a la radiación GSM900MP (GSM900MP) diariamente durante 1 hora durante 14 días con una SAR de 1,34 W/Kg sobre los parámetros neuroconductuales y de estrés oxidativo en el pez cebra. Nuestro estudio reveló que la exposición a la radiación GSM900MP redujo significativamente el tiempo pasado cerca de la zona de estímulo social y aumentó la distancia total recorrida, en la prueba de interacción social. En la nueva prueba de buceo en tanque, la exposición a la radiación GSM900MP provocó ansiedad, como lo reveló el aumento significativo del tiempo pasado en la mitad inferior; Los episodios de congelamiento y su duración disminuyeron, y la distancia recorrida, la velocidad promedio y el número de entradas a la mitad superior del tanque disminuyeron. Los peces cebra expuestos pasaron menos tiempo en el nuevo brazo del laberinto en Y, lo que corroboró un deterioro significativo en el aprendizaje en compa. La exposición disminuyó las actividades de la superóxido dismutasa (SOD) y la catalasa (CAT), mientras que se observaron niveles elevados de glutatión reducido (GSH) y peroxidación lipídica (LPO), lo que mostró una defensa antioxidante comprometida. El tratamiento con MT revirtió significativamente los trastornos neuroconductuales y oxidativos anteriores inducidos por la exposición a la radiación GSM900MP. Este estudio rastreó las aberraciones neuroconductuales y alteraciones en el estado oxidativo cerebral inducidas por la exposición a la radiación GSM900MP. Además, MT demostró ser un candidato terapéutico prometedor para mejorar dichos resultados en el pez cebra.

(E) Odacı E, Unal D, Mercantepe T, Topal Z, Hancı H, Türedi S, Erol H, Mungan S, Kaya H, Colakoğlu S. Efectos patológicos de la exposición prenatal a un campo electromagnético de 900 MHz en el riñón de ratas macho de 21 días de edad. *Biotech Histochem.* 27 de agosto de 2014:1-9. [Publicado electrónicamente antes de su publicación impresa]

Investigamos los efectos sobre el tejido renal de los campos electromagnéticos de 900 megahercios (MHz) aplicados durante el periodo prenatal. Las ratas preñadas fueron expuestas a campos electromagnéticos de 900 MHz, 1 h/día, en los días 13-21 del embarazo; no se realizó ningún procedimiento en las ratas preñadas del grupo de control ni en las madres o los recién nacidos después del nacimiento. El día 21 posnatal, se examinaron los tejidos renales de las crías de rata macho de ambos grupos mediante microscopía óptica y electrónica. También se investigaron los niveles de malondialdehído (MDA), superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y glutatión. La microscopía óptica reveló algunos cambios degenerativos en el epitelio tubular, pequeñas formaciones quísticas en los túbulos primitivos y grandes quistes en las regiones corticomedular o medular en el grupo experimental. La microscopía electrónica reveló una pérdida de capilares peritubulares y células epiteliales de la capa parietal atípicas en el grupo experimental. El análisis bioquímico mostró niveles significativamente mayores de MDA en el grupo experimental y niveles menores de SOD y CAT. Los campos electromagnéticos aplicados durante el periodo prenatal pueden causar cambios patológicos en el tejido renal de ratas macho de 21 días de edad debido al estrés oxidativo y la disminución de los niveles de enzimas antioxidantes.

(E) Odacı E, Özyılmaz C. La exposición a un campo electromagnético de 900 MHz durante una hora al día durante 30 días modifica la histopatología y la bioquímica de los testículos de ratas. *Int J Radiat Biol.* 19 de marzo de 2015:1-20. [Publicación electrónica antes de la impresión]

OBJETIVO: Este estudio investigó el efecto de la exposición a un campo electromagnético (CEM) de 900 megahercios (MHz) en el testículo de la rata. MATERIALES Y MÉTODOS: Veinticuatro ratas macho adultas se dividieron en grupos de control, simulado y CEM. Las ratas del grupo CEM fueron expuestas a CEM de 900 MHz (1 h / 30 días), y los testículos fueron extraídos al final del experimento. Se compararon los niveles de malondialdehído, superóxido dismutasa, catalasa y glutatión y las puntuaciones del índice apoptótico y del daño histopatológico. RESULTADOS: Histopatológicamente, las ratas del grupo CEM exhibieron vacuolas en la membrana basal de los túbulos seminíferos y edema en el espacio intertubular. Los diámetros de los túbulos seminíferos y el grosor del epitelio germinal fueron menores, y el índice apoptótico fue mayor, en el grupo CEM que en los otros grupos. Los valores de malondialdehído, superóxido dismutasa, catalasa y glutatión en el grupo EMF disminuyeron significativamente en comparación con los del grupo control.

---

**CONCLUSIONES:** Los resultados muestran que la exposición a campos electromagnéticos de 900 MHz provoca alteraciones en la morfología y la bioquímica testicular de ratas adultas.

(E) Okatan DÖ, Kulaber A, Kerimoglu G, Odacı E. Morfología y bioquímica alteradas del hígado de ratas hembra tras la exposición a un campo electromagnético de 900 megahercios durante la adolescencia media y tardía. Biotech Histochem. Agosto de 2019;94(6):420-428.

A pesar de sus beneficios, los dispositivos tecnológicos como los teléfonos celulares también pueden tener efectos nocivos para la salud humana. Continúa habiendo un considerable debate sobre los efectos del campo electromagnético (CEM) emitido durante el uso del teléfono celular en la salud humana. Investigamos los efectos de la exposición a CEM de 900 megahercios (MHz) durante la adolescencia media y tardía en el hígado de ratas. Se establecieron grupos de control (ContGr), grupo simulado (ShmGr) y grupo de CEM (EMFGr) de ratas hembras. Expusimos a las ratas EMFGr diariamente a CEM de 900 MHz en los días postnatales 35-59. Las ratas ShmGr se sometieron a procedimientos simulados. No se realizó ningún procedimiento en las ratas ContGr. Las ratas fueron sacrificadas el día 60 posnatal y se extrajeron los hígados. Una parte del hígado se tiñó con tricrómico de Masson o hematoxilina y eosina. El tejido restante se utilizó para medir los marcadores de estrés oxidativo, incluidos malondialdehído, glutatión, catalasa, superóxido dismutasa, 8-hidroxidesoxiguanosina (8-OHdG) y nitrotirosina. El estado antioxidante total y el estado oxidante total se utilizaron para calcular el índice de estrés oxidativo. Encontramos una morfología hepática normal en los grupos ContGr y ShmGr. El grupo EMFGr exhibió irregularidades ocasionales en la disposición radial de los hepatocitos, vacuolización citoplasmática, hemorragia, expansión sinusoidal, morfología de los hepatocitos y edema.

El análisis bioquímico reveló que los niveles de 8-OHdG y SOD en el grupo EMFGr disminuyeron significativamente en comparación con los grupos ContGr y ShmGr. La exposición a un campo electromagnético continuo de 900 MHz durante 1 hora diaria durante la mitad y el final de la adolescencia puede causar alteraciones histopatológicas y bioquímicas en el tejido hepático.

(E) \*Oksay T, Naziroğlu M, Doğan S, Güzel A, Gümral N, Koşar PA. Efectos protectores de la melatonina contra el daño oxidativo en testículos de rata inducidos por dispositivos inalámbricos (2,45 GHz). Andrología. 46:65-72, 2014.

Los dispositivos inalámbricos se han convertido en parte de la vida cotidiana y, en su mayoría, se ubican cerca de los órganos reproductivos mientras se utilizan. El presente estudio fue diseñado para determinar los posibles efectos protectores de la melatonina sobre la lesión testicular dependiente del estrés oxidativo inducida por la radiación electromagnética (REM) de 2,45 GHz. Treinta y dos ratas se dividieron equitativamente en cuatro grupos diferentes: control en jaula (A1), control simulado (A2), REM de 2,45 GHz (B)

y 2,45 GHz EMR + melatonina (C). El grupo B y C fueron expuestos a 2,45 GHz EMR durante 60 min día (-1) durante 30 días. Los niveles de peroxidación lipídica fueron más altos en el grupo B que en el grupo A1 y A2. El tratamiento con melatonina previno el aumento de la peroxidación lipídica inducida por EMR. También los niveles reducidos de glutatión (GSH) y glutatión peroxidasa (GSH-Px) en el grupo D fueron más altos que los del grupo de exposición. Las concentraciones de vitamina A y E disminuyeron en el grupo de exposición, y la melatonina previno la disminución de los niveles de vitamina E. En conclusión, la EMR inalámbrica (2,45 GHz) causó daño oxidativo en los testículos al aumentar los niveles de peroxidación lipídica y disminuir los niveles de vitamina A y E. La suplementación con melatonina previno el daño oxidativo inducido por EMR y también apoyó el sistema redox antioxidante en los testículos.

(E) Oktem F, Ozguner F, Mollaoglu H, Koyu A, Uz E. Daño oxidativo en el riñón inducido por teléfonos móviles emitidos a 900 MHz: protección mediante melatonina. Arch Med Res. 36(4):350-355, 2005.

ANTECEDENTES: Los teléfonos móviles que emiten radiación electromagnética (REM) de 900 MHz pueden ser absorbidos principalmente por los riñones porque a menudo se llevan en cinturones. Recientemente se descubrió que la melatonina, el principal producto secretor de la glándula pineal, es un potente eliminador de radicales libres y antioxidante. El objetivo de este estudio fue examinar el estrés oxidativo inducido por el teléfono móvil de 900 MHz que promueve la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) en el daño tubular renal y el papel de la melatonina en el tejido renal contra el posible daño oxidativo en ratas. MÉTODOS: Los animales se agruparon aleatoriamente de la siguiente manera: 1) grupo de control con cirugía simulada y 2) grupos de estudio: i) grupo expuesto a REM de 900 MHz (30 min/día durante 10 días) y ii) grupo expuesto a REM de 900 MHz + melatonina (100 µg kg<sup>-1</sup>) sc antes de la exposición diaria a REM). El malondialdehído (MDA), un índice de peroxidación lipídica, y la N-acetil-beta-D-glucosaminidasa (NAG) en orina, un marcador de daño tubular renal, se utilizaron como marcadores de deterioro renal inducido por estrés oxidativo. Se estudiaron las actividades de la superóxido dismutasa (SOD), la catalasa (CAT) y la glutatión peroxidasa (GSH-Px) para evaluar los cambios en el estado antioxidante. RESULTADOS: En el grupo expuesto a EMR, mientras que los niveles de MDA en el tejido renal y de NAG en la orina aumentaron, las actividades de SOD, CAT y GSH-Px se redujeron. El tratamiento con melatonina también revirtió estos efectos. En este estudio, el aumento de los niveles de MDA en el tejido renal y en la orina de NAG y también la disminución de las actividades renales de SOD, CAT y GSH-Px demostraron el papel del mecanismo oxidativo inducido por la exposición a teléfonos móviles de 900 MHz, y la melatonina, a través de sus propiedades antioxidantes y de eliminación de radicales libres, mejoró la lesión tisular oxidativa en el riñón de ratas. CONCLUSIONES: Estos resultados muestran que la melatonina puede exhibir un efecto protector sobre el deterioro renal inducido por el uso de teléfonos móviles en ratas.

(E) Olgar Y, Hidisoglu E, Celen MC, Yamasan BE, Yargicoglu P, Ozdemir S. El campo electromagnético de 2,1 GHz no modifica la contractilidad ni los transitorios intracelulares de Ca<sup>2+</sup>, pero disminuye la respuesta β-adrenérgica a través de la señalización del óxido nítrico en los miocitos ventriculares de rata. Int J Radiat Biol. 1 de julio de 2015:1-23. [Publicado electrónicamente antes de su impresión]

OBJETIVO: Debido al uso creciente de la tecnología inalámbrica en los países en desarrollo, en particular los teléfonos móviles, la influencia de los campos electromagnéticos (CEM) en los sistemas biológicos se ha convertido en tema de intenso debate. Por lo tanto, en este estudio investigamos el efecto de los CEM de 2,1 GHz en la contractilidad y la respuesta beta-adrenérgica (β-AR) de los miocitos ventriculares. MATERIALES Y MÉTODOS: Las ratas fueron asignadas aleatoriamente a los siguientes grupos:

ratas simuladas (SHAM) y ratas expuestas a EMF de 2,1 GHz durante 2 horas al día durante 10 semanas (EM-10).

El acortamiento del sarcómero y los transitorios de  $Ca^{2+}$  se registraron en miocitos aislados cargados con Fura2-AM y estimulados eléctricamente a 1 Hz, mientras que las corrientes de  $Ca^{2+}$  de tipo L (ICaL) se midieron utilizando el método de fijación de parche de célula completa a  $36 \pm 1$  °C. Los niveles de óxido nítrico (NO) cardíaco se midieron en muestras de tejido utilizando un kit de ensayo colorimétrico. RESULTADOS: El acortamiento fraccional y la amplitud de los transitorios de  $Ca^{2+}$  emparejados no se modificaron en ratas EM-10. Aunque la respuesta de ICaL inducida por isoproterenol ( $10^{-6}$  M) se redujo en ratas expuestas a EMF, la ICaL basal

La densidad de miocitos fue similar entre los dos grupos ( $p < 0,01$ ). Además, la exposición a campos electromagnéticos provocó un aumento significativo de los niveles de óxido nítrico en el corazón de la rata ( $p < 0,02$ ). CONCLUSIONES: La exposición prolongada a campos electromagnéticos de 2,1 GHz disminuye la capacidad de respuesta de los miocitos ventriculares al  $\beta$ -AR a través de la señalización del NO.

(E) Oral B, Guney M, Ozguner F, Karahan N, Mungan T, Comlekci S, Cesur G.

Apoptosis endometrial inducida por un teléfono móvil de 900 MHz: efectos preventivos de las vitaminas E y C. *Adv Ther.* 23(6):957-973, 2006.

Numerosos informes han descrito los efectos inducidos por un campo electromagnético (CEM) en varios sistemas celulares. Los propósitos de este estudio fueron examinar el estrés oxidativo que promueve la producción de especies reactivas de oxígeno inducidas por un teléfono móvil de 900 megahercios (MHz) y los posibles efectos mejoradores de las vitaminas E y C en el tejido endometrial contra el deterioro endometrial y la apoptosis inducidos por CEM en ratas. Los animales se agruparon aleatoriamente de la siguiente manera: (1) grupo de control sometido a cirugía simulada ( $n = 8$ ), (2) grupo expuesto a CEM de 900 MHz ( $n = 8$ ; 30 min/d durante 30 d), y (3) grupo expuesto a CEM de 900 MHz, tratado con vitaminas E y C ( $n = 8$ ; 50 mg/kg por vía intramuscular y 20 mg/kg de peso corporal por vía intraperitoneal antes de la exposición diaria a CEM). Se utilizó malondialdehído (un índice de peroxidación lipídica) como marcador del deterioro endometrial inducido por estrés oxidativo; Se evaluaron inmunohistoquímicamente Bcl-2, Bax, caspasa-3 y caspasa-8. En este estudio, el aumento de los niveles de malondialdehído en el tejido endometrial y la apoptosis ilustraron el papel del mecanismo oxidativo inducido por la exposición a un dispositivo similar a un teléfono móvil de 900 MHz y a las vitaminas E y C; a través de la eliminación de radicales libres y las propiedades antioxidantes, la lesión tisular oxidativa y la apoptosis se mejoraron en el endometrio de ratas. En conclusión, la exposición a la radiación de 900 MHz emitida por los teléfonos móviles puede causar apoptosis endometrial y estrés oxidativo, pero el tratamiento con vitaminas E y C puede disminuir estos cambios y puede tener un efecto beneficioso en la prevención de cambios endometriales en ratas.

---

(cáncer) (E) Osera C, Amadio M, Falone S, Fassina L, Magenes G, Amicarelli F, Ricevuti G, Govoni S, Pascale A. La preexposición de la línea celular de neuroblastoma a un campo electromagnético pulsado previene la producción de ROS inducida por  $H_2O_2$  al aumentar la actividad de mnSOD. *Bioelectromagnetics.* 23 de febrero de 2015. doi: 10.1002/bem.21900. [Publicado electrónicamente antes de su publicación impresa]

Los campos electromagnéticos (CEM) se han relacionado con un mayor riesgo de cáncer y enfermedades neurodegenerativas; sin embargo, los CEM también pueden provocar efectos positivos en los sistemas biológicos, y el estado redox parece estar crucialmente involucrado en los efectos biológicos de los CEM. Este estudio tuvo como objetivo evaluar si un CEM pulsado (CEMP) corto y repetido podría desencadenar respuestas adaptativas contra un ataque oxidativo en un modelo celular neuronal. Descubrimos que un CEM de 40 min

En general, la preexposición a PEMF (cuatro veces por semana, 10 minutos cada vez) no afectó a los principales parámetros fisiológicos y condujo a un aumento significativo de la actividad de la superóxido dismutasa dependiente de Mn en la línea celular SH-SY5Y del neuroblastoma humano. Además, encontramos que las células preexpuestas a PEMF exhibieron una producción reducida de especies reactivas de oxígeno después de un desafío de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 30 minutos, con respecto a las células no preexpuestas. Nuestros hallazgos podrían proporcionar nuevos conocimientos sobre el papel que desempeñan las estimulaciones PEMF cortas y repetidas en la mejora de las defensas celulares contra los ataques oxidativos. Aunque los estudios en células neuronales normales serían útiles para confirmar aún más nuestra hipótesis, sugerimos que los tratamientos específicos con PEMF pueden tener posibles repercusiones biológicas en enfermedades en las que está implicado el estrés oxidativo.

(E) Othman H, Ammari M, Sakly M, Abdelmelek H. Efectos de la exposición prenatal a la señal WIFI (2,45 GHz) en el desarrollo y el comportamiento posnatal en ratas: influencia de la restricción materna. Behav Brain Res. 326:291-302, 2017.

El presente estudio se llevó a cabo para investigar la posible influencia combinada del estrés de la restricción materna y la exposición a la señal WiFi de 2,45 GHz en el desarrollo y el comportamiento posnatal de las crías de ratas expuestas. Se asignaron aleatoriamente 24 ratas Wistar albinas preñadas a cuatro grupos: control, expuestas a WiFi, restringidas y grupos expuestos a WiFi y restringidas.

La exposición y la restricción WiFi se produjeron durante 2 horas al día durante la gestación hasta el parto. Se evaluó el desarrollo físico y la maduración neuromotora de las crías. Además, también se determinaron las pruebas del laberinto en cruz elevada, la actividad en campo abierto y la prueba de la viga estacionaria en los días posnatales 28, 30 y 31, respectivamente. Después de las pruebas de comportamiento, las ratas fueron anestesiadas y se les extrajo el cerebro para realizar un análisis bioquímico. Nuestros principales hallazgos no mostraron efectos perjudiciales sobre el progreso de la gestación y los resultados en el parto en todos los grupos. Posteriormente, la WiFi y la restricción, per se y principalmente en conjunto, alteraron el desarrollo físico de las crías con ligeras diferencias entre los sexos. En términos conductuales, la irradiación WiFi gestacional, la restricción y especialmente el tratamiento asociado afectaron la maduración neuromotora principalmente en la progenie masculina. En la edad adulta, notamos ansiedad, déficit motor y deterioro del comportamiento exploratorio en la progenie masculina coexpuesta a la radiación WiFi y la restricción, y en la progenie femenina sometida a tres tratamientos. La investigación bioquímica mostró que los tres tratamientos produjeron estrés oxidativo global en el cerebro de ambos sexos. En cuanto a la bioquímica sérica, se alteraron los niveles de fósforo, magnesio, glucosa, triglicéridos y calcio. En conjunto, la radiación WiFi prenatal y la restricción, solas y combinadas, provocaron varios deterioros conductuales y bioquímicos tanto en la edad juvenil como adulta de la descendencia.

(E) Othman H, Ammari M, Rtibi K, Bensaid N, Sakly M, Abdelmelek H. Efectos sobre el desarrollo y el comportamiento posnatal de la exposición intrauterina de ratas a ondas de radiofrecuencia emitidas por dispositivos WiFi convencionales. Environ Toxicol Pharmacol. 52:239-247, 2017.

El presente trabajo investigó los efectos de la exposición prenatal a la radiofrecuencia. ondas de dispositivos WiFi convencionales sobre el desarrollo y comportamiento postnatal de crías de ratas. Diez ratas albinas Wistar preñadas fueron asignadas aleatoriamente a dos grupos (n=5). El grupo experimental fue expuesto a una señal WiFi de 2,45 GHz durante 2 horas al día durante todo el período de gestación. Las hembras de control fueron sometidas a las mismas condiciones que el grupo tratado sin aplicar radiaciones WiFi. Después del parto, las crías fueron

Se evaluó el desarrollo físico y neurológico de los niños durante sus 17 días postnatales (PND), luego la ansiedad (PND 28) y la motricidad (PND 40-43), así como la respuesta al estrés oxidativo cerebral y la actividad de la colinesterasa en el cerebro y el suero (PND 28 y 43). Nuestros principales resultados mostraron que la exposición a WiFi en el útero afectó el desarrollo neurológico de la descendencia durante los primeros diecisiete días postnatales sin alterar el comportamiento emocional y motor en la edad adulta. Además, la exposición prenatal a WiFi indujo un desequilibrio del estrés oxidativo cerebral (aumento del nivel de malondialdehído (MDA) y de peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y disminución de las actividades de catalasa (CAT) y superóxido dismutasa (SOD)) a los 28 pero no a los 43 días de edad, también la exposición afectó la actividad de la acetilcolinesterasa tanto a nivel cerebral como sérico. Por lo tanto, el estudio actual reveló que la exposición materna a radiofrecuencias WiFi provocó varios efectos neurológicos adversos en la descendencia al afectar el desarrollo neurológico, el estrés cerebral y la actividad de la colinesterasa en los niños.

equilibrio y actividad de la colinesterasa.

(E) Othman H, Ammari M, Sakly M, Abdelmelek H. Efectos del estrés por restricción repetida y la exposición a la señal WiFi sobre el comportamiento y el estrés oxidativo en ratas. *Metab Brain Dis.* 32(5):1459-1469, 2017.

Hoy en día, debido al desarrollo de la tecnología y a los eventos aversivos de la vida diaria, la exposición humana tanto a la radiofrecuencia como al estrés es inevitable. Este estudio investigó la coexposición al estrés por restricción repetida y a la señal WiFi sobre la función cognitiva y el estrés oxidativo en el cerebro de ratas macho. Los animales se dividieron en cuatro grupos: grupo de control, grupo expuesto a WiFi, grupo restringido y grupo expuesto a WiFi y grupo restringido. Cada uno de los niveles de exposición a WiFi y estrés por restricción se produjo 2 h (h)/día durante 20 días. Posteriormente, se realizaron diversas pruebas para cada grupo, como ansiedad en laberinto elevado en cruz, habilidades de aprendizaje espacial en laberinto de agua, respuesta de estrés oxidativo cerebral y actividad de colinesterasa en cerebro y suero. Los resultados mostraron que la exposición a WiFi y el estrés por restricción, solos y especialmente si se combinan, indujeron un comportamiento similar a la ansiedad sin perjudicar el aprendizaje espacial y las habilidades de memoria en ratas. A nivel cerebral, encontramos una respuesta de estrés oxidativo desencadenada por WiFi y restricción, per se y especialmente cuando se combinan, así como un aumento inducido por WiFi en la actividad de acetilcolinesterasa. Nuestros resultados revelan que existe un impacto de la señal WiFi y el estrés por restricción en el cerebro y los procesos cognitivos, especialmente en la tarea de laberinto elevado en cruz. Por el contrario, no hay efectos sinérgicos entre la señal WiFi y el estrés por restricción en el cerebro.

(E) Oyewopo AO, Olaniyi SK, Oyewopo CI, Jimoh AT. La radiación electromagnética de radiofrecuencia de los teléfonos celulares provoca una función testicular defectuosa en ratas Wistar macho.

*Andrología.* Diciembre de 2017;49(10). doi: 10.1111/y.12772. Publicación electrónica del 6 de marzo de 2017

Los teléfonos celulares se han convertido en una parte integral de la vida cotidiana. A medida que el uso de teléfonos celulares se ha vuelto más generalizado, han aumentado las preocupaciones sobre los efectos nocivos de la radiación electromagnética de radiofrecuencia de estos dispositivos. El estudio actual se realizó para investigar los efectos de la radiación emitida por los teléfonos celulares en la histomorfometría testicular y los análisis bioquímicos. Se asignaron al azar ratas Wistar macho adultas que pesaban entre 180 y 200 g al grupo de control, grupo A (exposición en modo apagado), grupo B (exposición de 1 hora), grupo C (exposición de 2 horas) y grupo D (exposición de 3 horas). Los animales fueron

Expuestos a la radiación electromagnética de radiofrecuencia de un teléfono celular durante un período de 28 días. Se realizaron investigaciones histomorfométricas, bioquímicas e histológicas. Los parámetros histomorfométricos no mostraron cambios significativos ( $p < .05$ ) en los niveles de diámetro del epitelio germinal en todos los grupos experimentales en comparación con el grupo de control. No hubo cambios significativos ( $p < .05$ ) en el diámetro de la sección transversal de todos los grupos experimentales en comparación con el grupo de control. Las ratas del grupo D mostraron una disminución significativa ( $p < .05$ ) en el diámetro del lumen en comparación con las ratas del grupo B. Hubo una distribución desigual de las células epiteliales germinales en los grupos B, C y D. Sin embargo, hubo degeneración de las células epiteliales en el grupo D en comparación con las ratas de control y del grupo B. Los niveles séricos de malondialdehído (MDA) y superóxido dismutasa (SOD), que son marcadores de especies reactivas de oxígeno, aumentaron significativamente (MDA) y disminuyeron (SOD), respectivamente, en todos los grupos experimentales en comparación con el grupo de control. También los niveles séricos de hormonas gonadotrópicas (FSH, LH y testosterona) disminuyeron significativamente ( $p < .05$ ) en los grupos C y D en comparación con el grupo de control. El estudio demuestra que la exposición crónica a la radiación electromagnética de radiofrecuencia del teléfono celular conduce a una función testicular defectuosa que se asocia con un mayor estrés oxidativo y una disminución del perfil hormonal gonadotrópico.

(E) ÖzdemirE, ÇömelekoğluU, Degirmenci E, BayrakG, YildirimM, Ergenoglut T, YilmazBC, YalinS, KoyuncuDD, OzbayE. El efecto de la radiación de los teléfonos móviles 4,5 G (red LTE Advanced-Pro) sobre el nervio óptico. *Cutan Ocul Toxicol*, septiembre de 2021;40(3):198-206.

Objetivo: El rápido desarrollo de las tecnologías de telefonía móvil aumenta la duración media de uso del teléfono móvil. Este aumento también desencadena la exposición a la radiación de radiofrecuencia (RF), que es un factor de riesgo para la salud. En este estudio, se pretendía investigar el efecto del teléfono móvil que funciona con la red móvil LTE-Advanced Pro (4,5 G) sobre el nervio óptico, que es responsable de la transmisión de información visual. Material y métodos: Treinta y dos ratas divididas en dos grupos como control (sin RF, exposición simulada) y experimental (exposición a RF utilizando un teléfono móvil con red LTE-Advanced Pro; 2 horas/día, 6 semanas). Se registró el potencial evocado visual (VEP) y se determinaron las amplitudes y latencias de las ondas VEP. Se determinó el nivel de malondialdehído del nervio óptico, las actividades de catalasa y superóxido dismutasa. Además, se evaluaron los cambios ultraestructurales y morfométricos del nervio óptico Resultados: En los registros de VEP, las amplitudes medias de VEP del grupo experimental fueron significativamente inferiores a las del grupo de control. En la evaluación ultraestructural, se observaron fibras nerviosas mielinizadas y células gliales en apariencia histológica normal tanto en el grupo simulado como en el experimental. Sin embargo, al realizar un análisis morfométrico, en el grupo experimental, se demostró que el diámetro axonal y el espesor de la mielina eran menores y la relación G era mayor que en el grupo simulado. En el grupo experimental, el nivel de malondialdehído fue significativamente mayor y las actividades de superóxido dismutasa y catalasa fueron significativamente menores que en el grupo simulado. Hubo una alta correlación entre las amplitudes de onda VEP y los marcadores de estrés oxidativo. Conclusión: Los hallazgos obtenidos en este estudio respaldan el daño del nervio óptico. Estos resultados señalan un riesgo importante que puede disminuir la calidad de vida.

(E) Ozguner F, Aydin G, Mollaoglu H, Gokalp O, Koyu A, Cesur G. Prevención de cambios en el tejido cutáneo inducidos por el uso de teléfonos móviles mediante melatonina en ratas: un estudio experimental. *Toxicol Ind Salud*. 20(6-10):133-139, 2004.

La mayoría de los teléfonos móviles en Turquía emiten una radiación de 900 MHz que es absorbida principalmente por la piel y, en menor medida, por los músculos. El objetivo de este estudio fue investigar los efectos de la radiación electromagnética de 900 MHz emitida por estos dispositivos en la inducción de cambios histopatológicos en la piel y el efecto de la melatonina (Mel) en cualquiera de estos cambios. Se utilizaron treinta ratas macho Wistar-Albino en el estudio. Los grupos experimentales estaban compuestos por: un grupo de control no tratado, un grupo irradiado (IR) sin Mel y un grupo de tratamiento irradiado con Mel (IR + Mel). Se aplicó radiación de 900 MHz al grupo IR durante 10 días (30 min/día). El grupo IR + Mel recibió 10 mg/kg por día de melatonina en agua del grifo durante 10 días antes de la irradiación. Al final del décimo día, se extirpó el injerto de piel del área toracoabdominal. Se analizaron los cambios histopatológicos en la piel. En el grupo IR, se observó un aumento del grosor del estrato córneo, atrofia de la epidermis, papilomatosis, proliferación de células basales, aumento de la capa de células granulares (hipergranulosis) en la epidermis y proliferación capilar, deterioro en la distribución del tejido de colágeno y separación de los haces de colágeno en la dermis, todos ellos en comparación con el grupo de control. La mayoría de estos cambios, excepto la hipergranulosis, se evitaron con el tratamiento con melatonina. En conclusión, la exposición a la radiación de 900 MHz emitida por los teléfonos móviles provocó cambios leves en la piel. Además, el tratamiento con melatonina puede reducir estos cambios y puede tener un efecto beneficioso para prevenir los cambios en la piel de las ratas inducidos por los teléfonos móviles de 900 MHz.

(E) Ozguner F, Oktem F, Ayata A, Koyu A, Yilmaz HR. Un nuevo agente antioxidante, el éster de ácido cafeico fenético, previene el deterioro renal inducido por la exposición prolongada a teléfonos móviles en ratas. Valor pronóstico de la determinación de malondialdehído, N-acetil-beta-D-glucosaminidasa y óxido nítrico. *Mol Cell Biochem*. 277(1-2):73-80, 2005.

El éster de ácido cafeico fenético (CAPE), un compuesto similar a un flavonoide, es uno de los principales componentes del propóleo de abeja. Se ha utilizado en la medicina popular durante muchos años en los países de Oriente Medio. Recientemente se ha descubierto que es un potente eliminador de radicales libres y antioxidante. El objetivo de este estudio fue examinar el estrés oxidativo inducido por la emisión de 900 MHz de teléfonos móviles a largo plazo que promueve la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) e investigar el papel del CAPE en el tejido renal contra el posible deterioro renal inducido por la radiación electromagnética (REM) en ratas. En particular, las REM como el superóxido y el óxido nítrico (NO) pueden contribuir a la fisiopatología del deterioro renal inducido por la REM. Niveles de malondialdehído (MDA, un índice de peroxidación lipídica), N-acetil-beta-D urinario: - Los niveles de glucosaminidasa (NAG, un marcador de lesión tubular renal) y óxido nítrico (NO, un producto oxidante) se utilizaron como marcadores de deterioro renal inducido por estrés oxidativo y el éxito del tratamiento CAPE. Se determinaron las actividades de superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y glutatión peroxidasa (GSH-Px) en el tejido renal para evaluar los cambios del estado antioxidante. Las ratas utilizadas en el estudio se agruparon aleatoriamente (10 cada una) de la siguiente manera: i) Grupo de control (sin estrés y EMR), ii) ratas operadas simuladamente que permanecieron sin exposición a EMR (dispositivo de exposición apagado), iii) ratas expuestas a EMR de 900 MHz (grupo EMR) y iv) Un grupo expuesto a EMR de 900 MHz + tratado con CAPE (grupo EMR + CAPE). En el grupo expuesto a EMR

grupo, mientras que los niveles de MDA tisular, NO y NAG urinario aumentaron ( $p < 0,0001$ ), las actividades de SOD, CAT y GSH-Px en el tejido renal se redujeron ( $p < 0,001$ ). El tratamiento con CAPE también revirtió estos efectos ( $p < 0,0001$ ,  $p < 0,001$  respectivamente). En conclusión, el aumento de los niveles de NO y MDA del tejido renal, y de NAG urinario con la disminución de las actividades renales de SOD, CAT y GSH-Px demuestran el papel de los mecanismos oxidativos en el daño tisular renal inducido por el teléfono móvil de 900 MHz, y el CAPE, a través de sus propiedades antioxidantes y de eliminación de radicales libres, mejora el daño renal oxidativo. Estos resultados sugieren firmemente que el CAPE exhibe un efecto protector sobre el deterioro renal oxidativo inducido por el teléfono móvil y mediado por radicales libres en ratas.

(E) Ozguner F, Oktem F, Armagan A, Yilmaz R, Koyu A, Demirel R, Vural H, Uz E.

Análisis comparativo de los efectos protectores de la melatonina y el éster de ácido cafeico fenilico (CAPE) sobre el deterioro renal inducido por el uso de teléfonos móviles en ratas. *Mol Cell Biochem.* 276(1-2):31-37, 2005.

Recientemente se ha descubierto que la melatonina y el éster de ácido cafeico fenilico (CAPE), un componente del propóleo de abeja, son potentes antioxidantes y eliminadores de radicales libres. Existen numerosos informes sobre los efectos inducidos por la radiación electromagnética (REM) en varios sistemas celulares.

Los mecanismos de los efectos adversos de la radiación electromagnética indican que las especies reactivas de oxígeno pueden desempeñar un papel en los efectos biológicos de esta radiación. El presente estudio se llevó a cabo para comparar los efectos de la radiación electromagnética.

Efectos protectores de la melatonina y la CAPE contra la lesión tubular renal inducida por el teléfono móvil emitido por radiofrecuencia de 900 MHz. Se administró melatonina mientras que la CAPE se administró durante 10 días antes de la exposición. La N-acetil-beta-D-glucosaminidasa urinaria (NAG, un marcador de lesión tubular renal) y el malondialdehído (MDA, un índice de peroxidación lipídica), se utilizaron como marcadores de deterioro renal inducido por estrés oxidativo en ratas expuestas a radiofrecuencia. Se estudiaron las actividades de superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y glutatión peroxidasa (GSH-Px) para evaluar los cambios del estado antioxidante en el tejido renal. La NAG urinaria y la MDA renal aumentaron en ratas expuestas a radiofrecuencia, mientras que tanto la melatonina como la CAPE provocaron una reducción significativa en los niveles de estos parámetros. Asimismo, las actividades renales de SOD y GSH-Px disminuyeron en animales expuestos a radiofrecuencia, mientras que la melatonina provocó un aumento significativo en las actividades de estas enzimas antioxidantes, pero la CAPE no. La melatonina provocó una disminución significativa de la actividad urinaria de NAG y de los niveles de MDA, que aumentaron debido a la exposición a EMR. La CAPE también redujo los niveles elevados de MDA en el tejido renal expuesto a EMR, pero el efecto de la melatonina fue más potente que el de la CAPE. Además, el tratamiento de ratas expuestas a EMR con melatonina aumentó las actividades de SOD y GSH-Px a niveles más altos que los de las ratas de control. En conclusión, la melatonina y la CAPE previenen la lesión tubular renal al reducir el estrés oxidativo y protegen al riñón del daño oxidativo inducido por el teléfono móvil de 900 MHz. Sin embargo, la melatonina parece ser un antioxidante más potente en comparación con la CAPE en el riñón.

(E) Ozguner F, Altinbas A, Ozaydin M, Dogan A, Vural H, Kisioglu AN, Cesur G, Yildirim NG. Estrés oxidativo miocárdico inducido por el uso de teléfonos móviles: protección mediante un nuevo agente antioxidante, el éster de ácido cafeico fenilico. *Toxicol Ind Health.* 21(9):223-230, 2005.

La radiación electromagnética (REM) o los campos de radiofrecuencia de los teléfonos móviles celulares pueden afectar los sistemas biológicos al aumentar los radicales libres, que parecen mejorar principalmente la síntesis de lípidos.

peroxidación y al cambiar los sistemas de defensa antioxidante de los tejidos humanos, lo que conduce al estrés oxidativo. Los teléfonos móviles se utilizan muy cerca del corazón, por lo tanto, los teléfonos móviles que emiten EMR de 900 MHz pueden ser absorbidos por el corazón. Recientemente se descubrió que el éster de ácido cafeico fenetílico (CAPE), uno de los principales componentes del propóleo de abeja, es un potente eliminador de radicales libres y antioxidante, y se utiliza en la medicina popular. El objetivo de este estudio fue examinar el estrés oxidativo inducido por el teléfono móvil de 900 MHz que promueve la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y el papel de CAPE en el tejido miocárdico contra el posible daño oxidativo en ratas. Se utilizaron treinta ratas en el estudio. Los animales se agruparon aleatoriamente de la siguiente manera: grupo de control con cirugía simulada (N: 10) y grupos experimentales: (a) grupo II: grupo expuesto a EMR de 900 MHz (N: 10); y (b) grupo III: grupo expuesto a EMR de 900 MHz + grupo tratado con CAPE (N: 10). Se aplicó una radiación EMR de 900 MHz a los grupos II y III 30 min/día, durante 10 días, utilizando un dispositivo de exposición experimental. Se utilizaron malondialdehído (MDA, un índice de peroxidación lipídica) y óxido nítrico (NO, un marcador de estrés oxidativo) como marcadores de deterioro cardíaco inducido por estrés oxidativo. Se estudiaron las actividades de superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y glutatión peroxidasa (GSH-Px) para evaluar los cambios del estado antioxidante. En el grupo expuesto a EMR, mientras que los niveles de MDA y NO en el tejido aumentaron, las actividades de SOD, CAT y GSH-Px se redujeron. El tratamiento con CAPE en el grupo III revirtió estos efectos. En este estudio, los niveles aumentados de MDA y NO y los niveles disminuidos de actividades de SOD, CAT y GSH-Px en el miocardio demuestran el papel de los mecanismos oxidativos en el daño tisular cardíaco inducido por teléfonos móviles de 900 MHz, y la CAPE, a través de sus propiedades antioxidantes y de eliminación de radicales libres, mejora la lesión cardíaca oxidativa. Estos resultados muestran que CAPE exhibe un efecto protector sobre el deterioro cardíaco oxidativo inducido por teléfonos móviles y mediado por radicales libres en ratas.

---

(E) Ozguner F, Bardak Y, Comlekci S. Efectos protectores de la melatonina y el éster de ácido cafeico fenetílico contra el estrés oxidativo retiniano en el uso a largo plazo del teléfono móvil: un estudio comparativo. *Mol Cell Biochem.* 282(1-2):83-88, 2006.

Existen numerosos informes sobre los efectos de la radiación electromagnética (REM) en varios sistemas celulares. Recientemente se descubrió que la melatonina y el éster de ácido cafeico fenetílico (CAPE), un componente del propóleo de abeja, son potentes antioxidantes y eliminadores de radicales libres.

Los mecanismos de los efectos adversos de la radiación electromagnética indican que las especies reactivas de oxígeno pueden desempeñar un papel en los efectos biológicos de esta radiación. El presente estudio se llevó a cabo para comparar la eficacia de los efectos protectores de la melatonina y la CAPE contra el estrés oxidativo retiniano debido a la exposición prolongada a teléfonos móviles que emiten radiación electromagnética de 900 MHz. Se administró melatonina y CAPE diariamente durante 60 días a las ratas antes de su exposición a la radiación electromagnética durante nuestro estudio. Los niveles de óxido nítrico (NO, un producto oxidante) y malondialdehído (MDA, un índice de peroxidación lipídica) se utilizaron como marcadores del estrés oxidativo retiniano en ratas después del uso de la radiación electromagnética. Se estudiaron las actividades de la superóxido dismutasa (SOD), la catalasa (CAT) y la glutatión peroxidasa (GSH-Px) para evaluar los cambios del estado antioxidante en el tejido retiniano. Los niveles retinianos de NO y MDA aumentaron en ratas expuestas a la radiación electromagnética, mientras que tanto la melatonina como la CAPE provocaron una reducción significativa de los niveles de NO y MDA. Asimismo, las actividades de SOD, GSH-Px y CAT en la retina disminuyeron en los animales expuestos a EMR, mientras que la melatonina y la CAPE provocaron un aumento significativo en las actividades de estas enzimas antioxidantes. El tratamiento de ratas expuestas a EMR con melatonina o CAPE aumentó las actividades de SOD, GSH-Px y CAT a niveles más altos que los de las ratas de control. En conclusión, la melatonina y la CAPE red

estrés después de la exposición prolongada a teléfonos móviles que emitían 900 MHz. Sin embargo, no hubo una diferencia estadísticamente significativa entre la eficacia de estos dos antioxidantes contra el estrés oxidativo inducido por EMR en la retina de ratas. La diferencia se encontraba únicamente en la actividad de GSH-Px en la retina de ratas. La melatonina estimuló la actividad de GSH-Px en la retina de manera más eficiente que la CAPE.

(E) Ozgur E, Güler G, Seyhan N. El daño causado por los radicales libres en el hígado inducido por la radiación de los teléfonos móviles se ve inhibido por los antioxidantes n-acetilcisteína y galato de epigallocatequina. *Int J Radiat Biol.* 86(1):935-945, 2010.

Objetivo: Investigar el daño oxidativo y el estado de las enzimas antioxidantes en el hígado de cobayos expuestos a radiación de radiofrecuencia (RFR) similar a la de los teléfonos móviles y los posibles efectos protectores de la N-acetilcisteína (NAC) y el galato de epigallocatequina (EGCG) sobre el daño oxidativo. Materiales y métodos: Se utilizaron nueve grupos de cobayos para estudiar los efectos de la exposición a una señal modulada por el Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) de 1800 MHz (tasa de absorción específica (SAR) corporal total promedio de 0,38 W/kg, 10 o 20 min por día durante siete días) y el tratamiento con antioxidantes. Resultados: Se observaron aumentos significativos en los niveles de malondialdehído (MDA) y óxido nítrico total (NO(x)) y disminuciones en las actividades de la superóxido dismutasa (SOD), la mieloperoxidasa (MPO) y la glutatión peroxidasa (GSH-Px) en el hígado de cobayos después de la exposición a RFR. Solo el tratamiento con NAC induce un aumento de las actividades hepáticas de GSH-Px, mientras que el tratamiento con EGCG solo atenuó el nivel de MDA. Se encontró que la magnitud del daño oxidativo era proporcional a la duración de la exposición ( $P < 0,05$ ).

Conclusión: La radiación similar a la de los teléfonos móviles induce daño oxidativo y modifica las actividades de las enzimas antioxidantes en el hígado. El efecto adverso de la RFR puede estar relacionado con la duración del uso del teléfono móvil. La NAC y la EGCG protegen el tejido hepático contra el daño oxidativo inducido por la RFR y mejoran las actividades de las enzimas antioxidantes.

(E) \*Ozgur E, Kismali G, Guler G, Akcay A, Ozkurt G, Sel T, Seyhan N.

Efectos de la exposición prenatal y posnatal a radiofrecuencias de tipo GSM sobre la química sanguínea y el estrés oxidativo en crías de conejo, un estudio experimental. *Cell Biochem Biophys.* 67(2):743-751, 2013.

Nuestro objetivo fue investigar los posibles efectos nocivos de la exposición prenatal y/o postnatal a la radiación de radiofrecuencia (RFR) similar a GSM de 1800 MHz sobre la química sanguínea y los niveles de peroxidación lipídica de conejos bebés. Se utilizó un total de 72 conejos blancos hembras y machos de Nueva Zelanda de 1 mes de edad. Treinta y seis hembras y 36 machos se dividieron en cuatro grupos que estaban compuestos por nueve bebés: (i) el grupo 1 fue la exposición simulada (control), (ii) el grupo 2 estuvo expuesto a RFR, 15 minutos diarios durante 7 días en el período prenatal (entre los días 15 y 22 del período gestacional) (grupo de exposición prenatal). (iii) el grupo 3 estuvo expuesto a RFR 15 minutos/día (14 días para los machos, mientras que 7 días para las hembras) después de que alcanzaron 1 mes de edad (grupo de exposición postnatal). (iv) El grupo 4 estuvo expuesto a RFR durante 15 minutos diarios durante 7 días en el período prenatal (entre el día 15 y el 22 del período gestacional) y 15 minutos/día (14 días para los machos, mientras que 7 días para las hembras) después de que alcanzaron 1 mes de edad (grupo de exposición prenatal y postnatal). Los resultados mostraron que el nivel de peroxidación lipídica sérica en conejos hembras y machos cambió debido a la exposición a RFR. Sin embargo, diferentes parámetros de la

La exposición a la RFR de 1800 MHz de GSM afectó la bioquímica sanguínea de los bebés de ambos sexos. En consecuencia, la exposición de todo el cuerpo a la RFR de 1800 MHz puede provocar estrés oxidativo y cambios en algunos parámetros de la química sanguínea. Los estudios sobre la exposición a la RFR durante los períodos prenatal y posnatal ayudarán a establecer estándares internacionales para la protección de las embarazadas y los recién nacidos frente a la RFR ambiental.

(E) Ozgur E, Sahin D, Tomruk A, Guler G, Sepici-Dinçel A, Altan N, Seyhan N. Los efectos de la N-acetil-L-cisteína y la epigallocatequina-3-galato en la oxidación de proteínas del tejido hepático y los niveles de enzimas antioxidantes después de la exposición a la radiación de radiofrecuencia. *Int J Radiat Biol.* 24 de septiembre de 2014:1-19. [Publicación electrónica antes de la impresión]

OBJETIVO: El uso generalizado y sostenido de teléfonos móviles e inalámbricos provoca un aumento sin precedentes de la radiación de radiofrecuencia (RFR). El objetivo de este estudio experimental fue investigar el efecto de la RFR modulada del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) de 900 MHz (tasa de absorción específica (SAR) corporal total promedio de 0,4 W/kg, 10 o 20 min al día durante 7 días consecutivos) en el tejido hepático de cobayas y los efectos protectores de los tratamientos antioxidantes. MATERIALES y MÉTODOS: Los cobayos machos adultos se dividieron aleatoriamente en nueve grupos como; Grupo I (Sham/salina), Grupo II (Sham/EGCG), Grupo III (Sham/NAC), Grupo IV (10 min de exposición a RF/salina), Grupo V (20 min de exposición a RF/salina), Grupo VI (10 min de exposición a RF/EGCG), Grupo VII (20 min de exposición a RF/EGCG), Grupo VIII (10 min de exposición a RF/NAC), Grupo IX (20 min de exposición a RF/NAC). Se evaluaron la oxidación de proteínas (PCO), los productos proteicos de oxidación avanzada (AOPP) y las actividades enzimáticas antioxidantes de la superóxido dismutasa (SOD) después de la exposición y los tratamientos con N-acetilcisteína (NAC) y (-)-epigallocatequina-3-galato (EGCG). RESULTADOS y CONCLUSIONES: Se observaron disminuciones significativas en las actividades de SOD en el hígado de cobayos después de la exposición a RFR. El daño proteico no cambió debido a la exposición a RFR. Por otra parte, el tratamiento con NAC por sí solo induce un aumento de los niveles de PCO, mientras que el tratamiento con EGCG por sí solo elevó el nivel de AOPP. Debido a que los antioxidantes tienen un comportamiento prooxidante, es necesario determinar bien las dosis y los horarios de tratamiento de NAC y EGCG.

(E) \*Ozorak A, Nazıroğlu M, Celik O, Yüksel M, Özçelik D, Ozkaya MO, Cetin H, Kahya MC, Kose SA. Wi-Fi (2,45 GHz)- y Teléfono Móvil (900 y 1800 MHz)- Riesgos inducidos por estrés oxidativo y elementos en riñones y testículos de ratas durante el embarazo y el desarrollo de la descendencia. *Biol Trace Elem Res.* 156(1-3):221-229, 2013.

El presente estudio fue diseñado para determinar los efectos de la radiación electromagnética (REM) inducida tanto por Wi-Fi (2,45 GHz) como por teléfonos móviles (900 y 1800 MHz) sobre el estrés oxidativo y los niveles de oligoelementos en el riñón y los testículos de ratas en crecimiento desde el embarazo hasta las 6 semanas de edad. Treinta y dos ratas y sus 96 crías recién nacidas se dividieron equitativamente en cuatro grupos diferentes, a saber, grupos de control, 2,45 GHz, 900 MHz y 1800 MHz. Los grupos de 2,45 GHz, 900 MHz y 1800 MHz estuvieron expuestos a REM durante 60 min/día durante el embarazo y el crecimiento. Durante la cuarta, quinta y sexta semanas del experimento, se tomaron muestras de riñón y testículo de ratas decapitadas. Los resultados de la cuarta semana mostraron que el nivel de peroxidación lipídica en el riñón y el testículo y el cobre, el zinc, el glutatión reducido (GSH),

Los valores de glutatión peroxidasa (GSH-Px) y estado antioxidante total (TAS) en el riñón disminuyeron en los grupos EMR, mientras que las concentraciones de hierro en el riñón, así como las concentraciones de vitamina A y vitamina E en el testículo, aumentaron en los grupos EMR. Los resultados de las muestras de la quinta semana mostraron que las concentraciones de hierro, vitamina A y  $\beta$ -caroteno en el riñón aumentaron en los grupos EMR, mientras que los niveles de GSH y TAS disminuyeron. Los resultados de la sexta semana mostraron que las concentraciones de hierro en el riñón y el grado de peroxidasa lipídica en el riñón y el testículo aumentaron en los grupos EMR, mientras que las concentraciones de cobre, TAS y GSH disminuyeron. No se observaron diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de cromo, magnesio y manganeso en los riñones entre los cuatro grupos. En conclusión, la REM inducida por Wi-Fi y teléfonos móviles causó daño oxidativo al aumentar el grado de peroxidación lipídica y el nivel de hierro, mientras que disminuyó el estado antioxidante total, los valores de cobre y GSH. La REM inducida por Wi-Fi y teléfonos móviles puede causar pubertad precoz y daño oxidativo en los riñones y los testículos en ratas en crecimiento.

(E) Özsoğacı NP, Ergün DD, Durmuş S, Tunçdemir M, Uzun H, Gelişgen R, Özçelik D La suplementación con selenio mejora el estrés oxidativo inducido por el campo electromagnético en las células HEK293. J Trace Elem Med Biol 2018;50:572-579.

Existe un uso generalizado de dispositivos emisores de radiación electromagnética de 2,4 GHz, especialmente en comunicación y educación. Estudios recientes muestran los efectos adversos de los campos electromagnéticos (CEM), como el estrés oxidativo, el daño celular y la apoptosis en los tejidos. El selenio (Se) tiene propiedades antioxidantes al inhibir el daño oxidativo al estar dentro de la estructura de enzimas antioxidantes como la glutatión peroxidasa (GSH-Px) y también tiene una función reguladora para el ciclo celular y la apoptosis. El objetivo de este estudio fue investigar el efecto del Se en células renales embrionarias humanas expuestas a CEM de frecuencia de 2,4 GHz (HEK293) mediante alteraciones en los parámetros de estrés oxidativo y apoptótico. Nuestro estudio se planificó como control, CEM, 100 nM Se + CEM, 200 nM Se + grupos CEM. Los grupos CEM se expusieron a CEM de 2,4 GHz durante 1 h, los grupos de elementos se incubaron con dos dosis diferentes de medio de cultivo celular añadido con Se durante 48 h antes de la exposición a CEM. Los niveles de MDA fueron significativamente más altos, mientras que las actividades de SOD y GSH-Px fueron significativamente más bajas en EMF en comparación con el control. La aplicación de 100 y 200 nM Se + EMF disminuyó los niveles de MDA y aumentó las actividades de SOD y GSH-Px que EMF.

La apoptosis y la caspasa-3 fueron estadísticamente significativamente mayores, pero la bcl-2 fue menor en EMF que en el control. La apoptosis y la caspasa-3 fueron menores en 100 y 200 nM Se + EMF, aunque la bcl-2 fue mayor que la EMF. En conclusión, Se tiene efectos protectores contra el estrés oxidativo inducido por EMF de 2,4 GHz al reducir la peroxidación lipídica, regular la actividad de SOD y GSH-Px. Además, Se tiene un efecto inhibitorio sobre la apoptosis inducida por EMF de 2,4 GHz al aumentar la expresión de la proteína antiapoptótica bcl-2 y suprimir la proteína reguladora de la apoptosis caspasa-3.

(E) Özsoğacı NP, Ergün DD, Tunçdemir M, Özçelik D. Efectos protectores del zinc sobre el estrés oxidativo inducido por la radiación electromagnética de 2,45 GHz y la apoptosis en células HEK293. Biol Trace Elem Res. 194:368-378, 2020.

Varios estudios epidemiológicos han demostrado que la exposición a la radiación electromagnética (REM) puede ser perjudicial para la salud humana. El propósito de este estudio fue examinar los parámetros oxidativos y la apoptosis inducida por REM en células embrionarias de riñón humano (HEK293) e investigar si el zinc (Zn) tiene un efecto protector sobre la apoptosis inducida por REM en células HEK293. Para nuestro experimento, las células HEK293 se dividieron en cuatro grupos principales, control, REM, 50  $\mu$ M Zn + REM y 100  $\mu$ M Zn + REM. Las células HEK293 de los grupos REM se expusieron a REM de 2,45 GHz durante 1 h. En los grupos Zn, las células HEK293 se incubaron con diferentes concentraciones de Zn durante 48 h antes de la exposición a REM. Los parámetros de estrés oxidativo se determinaron mediante un método espectrofotométrico; bcl-2 y caspasa-3 se evaluaron inmunohistoquímicamente y se realizó el método TUNEL para la actividad apoptótica.

El grupo EMR tuvo un nivel más alto de malondialdehído (MDA) y una actividad más baja de superóxido dismutasa (SOD) en comparación con el grupo de control. En los grupos a los que se les aplicó Zn, la MDA disminuyó y la actividad de SOD aumentó en comparación con el grupo EMR. El número de células apoptóticas y células inmunopositivas para caspasa-3 en el grupo EMR aumentó significativamente en comparación con el grupo de control, mientras que bcl-2 disminuyó. Además, los grupos tratados con Zn mostraron una reducción significativa en el número de células apoptóticas y caspasa-3 en comparación con el grupo EMR, mientras que hubo un aumento en la inmunopositividad para bcl-2. Nuestros hallazgos muestran que EMR causó estrés oxidativo y activación apoptótica en células HEK293. Zn parece tener efectos protectores sobre el EMR al aumentar la actividad de SOD y la inmunopositividad para bcl-2, disminuyendo la peroxidación lipídica y la inmunopositividad para caspasa-3.

(E) Pandey N, Giri S, Das S, Upadhaya P. Daño del ADN inducido por radiación de radiofrecuencia (900 MHz) y detención del ciclo celular en células germinales testiculares en ratones albinos suizos. *Toxicol Ind Health*. 33(4):373-384, 2017.

Aunque existen informes contradictorios sobre los cambios celulares y moleculares inducidos por la radiación de radiofrecuencia (RFR) emitida por teléfonos móviles, no se puede descartar la posibilidad de cualquier efecto biológico. En vista de un uso generalizado y extenso de teléfonos móviles, este estudio evalúa las alteraciones en la cinética de transformación de células germinales masculinas después de la exposición a RFR y después de la recuperación. Se expuso a ratones albinos suizos a RFR (900 MHz) durante 4 h y 8 h de duración por día durante 35 días. Un grupo de animales fue sacrificado después del período de exposición, mientras que otros se mantuvieron durante 35 días adicionales después de la exposición. La exposición a RFR causó la despolarización de las membranas mitocondriales, lo que resultó en una homeostasis redox celular desestabilizada. Se observaron aumentos estadísticamente significativos en el índice de daño en células germinales y defectos en la cabeza del espermatozoide en animales expuestos a RFR. La estimación de subtipos de células germinales en testículos de ratones mediante citometría de flujo reveló aumentos de 2,5 veces en las poblaciones de espermatogonias con disminuciones significativas en las espermátidas. Se encontró una reducción de casi cuatro veces en la renovación de espermatogonias a espermátidas (1C:2C) y una reducción de tres veces en la renovación de espermatocito primario a espermátidas (1C:4C), lo que indica una detención en la etapa premeiótica de la espermatogénesis, lo que resultó en la pérdida de células germinales posmeióticas evidente a partir de la histología del testículo y un bajo recuento de espermatozoides en los animales expuestos a RFR. También se observaron alteraciones histológicas como el desprendimiento de células germinales inmaduras en el lumen del túbulo seminífero, el agotamiento del epitelio y la detención de la maduración. Sin embargo, todos estos cambios mostraron una recuperación en diversos grados después del período posterior a la exposición, lo que indica que los efectos adversos de RFR en las células germinales de ratones son perjudiciales.

pero reversible. En conclusión, el estrés oxidativo inducido por la exposición a RFR causa daño al ADN en las células germinales, lo que altera la progresión del ciclo celular y conduce a un bajo recuento de espermatozoides en ratones.

(E) Pandey N, Giri S. La melatonina atenúa la radiación de radiofrecuencia (900 MHz)

Estrés oxidativo inducido, daño del ADN y detención del ciclo celular en células germinales de ratones albinos suizos machos. *Toxicol Ind Health*. 34(5):315-327, 2018.

El aumento de la infertilidad masculina de etiología desconocida puede estar asociada a factores ambientales. El uso extensivo de teléfonos móviles ha expuesto a la población general a niveles sin precedentes de radiaciones de radiofrecuencia (RFR) que pueden afectar negativamente a la salud reproductiva masculina. Por lo tanto, el presente estudio investigó el efecto de la RFR del tipo Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM), 900 MHz y la suplementación con melatonina en el desarrollo de células germinales durante la espermatogénesis. Los ratones albinos suizos se dividieron en cuatro grupos. Un grupo recibió exposición a RFR durante 3 h dos veces al día durante 35 días y el otro grupo recibió la misma exposición pero con melatonina (N-acetil-5-metoxitriptamina) (MEL; 5 mg/kg de peso corporal/día). Otros dos grupos recibieron solo MEL o no estuvieron expuestos. Se evaluaron la anomalía de la cabeza del espermatozoide, el recuento total de espermatozoides, el ensayo bioquímico de peróxidos lipídicos, glutatión reducido, la actividad de superóxido dismutasa y la histología del testículo. Además, se realizó una evaluación citométrica de flujo de subtipos de células germinales y un ensayo cometa en testículos.

Se observó un daño extenso del ADN en las células germinales de los animales expuestos a RFR junto con una detención en las etapas premeióticas de la espermatogénesis que finalmente condujo a un bajo recuento de espermatozoides y anomalías en la cabeza del espermatozoide. Además, los ensayos bioquímicos revelaron una generación excesiva de radicales libres que resultó en cambios histológicos y morfológicos en la morfología de los testículos y las células germinales, respectivamente. Sin embargo, estos efectos se redujeron o no estuvieron presentes en los animales expuestos a RFR que recibieron suplementos de melatonina. Por lo tanto, se puede concluir que la melatonina inhibe la detención de la espermatogénesis premeiótica en las células germinales masculinas a través de su potencial antioxidante y su capacidad para mejorar las vías de reparación del ADN, lo que conduce a un recuento de espermatozoides normal y a una morfología de los espermatozoides normal en los animales expuestos a RFR.

(E) Paredi P, Kharitonov SA, Hanazawa T, Barnes PJ, Respuesta vasodilatadora local a los teléfonos móviles.

*Laryngoscope* 111(1):159-162, 2001.

OBJETIVOS: El uso de teléfonos móviles con la consiguiente generación de campos electromagnéticos (CEM) potencialmente dañinos es el foco de interés público. La generación de calor y la activación de la forma inducible de la óxido nítrico (NO) sintasa pueden ser posibles causas de los efectos biológicos de la exposición a los CEM. Investigamos si una conversación telefónica móvil puede modificar la temperatura de la piel, el NO y la resistencia nasal. MÉTODOS: Estudiamos el efecto de un CEM (900 MHz) generado por un teléfono celular disponible comercialmente durante una conversación telefónica de 30 minutos sobre la temperatura de la piel, el NO nasal medido por quimioluminiscencia y el área transversal mínima nasal (ACM) medida por rinometría. Se estudiaron once sujetos normales (edad media +/- error estándar de la media [SEM], 32 +/- 5 años; 10 varones). RESULTADOS: Hubo un aumento similar y significativo en la temperatura de la piel de la fosa nasal y el área occipital del mismo lado que el teléfono (aumento máximo de 2,3 +/- 0,2 grados C a los 6 min), así como una tendencia a niveles más altos de NO nasal (aumento máximo de 12,9 +/- 4,9% a los 10 min), mientras que el

La MCA se redujo significativamente (disminución máxima de  $-27 \pm 6\%$  a los 15 min). Tales cambios no se registraron cuando se utilizó un auricular para evitar la exposición directa al campo electromagnético. No hubo cambios en la temperatura de la piel ni en el NO nasal medido en el lado opuesto al teléfono móvil, mientras que la MCA aumentó significativamente ( $38 \pm 10\%$ ).

CONCLUSIONES: La exposición a los campos electromagnéticos producidos por un teléfono móvil produce efectos biológicos que pueden medirse fácilmente. Las microondas pueden aumentar la temperatura de la piel y, por lo tanto, causar vasodilatación y reducir la ACM. Se necesitan más estudios para estudiar los efectos a largo plazo del uso del teléfono móvil y la relación entre la producción de NO, la vasodilatación y la temperatura.

(E) Pastacı Özsobacı N, Düzgün Ergün D, Durmuş S, Tunçdemir M, Uzun H, Ögelmiş R, Özçelik D. La suplementación con selenio mejora el estrés oxidativo inducido por el campo electromagnético en las células HEK293. *J Trace Elem Med Biol.*:572-579, 2018.

Existe un uso generalizado de dispositivos que emiten radiación electromagnética de 2,4 GHz, especialmente en las comunicaciones y la educación. Estudios recientes muestran los efectos adversos de los campos electromagnéticos (CEM), como el estrés oxidativo, el daño celular y la apoptosis en los tejidos. El selenio (Se) tiene propiedades antioxidantes al inhibir el daño oxidativo al estar dentro de la estructura de enzimas antioxidantes como la glutatión peroxidasa (GSH-Px) y también tiene una función reguladora del ciclo celular y la apoptosis.

El objetivo de este estudio fue investigar el efecto del Se en células renales embrionarias humanas expuestas a campos electromagnéticos de frecuencia de 2,4 GHz (HEK293) mediante alteraciones en parámetros de estrés oxidativo y apoptótico. Nuestro estudio se planificó como grupos de control, campos electromagnéticos, 100 nM Se + campos electromagnéticos, 200 nM Se + campos electromagnéticos. Los grupos de campos electromagnéticos se expusieron a campos electromagnéticos de 2,4 GHz durante 1 h, los grupos de elementos se incubaron con dos dosis diferentes de medio de cultivo celular con Se añadido durante 48 h antes de la exposición a los campos electromagnéticos. Los niveles de MDA fueron significativamente más altos, mientras que las actividades de SOD y GSH-Px fueron significativamente más bajas en los campos electromagnéticos en comparación con el control. La aplicación de 100 y 200 nM Se + campos electromagnéticos disminuyó los niveles de MDA, aumentó las actividades de SOD y GSH-Px que en los campos electromagnéticos. La apoptosis y la caspasa-3 fueron estadísticamente significativamente más altas, pero la bcl-2 fue más baja en los campos electromagnéticos que en el control. La apoptosis y la caspasa-3 fueron menores en 100 y 200 nM Se + EMF, aunque bcl-2 fue mayor que EMF. En conclusión, Se tiene efectos protectores contra el estrés oxidativo inducido por EMF de 2,4 GHz al reducir la peroxidación lipídica, regular la actividad de bcl-2. Además, Se tiene un efecto inhibitorio sobre la apoptosis inducida por EMF de 2,4 GHz al aumentar la expresión de la proteína antiapoptótica bcl-2 y suprimir la proteína reguladora de la apoptosis caspasa-3.

(E) Payez A, Ghanati F, Behmanesh M, Abdolmaleki P, Hajnorouzi A, Rajabbeigi E. Aumento de la germinación de semillas, el crecimiento y la integridad de la membrana de plántulas de trigo mediante la exposición a electricidad estática y a un campo electromagnético de 10 KHz. *Electromagn Biol Med.* 32(4):417-429, 2013.

Existe una gran cantidad de datos experimentales que demuestran diversos efectos del campo magnético (CM) en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Aunque aún no se han dilucidado los mecanismos de percepción del CM por parte de las plantas, existe la posibilidad de que, al igual que otros estímulos, el CM ejerza sus efectos sobre las plantas modificando la integridad de la membrana y

conductancia de sus canales de agua, influyendo así en las características de crecimiento. En este estudio, las semillas de trigo (*Triticum aestivum* L. cv. Kavir) se sumergieron en agua durante la noche y luego se trataron con o sin un campo magnético estático (SMF) de 30 mT y un campo electromagnético (EMF) de 10 kHz durante 4 días, cada 5 h. La absorción de agua de las semillas se redujo 5 h del tratamiento con EMF, pero no mostró cambios en el tratamiento con SMF.

La exposición a ambos campos magnéticos no afectó el porcentaje de germinación de las semillas, pero aumentó la velocidad de germinación, en comparación con el grupo de control. El tratamiento con EMF redujo significativamente la longitud de las plántulas y, posteriormente, el índice de vigor I, mientras que SMF no tuvo efectos sobre estos parámetros. Ambos tratamientos aumentaron significativamente el índice de vigor II, en comparación con el grupo de control. Estos tratamientos también aumentaron notablemente la actividad de la catalasa y el contenido de prolina de las plántulas, pero redujeron la actividad de la peroxidasa, la tasa de peroxidación lipídica y las fugas de electrolitos de las membranas. Los resultados sugieren efectos promocionales de los EMF sobre la integridad de la membrana y las características de crecimiento de las plántulas de trigo.

(E) Piccinetti CC, De Leo A, Cosoli G, Scalise L, Randazzo B, Cerri G, Olivotto I. Medición de los efectos in vivo de la radiación EMF de 100 MHz sobre el desarrollo embrionario del pez cebra *D. rerio*: un estudio multidisciplinario. *Ecotoxicol Environ Saf.* 154:268-279, 2018.

La mayor exposición del medio ambiente y de los seres humanos a las ondas electromagnéticas y la consiguiente falta de un conocimiento inequívoco sobre las consecuencias biológicas de estas radiaciones, han aumentado el interés público sobre la contaminación electromagnética.

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar los efectos biológicos de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) de 100 MHz en embriones de pez cebra (ZF) a través de un protocolo multidisciplinario. Debido a la similitud compartida entre los genomas humano y ZF que validó su uso en investigación biomédica, toxicología y estudios de biología del desarrollo, ZF fue seleccionado aquí como modelo experimental y se han establecido un protocolo de medición y análisis biológicos para discriminar claramente entre los efectos biológicos y térmicos de RF-EMF. Los resultados mostraron que un EMF de 100 MHz fue capaz de afectar el desarrollo embrionario de ZF, de 24 a 72 h post fertilización (hpf) en todas las vías analizadas. En particular, en la etapa de 48 hpf, se detectó un crecimiento reducido, un aumento de la transcripción de genes de estrés oxidativo, el inicio de procesos apoptóticos/autofágicos y una modificación en el metabolismo del colesterol. Los embriones ZF enfrentaron el estrés inducido por la radiación EMF activando mecanismos de desintoxicación y a las 72 hpf se recuperaron parcialmente del estrés.

Alcanzando el tiempo de eclosión de manera comparable con respecto al grupo de control. Los datos aquí obtenidos mostraron de manera inequívoca los efectos in vivo de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia en un modelo animal, excluyendo los efectos térmicos y, por lo tanto, representan el punto de partida para estudios más completos sobre los efectos de la dosis-respuesta de las consecuencias de las radiaciones de los campos electromagnéticos.

(E) Pilla AA. Los campos electromagnéticos modulan instantáneamente la señalización del óxido nítrico en sistemas biológicos desafiados. *Biochem Biophys Res Commun.* 426(3):330-333, 2012.

Este estudio muestra que una señal de RF modulada por pulsos (PRF) no térmica, configurada para modular la activación de la calmodulina (CaM) a través de la aceleración de la cinética de unión de  $Ca^{2+}$ , produjo

un aumento inmediato de casi 3 veces en óxido nítrico (NO) de cultivos dopaminérgicos MN9D ( $P < 0,001$ ). El NO se midió electroquímicamente en tiempo real utilizando un electrodo de membrana selectivo de NO, que mostró que el efecto PRF ocurrió dentro de los primeros segundos después del desafío con lipopolisacárido (LPS). Otro respaldo de que el sitio de acción de PRF involucra CaM se proporciona en cultivos de fibroblastos humanos desafiados con suero bajo y expuestos durante 15 minutos a la señal PRF idéntica. En este caso, se pudo agregar un antagonista de CaM W-7 al cultivo 3 horas antes de la exposición a PRF. Esos resultados mostraron que la señal PRF produjo un aumento de casi dos veces en NO, que podría ser bloqueado por W-7 ( $P < 0,001$ ). Hasta donde saben los autores, este es el primer informe de un efecto en tiempo real de campos electromagnéticos (CEM) no térmicos en la liberación de NO de células desafiadas. Los resultados brindan respaldo mecanicista para los muchos bioefectos informados de los CEM en los que el NO juega un papel. Por lo tanto, en una aplicación clínica típica para el dolor posoperatorio agudo o el dolor crónico, por ejemplo, de la osteoartritis, se podría emplear la terapia con campos electromagnéticos para modular la dinámica del NO a través de la óxido nítrico sintetasa constitutiva dependiente de Ca/CaM (cNOS) en el tejido diana. Esto, a su vez, modularía la dinámica de las vías de señalización que utiliza el cuerpo en respuesta a las distintas fases de curación después de una agresión o lesión física o química.

(E) Pooam M, Jourdan N, Aguida B, Dahon C, Baouz S, Terry C, Raad H, Ahmad M.

La exposición a un campo de radiofrecuencia de 1,8 GHz modula las ROS en células HEK293 humanas en función de la amplitud de la señal. *Commun Integr Biol* 15(1):54-66, 2022.

La industria de las telecomunicaciones modernas está presente en todo el mundo y un porcentaje significativo de la población utiliza teléfonos celulares a diario. Por lo tanto, las posibles consecuencias fisiológicas de las emisiones inalámbricas en el rango de GHz son de gran interés, pero siguen siendo poco conocidas. Aquí, demostramos que la exposición a una frecuencia portadora de 1,8 GHz en el rango de amplitud de las telecomunicaciones domésticas induce la formación de ROS (especies reactivas de oxígeno) en células HEK293 humanas cultivadas. Las concentraciones de ROS detectadas mediante técnicas de imágenes fluorescentes aumentaron significativamente después de 15 minutos de exposición al campo de RF y se localizaron en los compartimentos celulares nucleares y citosólicos. El análisis de qPCR mostró una expresión génica alterada de las enzimas antioxidantes (SOD, GPX, GPX y CAT) y oxidativas (Nox-2). Además, se descubrió que varios genes previamente identificados como sensibles a los campos magnéticos estáticos también estaban regulados por RF, lo que sugiere características comunes en los mecanismos de respuesta. Por el contrario, muchos efectos de RF mostraron evidencia de hormesis, por lo que la respuesta biológica no ocurre linealmente como una función de la amplitud de la señal. En cambio, se producen curvas de respuesta a la dosis bifásicas con puntos "ciegos" en ciertas amplitudes de señal donde no se produce una respuesta medible. Concluimos que la modulación de ROS intracelulares puede ser una consecuencia directa de la exposición a RF que depende de la frecuencia y amplitud de la señal. Dado que los cambios en ROS intracelulares pueden tener efectos tanto perjudiciales como beneficiosos, estos podrían proporcionar la base para muchos efectos fisiológicos informados de la exposición a RF.

(E) Postaci I, Coskun O, Senol N, Aslankoc R, Comlekci S. Efectos fisiopatológicos de la quercetina

sobre el estrés oxidativo en tejido hepático de rata expuesto a la radiación de un teléfono móvil de 4,5 g. *Bratisl Lek Listy* 2018;119(8):481-489.

Objetivo: El estudio tuvo como objetivo evaluar la consideración fisiopatológica de los efectos del campo electromagnético (CEM) de la radiación de los teléfonos móviles 4.5 G sobre el tejido hepático.

de ratas y quercetina (Qu) aplicada como antioxidante para reducir estos efectos. Métodos: Las ratas macho Wistar-Albino se dividieron en cuatro grupos con 8 ratas en cada grupo. Grupo 1 (grupo de control), Grupo 2 (grupo simulado), Grupo 3 (grupo EMF) y Grupo 4 (EMF + Qu). De los animales sacrificados al final del día 30; se tomaron tejidos del hígado para exámenes histopatológicos e inmunohistoquímicos. Resultados: En el tejido hepático del grupo de campo electromagnético; se determinó que la dilatación de la sinusitis era mayor que en el grupo simulado. Se concluyó que la concentración de células inmunopositivas a caspasa-3 y TNF- $\alpha$  estaba en el nivel del grupo EMF (+3) y también la inmunotinción era más fuerte, provocó un aumento en el nivel de malondialdehído, la diferencia entre los grupos fue estadísticamente significativa, en términos de superóxido dismutasa, actividades de catalasa, la diferencia no fue significativa. Conclusión: Se determinó que la exposición a campos electromagnéticos de 2600 MHz causó daño al hígado, 100 mg/kg/día de quercetina no fue suficiente para prevenir este daño (Tab. 5, Fig. 15, Ref. 27).

(NE) Poulletier de Gannes F, Haro E, Hurtier A, Taxile M, Ruffié G, Billaudel B, Veyret B, Lagroye I. Efecto de la exposición a la señal de borde sobre el estrés oxidativo en modelos de células cerebrales. *Radiat Res.* 175(2):225-230, 2011.

En este estudio investigamos el efecto de la señal EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution) en células de tres líneas celulares cerebrales humanas, SH-SY5Y, U87 y CHME5, utilizadas como modelos de neuronas, astrocitos y microglia, respectivamente, así como en cultivos primarios de neuronas corticales. Las guías de onda SXC-1800 (IT'IS-Foundation, Zúrich, Suiza) se modificaron para la exposición in vitro a la radiación de radiofrecuencia (RF) de la señal EDGE a 1800 MHz. Se probaron cuatro condiciones de exposición: 2 y 10 W/kg durante 1 y 24 h. La producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) se midió por citometría de flujo utilizando la sonda de diacetato de diclorofluoresceína (DCFH-DA) al final de la exposición de 24 h o 24 h después de la exposición de 1 h. El tratamiento con rotenona se utilizó como control positivo. Todas las células analizadas respondieron al tratamiento con rotenona aumentando la producción de ROS. Estos hallazgos indican que la exposición a la señal EDGE no induce estrés oxidativo en estas condiciones de prueba, incluida la de 10 W/kg. Nuestros resultados coinciden con hallazgos anteriores que indicaban que la radiación de radiofrecuencia por sí sola no aumenta la producción de ROS.

(E) Qin F, Yuan H, Nie J, Cao Y, Tong J. [Efectos del nanoselenio en el rendimiento cognitivo de ratones expuestos a campos de radiofrecuencia de 1800 MHz]. *Wei Sheng Yan Jiu.* 43(1):16-21, 2014. [Artículo en chino]

OBJETIVO: Estudiar los efectos del nano-selenio (NSe) en el rendimiento cognitivo de ratones expuestos a campos de radiofrecuencia (RF) de 1800 MHz. MÉTODOS: Los ratones machos se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos, control y grupos de dosis baja, media y alta de nano-Se (L, M, H). Cada grupo se subdividió en tres grupos, RF 0 min, RF 30 min y RF 120 min. Se administró solución de nano-se (2, 4 y 8 microg/ml) a ratones de los grupos L, M, H mediante inyección intragástrica respectivamente, 0,5 ml/d durante 50 días, al grupo de control se le administró agua destilada. El día 21, los ratones del subgrupo RF fueron expuestos a campos de radiofrecuencia de 208 microW/cm<sup>2</sup> 1800 MHz (0, 30 y 120 min/d respectivamente) durante 30 días. La capacidad cognitiva de los ratones se evaluó con un laberinto en Y. Además, se midieron los niveles de MDA, GABA, Glu, Ach y las actividades de CAT y GSH-Px en el cerebro. RESULTADOS: Se observaron deterioros significativos en el aprendizaje y la memoria ( $P < 0,05$ ) en el grupo RF 120 min y

con reducción del nivel de Ach y las actividades de CAT y GSH-Px y aumento del contenido de GABA, Glu y MDA en el cerebro. NSe mejoró el rendimiento cognitivo de los ratones RF, disminuyó los niveles de GABA, Glu y MDA, aumentó los niveles de Ach, GSH-Px y actividades de CAT. CONCLUSIÓN: NSe podría mejorar los deterioros cognitivos de los ratones expuestos a RF, cuyo mecanismo podría implicar el aumento de la antioxidación, la disminución del contenido de radicales libres y los cambios de los neurotransmisores cerebrales.

---

(E) Qin F, Shen T, Cao H, Qian J, Zou D, Ye M, Pei H. Las nanopartículas de CeO<sub>2</sub> alivian la radiación por radiofrecuencia. La radiación mejora la síntesis de testosterona y la expresión del gen del reloj en las células de Leydig al mejorar la antioxidación. *Int J Nanomedicine*. 14:4601-4611, 2019.

Introducción: La relación Ce<sup>3+</sup>/Ce<sup>4+</sup> en su estructura confiere funciones únicas a las nanopartículas de óxido de cerio (CeO<sub>2</sub>NPs) que contienen tierras raras en la eliminación de radicales libres y la protección contra el daño oxidativo. Se examinó in vitro el potencial de las CeO<sub>2</sub>NPs para proteger la síntesis de testosterona en células de Leydig primarias de ratón durante la exposición a radiación de radiofrecuencia (RF) de 1.800 MHz. Métodos: Las células de Leydig se trataron con diferentes concentraciones de CeO<sub>2</sub>NPs para identificar la concentración óptima para la proliferación celular. Las células se pretrataron con la dosis óptima de CeO<sub>2</sub>NPs durante 24 horas y luego se expusieron a RF de 1.800 MHz a una densidad de potencia de 200,27  $\mu$ W/cm<sup>2</sup> (tasa de absorción específica (SAR), 0,116 W/kg) durante 1 hora, 2 horas o 4 horas. El medio se utilizó para medir la concentración de testosterona. Las células se recogieron para determinar los índices antioxidantes (catalasa [CAT], malondialdehído [MDA] y capacidad antioxidante total [T-AOC]), y la expresión de ARNm de los genes de la testosterona sintasa (Star, Cyp11a1 y Hsd-3 $\beta$ ) y los genes del reloj (Clock, Bmal1 y Rora). Resultados: Nuestro resultado preliminar mostró que 128  $\mu$ g/mL de CeO<sub>2</sub>NPs fue la dosis óptima para la proliferación celular. Las células expuestas a RF sola mostraron niveles reducidos de testosterona, T-AOC y actividades de CAT, mayor contenido de MDA y la expresión de los genes regulados a la baja de Star, Cyp11a1, Hsd-3 $\beta$ , Clock, Bmal1 y Rora. El pretratamiento de las células con 128  $\mu$ g/mL de CeO<sub>2</sub>NP durante 24 horas seguido de exposición a RF aumentó significativamente la síntesis de testosterona, aumentó la expresión de la testosterona sintasa y los genes del reloj y aumentó la resistencia al daño oxidativo en las células de Leydig en comparación con las células expuestas a RF únicamente. Conclusión: La exposición a RF de 1800 MHz tuvo efectos adversos en la síntesis de testosterona, los niveles de antioxidantes y la expresión del gen del reloj en las células de Leydig primarias. El pretratamiento con CeO<sub>2</sub>NP previno los efectos adversos en la síntesis de testosterona inducidos por la exposición a RF al regular su capacidad antioxidante y la expresión del gen del reloj in vitro. Se requieren más estudios del mecanismo subyacente a la función protectora de las CeO<sub>2</sub>NP contra la RF en el sistema reproductor masculino.

(E) Ragy MM. Efecto de la exposición y retirada de ondas electromagnéticas de 900 MHz sobre el estrés oxidativo cerebral, renal y hepático y algunos parámetros bioquímicos en ratas macho. *Electromagn Biol Med*. 8 de abril de 2014. [Publicado electrónicamente antes de su impresión]

El aumento del uso de teléfonos móviles en la vida diaria y los efectos adversos cada vez mayores de la radiación electromagnética (REM) emitida por los móviles en algunos procesos fisiológicos han provocado muchas preocupaciones sobre sus efectos en la salud humana. Por lo tanto, este trabajo fue diseñado para estudiar los efectos de la exposición a la radiación electromagnética de 900 MHz emitida por los teléfonos móviles en el cerebro, el hígado y los riñones de ratas albinas macho. Treinta ratas macho adultas se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos (10

cada uno) de la siguiente manera: grupo de control (ratas sin exposición a EMR), grupo de exposición (expuesto a EMR de 900 MHz durante 1 h/día durante 60 días) y grupo de retirada (expuesto a ondas electromagnéticas de 900 MHz durante 1 h/día durante 60 días y luego dejado durante 30 días sin exposición). La EMR emitida por el teléfono móvil provocó un aumento significativo de los niveles de malondialdehído (MDA) y una disminución significativa de los niveles de capacidad antioxidante total (TAC) en los tejidos del cerebro, el hígado y los riñones. La actividad sérica de la alanina transaminasa (ALT), la aspartato aminotransferasa (AST), la urea, la creatinina y la corticosterona aumentó significativamente ( $p < 0,05$ ), mientras que las catecolaminas séricas fueron insignificamente más altas en las ratas expuestas. Estas alteraciones se corrigieron mediante la retirada del teléfono móvil. En conclusión, el campo electromagnético emitido por el teléfono móvil podría producir alteraciones en algunos cambios bioquímicos y estrés oxidativo en el tejido cerebral, hepático y renal de ratas albinas.

---

(E) Şahin D, Özgür E, Güler G, Tomruk A, Ünlü İ, Sepici-Dinçel A, Seyhan N. La radiación de radiofrecuencia de 2100 MHz de un teléfono móvil 3G y el daño oxidativo del ADN en el cerebro. J Chem Neuroanat. 75 (parte B): 94-98, 2016.

Nuestro objetivo fue evaluar el efecto de la radiación de radiofrecuencia de 2100 MHz emitida por un generador, simulando un teléfono móvil 3G en el cerebro de ratas durante 10 y 40 días de exposición. Las ratas hembras se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos. Grupo I; expuesto a la señal RFR de 2100 MHz modulada 3G durante 6 h/día, 5 días consecutivos/semana durante 2 semanas, Grupo II; control 10 días, se mantuvieron en una configuración de exposición inactiva durante 6 h/día, 5 días consecutivos/semana durante 2 semanas, Grupo III; expuesto a la señal RFR de 2100 MHz modulada 3G durante 6 h/día, 5 días consecutivos/semana durante 8 semanas y Grupo IV; control 40 días, se mantuvieron en una configuración de exposición inactiva durante 6 h/día, 5 días consecutivos/semana durante 8 semanas. Después de extraer el contenido de ADN genómico del cerebro, se determinaron los niveles de daño oxidativo del ADN (8-hidroxi-2'-desoxiguanosina, pg/mL) y malondialdehído (MDA, nmoL/g de tejido). Nuestro hallazgo principal fue el aumento del daño oxidativo del ADN en el cerebro después de 10 días de exposición y la disminución del daño oxidativo del ADN después de 40 días de exposición en comparación con sus grupos de control.

Además de la disminución del producto final de la peroxidación lipídica, MDA, se observó después de 40 días de exposición. La disminución de la cantidad de daño medida durante los 40 días de exposición podría deberse a mecanismos de reparación del ADN adaptados y mejorados.

(E) Saikhedkar N, Bhatnagar M, Jain A, Sukhwal P, Sharma C, Jaiswal N. Efectos de la radiación de los teléfonos móviles (radiofrecuencia de 900 MHz) en la estructura y las funciones del cerebro de ratas. Neurol Res. 36:1072-1079, 2014.

Objetivos: Los objetivos de este estudio fueron: (1) obtener información básica sobre los efectos del uso a largo plazo del teléfono móvil en la composición citológica del hipocampo en el cerebro de ratas (2) evaluar los efectos sobre el estado antioxidante, y (3) evaluar los efectos sobre el comportamiento cognitivo, particularmente sobre el aprendizaje y la memoria. Métodos: Las ratas (de 30 días de edad,  $120 \pm 5$  g) fueron expuestas a ondas de radio de 900 MHz por medio de un teléfono móvil durante 4 horas al día durante 15 días. Los efectos sobre la ansiedad, el aprendizaje espacial y la memoria se estudiaron utilizando la prueba de campo abierto, el laberinto en cruz elevada, el laberinto acuático de Morris (MWM) y la prueba del laberinto clásico. También se estudiaron los efectos sobre el estado antioxidante del cerebro. Se realizó una tinción con violeta de cresilo para acceder al daño neuronal.

Resultado: Los animales de prueba mostraron un cambio significativo en el comportamiento, es decir, más ansiedad y un aprendizaje deficiente.

En comparación con los controles y el grupo de placebo, se observó un cambio significativo en el nivel de enzimas antioxidantes y antioxidantes no enzimáticos, y un aumento en la peroxidación lipídica en las ratas de prueba.

El examen histológico mostró células neurodegenerativas en subregiones del hipocampo y la corteza cerebral.

Discusión: Por lo tanto, nuestros hallazgos indican una neurodegeneración extensa por exposición a ondas de radio. El aumento de la producción de especies reactivas de oxígeno debido al agotamiento de antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos y el aumento de la peroxidación lipídica indican una neurodegeneración extensa en áreas selectivas de CA1, CA3, DG y corteza cerebral. Este daño neuronal extenso resulta en alteraciones en el comportamiento relacionado con la memoria y el aprendizaje.

(E) Salah MB, Abdelmelek H, Abderraba M. Efectos del extracto de hojas de olivo sobre los trastornos metabólicos y el estrés oxidativo inducidos por señales WIFI de 2,45 GHz. *Environ Toxicol Pharmacol.* 36(3):826-834, 2013.

Investigamos el efecto de la administración de extracto de hojas de olivo sobre el metabolismo de la glucosa y la respuesta oxidativa en el hígado y los riñones de ratas expuestas a radiofrecuencia (RF). La exposición de las ratas a RF (2,45 GHz, 1 h/día durante 21 días consecutivos) indujo un estado similar a la diabetes.

Además, RF disminuyó las actividades de la glutatión peroxidasa (GPx, -33,33% y -49,40%), catalasa (CAT, -43,39% y -39,62%) y la superóxido dismutasa (SOD, -59,29% y -

68,53%) y grupos tioles en cantidad (-62,68% y -34,85%), respectivamente en hígado y riñones.

De hecho, la exposición a RF aumentó la concentración de malondialdehído (MDA, 29,69% y 51,35%) respectivamente en el hígado y los riñones. La administración de extracto de hojas de olivo (100 mg/kg, ip) en ratas expuestas a RF previno la alteración del metabolismo de la glucosa y restableció las actividades de GPx, CAT y SOD y la cantidad de grupo tiol en el hígado y los riñones. Además, la administración de extracto de hojas de olivo pudo reducir los niveles elevados de MDA en el hígado pero no en los riñones. Nuestras investigaciones sugirieron que la exposición a RF indujo un estado similar a la diabetes a través de la alteración de la respuesta oxidativa. El extracto de hojas de olivo pudo corregir el trastorno del metabolismo de la glucosa al minimizar el estrés oxidativo inducido por RF en los tejidos de ratas.

(E) Santini SJ, Cordone V, Falone S, Mijit M, Tatone C, Amicarelli F, Di Emidio G. Función de las mitocondrias en el estrés oxidativo inducido por campos electromagnéticos: enfoque en los sistemas reproductivos. *Oxid Med Cell Longev.* 8 de noviembre de 2018;2018:5076271.

Las tecnologías modernas que dependen de los sistemas de comunicación inalámbricos han traído consigo niveles cada vez mayores de exposición a los campos electromagnéticos (CEM). Esto ha aumentado el interés de la investigación sobre los efectos de estas radiaciones en la salud humana. Hay pruebas contundentes de que los CEM afectan la fisiología celular alterando los procesos relacionados con la oxidación-reducción. Considerando la importancia del medio redox en la competencia biológica de los ovocitos y los espermatozoides, revisamos la literatura existente sobre los efectos de los campos electromagnéticos en los sistemas reproductivos. Dado el papel de las mitocondrias como fuente principal de especies reactivas de oxígeno (ROS), nos centramos en la hipótesis de una base mitocondrial de la toxicidad reproductiva inducida por los campos electromagnéticos. Se examinaron las bases de datos MEDLINE, Web of Science y Scopus en busca de artículos originales revisados por pares mediante la búsqueda de las siguientes palabras clave: "campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF)", "radiofrecuencia (RF)", "microondas", "Wi-Fi", "teléfono móvil", "estrés oxidativo", "mitocondrias", "fertilidad", "esperma", "testículo", "ovocito", "folículo ovárico" y "embrión".

Estas palabras clave se combinaron con otras frases de búsqueda relevantes para el tema. Aunque hemos publicado datos contradictorios debido a la falta de uniformidad en los diseños experimentales, cada vez hay más pruebas que sugieren que la exposición a los campos electromagnéticos durante la espermatogénesis induce un aumento de la producción de ROS asociada a una menor actividad de eliminación de ROS. Numerosos estudios han revelado los efectos perjudiciales de los campos electromagnéticos de los teléfonos móviles, ordenadores portátiles y otros dispositivos eléctricos sobre la calidad del esperma y aportan pruebas de que la principal causa del daño causado por los campos electromagnéticos es una importante fuga de electrones de la cadena de transporte de electrones mitocondrial. En los sistemas reproductores femeninos, también se ha informado de la contribución del estrés oxidativo a los daños inducidos por los campos electromagnéticos y de la evidencia del origen mitocondrial de la sobreproducción de ROS. En conclusión, las mitocondrias parecen desempeñar un papel importante como fuente de ROS en los sistemas reproductores masculino y femenino bajo exposición a los campos electromagnéticos. Se necesitan estudios futuros y más estandarizados para comprender mejor los mecanismos moleculares que subyacen al posible desafío de los campos electromagnéticos a nuestro sistema reproductor con el fin de mejorar las estrategias preventivas.

(E) Saygin M, Asci H, Ozmen O, Cankara FN, Dincoglu D, Ilhan I. Impacto de la radiación de microondas de 2,45 GHz en los biomarcadores de la vía inflamatoria testicular en ratas jóvenes: el papel del ácido gálico. *Environ Toxicol.* 13 de agosto de 2015. doi: 10.1002/tox.22179. [Publicado electrónicamente antes de su impresión]

El objetivo de este estudio fue investigar la radiación electromagnética (REM) transmitida por dispositivos inalámbricos (2,45 GHz), que puede causar cambios fisiopatológicos o ultraestructurales, en los testículos de ratas. Abordamos si el ácido gálico (GA) suplementario puede reducir estos efectos adversos. Se utilizaron ratas Sprague Dawley macho de seis semanas de edad en este estudio. Cuarenta y ocho ratas se dividieron equitativamente en cuatro grupos, que se denominaron: grupos Sham, EMR solamente (REM, 3 h día<sup>-1</sup> durante 30 días), EMR + GA (30 mg/kg/día) y GA (30 mg/kg/día). Los niveles de malondialdehído (MDA) y estado oxidante total (TOS) aumentaron ( $p = 0,001$  para ambos) en el grupo EMR solamente. Los niveles de TOS y del índice de estrés oxidativo (OSI) disminuyeron significativamente en el grupo tratado con GA ( $p = 0,001$  y  $p = 0,045$ , respectivamente).

Las actividades del estado antioxidante total (TAS) disminuyeron en el grupo de solo EMR y aumentaron en el grupo de tratamiento con GA ( $p = 0,001$  y  $p = 0,029$ , respectivamente). Los niveles de testosterona y factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF) disminuyeron en el grupo de solo EMR, pero esto no fue estadísticamente significativo. Los niveles de testosterona y VEGF aumentaron en el grupo EMR + GA, en comparación con el grupo de solo EMR ( $p = 0,002$ ), y también aumentaron en el grupo GA en comparación con el grupo de control y solo EMR ( $p = 0,044$  y  $p = 0,032$ , respectivamente).

La tinción de prostaglandina E2 (PGE2) y péptido relacionado con el gen de calcitonina (CGRP) aumentó en los túbulos de los testículos en el grupo EMR solamente ( $p < 0,001$  para ambos) y disminuyó en los túbulos de los testículos en el grupo EMR + GA ( $p < 0,001$  para todos los parámetros). En el grupo EMR solamente, la mayoría de los túbulos contenían menos espermatozoides, y los recuentos de espermatozoides disminuyeron en los túbulos de los testículos. Todos estos hallazgos y la reacción regenerativa, caracterizada por la actividad mitótica, aumentaron en las células de los túbulos seminíferos de los testículos en el grupo EMR + GA ( $p < 0,001$ ). La exposición a largo plazo a EMR resultó en fisiopatología testicular a través de daño oxidativo e inflamación. GA puede tener efectos mejoradores en la fisiopatología de los testículos de ratas prepúberes.

Schuermann D, Mevissen M. Campos electromagnéticos artificiales y estrés oxidativo: efectos biológicos y consecuencias para la salud. *Int J Mol Sci* 2021 6 de abril; 22(7):3772.(Revisión)

Junto con el uso cada vez mayor de aparatos eléctricos y sistemas de comunicación móvil, la exposición pública y ocupacional a campos electromagnéticos (CEM) en el rango de frecuencias extremadamente bajas y radiofrecuencias se ha convertido en un factor de riesgo ambiental para la salud ampliamente debatido. La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) ha clasificado los CEM de radiofrecuencia (RF) y los CEM de frecuencias extremadamente bajas (ELF) como posiblemente cancerígenos para los humanos (Grupo 2B). Se encontró con frecuencia que la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), que potencialmente conducen al estrés oxidativo celular o sistémico, estaba influenciada por la exposición a CEM en animales y células. En esta revisión, resumimos los hallazgos experimentales clave sobre el estrés oxidativo relacionado con la exposición a CEM a partir de estudios animales y celulares de la última década. Las observaciones se discuten en el contexto de los mecanismos moleculares y las funcionalidades relevantes para la salud, como la función neurológica, la estabilidad del genoma, la respuesta inmune y la reproducción. La mayoría de los estudios animales y muchos estudios celulares mostraron un mayor estrés oxidativo causado por RF-CEM y ELF-CM. Para estimar el riesgo para la salud humana por exposición antropogénica, también es necesario considerar estudios experimentales en humanos y es

(E) Sefidbakht Y, Moosavi-Movahedi AA, Hosseinkhani S, Khodagholi F, Torkzadeh-Mahani M, Foolad F, Faraji-Dana R. Efectos del campo electromagnético de 940 MHz sobre la bioluminiscencia y la respuesta oxidativa de las células HEK productoras de luciferasa estable. *Photochem Photobiol Sci*. 13:1082-1092, 2014.

Se evaluaron los efectos del campo electromagnético de frecuencia de telefonía móvil (RF-EMF, 940 MHz) en una línea celular estable (HEK293T) que alberga el gen de luciferasa de luciérnaga. Un sistema de exposición de guía de ondas con una potencia de entrada de 1 W proporcionó una tasa de absorción específica media de  $\approx 0,09$  W kg<sup>-1</sup> en placas de Petri de 35 mm. Se investigaron los efectos de la duración de la exposición (15, 30, 45, 60 y 90 min) sobre la actividad de la luciferasa y los elementos de respuesta oxidativa. La actividad de la luciferasa endógena se redujo después de 30 y 45 min de exposición continua, mientras que después de 60 min, el lisado celular expuesto mostró una mayor actividad de luciferasa en comparación con el control no expuesto. La generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) fue más alta en las células expuestas durante 30 minutos, como se estudió mediante fluorescencia de diacetato de 2',7'-diclorodihidrofluoresceína (DCFH-DA). El aumento observado en ROS fue seguido por un aumento brusco en la actividad de la catalasa (CAT) y la superóxido dismutasa (SOD) y la elevación del glutatión (GSH) durante la exposición de 45 minutos. La disminución en la peroxidación lipídica (malondialdehído, MDA) fue significativa para las células expuestas a 45 y 60 minutos. Por lo tanto, parece que un aumento en la actividad de la luciferasa después de 60 min de exposición continua podría estar asociado con una disminución en el nivel de ROS causada por la activación de la respuesta oxidativa. Esta capacidad de las células para superar el estrés oxidativo y compensar la actividad de la luciferasa también podría ser responsable del mecanismo de respuesta adaptativa detectado en estudios de radiación ionizante con pretratamientos de RF-EMF.

(E) Senturk E, Tugrul S, Doğan R, Eren SB, Ozturan O, Koçyiğit A, Kesgin S. Efecto de la radiofrecuencia sobre el daño del ADN y el estado oxidativo en pacientes con hipertrofia de cornetes. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg*. 2019 Nov;71(Suppl 3):1810-1815, 2019.

Los dispositivos de radiofrecuencia que se utilizan generan radiofrecuencia en el rango de frecuencia de 1,5 y 2,5 MHz. Este estudio tiene como objetivo demostrar si el estado oxidativo sistemático y el ADN se ven influenciados en este rango de frecuencia. En el estudio, 27 pacientes que recibieron tratamiento de radiofrecuencia en el cornete inferior porque se les diagnosticó hipertrofia del cornete inferior. El daño del ADN se evaluó mediante un ensayo de cometa alcalino en células de linfocitos periféricos. Los niveles plasmáticos del estado antioxidante total (TAS) y el estado oxidativo total (TOS) se determinaron utilizando un método de medición automatizado y se calculó el índice de estrés oxidativo (OSI) (el OSI se calculó como:  $OSI = (TOS/TAS) \times 100$ ). Hubo un aumento en los valores de OSI y TOS en los días 1 y 15 en comparación con las muestras tomadas antes de la administración de radiofrecuencia. Se observaron disminuciones significativas en los valores de TAS en los días 1 y 15. En cuanto al daño del ADN, no se encontraron diferencias significativas en el día 15 en comparación con los valores preoperatorios, aunque hubo un aumento estadísticamente insignificante en el día 1. La administración de radiación de radiofrecuencia en los cornetes inferiores da como resultado un aumento del estrés oxidativo en el período agudo y una disminución del sistema antioxidante. Aunque este efecto causa un ligero aumento en el daño del ADN en el período postoperatorio temprano, el daño se restaura a los niveles preoperatorios en el día 15.

Por lo tanto, creemos que se debería optar por un enfoque más conservador para el tratamiento con radiofrecuencia en lugar de utilizarlo de forma rutinaria.

(E) Sepehrimanesh M, Kazemipour N, Saeb M, Nazifi S. Análisis del proteoma testicular de rata después de 30 días de exposición a una radiación de campo electromagnético de 900 MHz. *Electroforesis*. 21 de agosto de 2014. doi: 10.1002/elps.201400273. [Publicación electrónica antes de su impresión]

El uso de aparatos que generan campos electromagnéticos (CEM), como los teléfonos móviles, está aumentando y ha suscitado interés en las investigaciones sobre sus efectos en la salud humana. Analizamos el proteoma en preparaciones de testículos completos de ratas Sprague-Dawley macho adultas expuestas durante 1, 2 o 4 h/día durante 30 días consecutivos a una radiación CEM de 900 MHz, simulando un rango de posibles usos de teléfonos móviles humanos. Los sujetos fueron sacrificados inmediatamente después del final del experimento y las fracciones de los testículos se solubilizaron y separaron mediante microscopio de 2-

Se escanearon, digitalizaron y procesaron los patrones de gel y se analizaron mediante electroforesis tridimensional. Se identificaron trece de las proteínas que se encontraron solo en el grupo de control o en el grupo de exposición mediante MALDI-TOF/TOF-MS. Entre ellas, se identificaron proteínas de choque térmico, superóxido dismutasa, peroxirredoxina-1 y otras proteínas relacionadas con el mal plegamiento de proteínas y/o el estrés. Estos resultados demuestran efectos significativos de la exposición a campos electromagnéticos modulados por radiofrecuencia (RF-EMF) en el proteoma, particularmente en especies proteínicas en el testículo de roedores, y sugieren que una exposición de 30 días a la radiación EMF induce estrés no térmico en el tejido testicular. Se discutió la implicación funcional de las proteínas identificadas.

(E) Shahin S, Mishra V, Singh SP, Chaturvedi CM. La irradiación de microondas de 2,45 GHz afecta negativamente la función reproductiva en ratones macho, *Mus musculus*, al inducir estrés oxidativo y nitrosativo. *Free Radic Res*. 48(5):511-525, 2014.

Se informa que las radiaciones electromagnéticas producen efectos biológicos a corto y largo plazo, que son de gran preocupación para la salud humana debido al uso cada vez mayor de dispositivos que emiten EMR, especialmente radiación de microondas (MW), en nuestra vida diaria. En vista del uso inevitable

En vista de la importancia de los dispositivos emisores de MW (hornos de microondas, teléfonos móviles, Wi-Fi, etc.) y sus efectos nocivos sobre el sistema biológico, se consideró que valía la pena investigar los efectos a largo plazo de la irradiación de MW de bajo nivel sobre la función reproductiva de ratones macho de cepa suiza y su mecanismo de acción. Se expuso a ratones de doce semanas de edad a una radiación no térmica de bajo nivel de 2,45-Radiación MW de GHz (CW durante 2 h/día durante 30 días, densidad de potencia = 0,029812 mW/cm<sup>2</sup>) y SAR = 0,018 W/Kg). Se realizó el recuento de espermatozoides y la prueba de viabilidad de los espermatozoides, así como también se procesaron los órganos vitales para estudiar diferentes parámetros de estrés. Se utilizó plasma para la testosterona y testículos para el ensayo de 3β HSD. También se realizó inmunohistoquímica de 3β HSD y óxido nítrico sintasa (i-NOS) en testículos. Observamos que la irradiación MW indujo una disminución significativa en el recuento de espermatozoides y la viabilidad de los espermatozoides junto con la disminución del diámetro del túbulo seminífero y la degeneración de los túbulos seminíferos. También se observó una reducción en la actividad testicular de 3β HSD y los niveles plasmáticos de testosterona en el grupo expuesto de ratones. Se observó un aumento en la expresión de i-NOS testicular en el grupo de ratones irradiados con MW. Además, estos efectos reproductivos adversos sugieren que la exposición crónica a la radiación de microondas no ionizante puede provocar infertilidad a través de una vía mediada por especies de radicales libres.

(E) Shahin NN, El-Nabarawy NA, Gouda AS, Mégarbane B. El papel protector de la espermina contra las aberraciones reproductivas masculinas inducidas por la exposición a campos electromagnéticos: una investigación experimental en ratas. *Toxicol Appl Pharmacol.* 370:117-130, 2019.

El uso exponencialmente creciente de dispositivos que emiten campos electromagnéticos (CEM) impone una carga de salud sustancial en las sociedades modernas, con preocupaciones particulares por la infertilidad masculina. Estudios limitados han abordado la modulación de este riesgo por agentes protectores. Investigamos los efectos peligrosos de la exposición de ratas a CEM (900 MHz, 2 h/día durante 8 semanas) sobre la fertilidad masculina y evaluamos el posible efecto protector de la poliamina, espermina, contra alteraciones inducidas por CEM. La exposición a CEM redujo significativamente el recuento, la viabilidad y la motilidad de los espermatozoides, y aumentó las deformidades de los espermatozoides. Las ratas expuestas a CEM mostraron reducciones significativas en la inhibina B sérica y la testosterona junto con concentraciones elevadas de activina A, hormona estimulante del folículo, hormona luteinizante y estradiol. La proteína reguladora aguda esteroideogénica testicular (StAR), la expresión de ARNm de c-kit y las actividades testiculares de las enzimas androgénicas clave 3β- y 17β-hidroxiesteroide deshidrogenasas se atenuaron significativamente después de la exposición a CEM. La exposición provocó peroxidación lipídica testicular, disminución de las actividades de la catalasa y la glutatión peroxidasa y desencadenó la sobreexpresión del factor nuclear kappa B p65, la óxido nítrico sintasa inducible, la ciclooxigenasa-2 y la caspasa-3. Las ratas expuestas a los campos electromagnéticos mostraron daño en el ADN testicular, como lo indicaron los elevados parámetros del cometa. La administración de espermina (2,5 mg/kg/día por vía intraperitoneal durante 8 semanas) impidió las alteraciones inducidas por los campos electromagnéticos en los perfiles de esperma y hormonas, la expresión de StAR y c-kit y las actividades enzimáticas androgénicas.

La espermina obstaculizó las perturbaciones oxidativas, inflamatorias, apoptóticas y del ADN inducidas por los campos electromagnéticos. El análisis histológico e histomorfométrico de los testículos respaldó todos los hallazgos bioquímicos. En conclusión, la exposición de ratas a los campos electromagnéticos altera los perfiles espermáticos y hormonales con un deterioro subyacente de la esteroideogénesis y la espermatogénesis. La espermina confiere protección contra la disfunción testicular asociada a los campos electromagnéticos.

y aberraciones reproductivas, al menos en parte, a través de mecanismos antioxidantes, antiinflamatorios y antiapoptóticos.

(E) Shahin S, Singh VP, Shukla RK, Dhawan A, Gangwar RK, Singh SP, Chaturvedi CM. El estrés oxidativo inducido por la irradiación de microondas de 2,45 GHz afecta la implantación o el embarazo en ratones, *Mus musculus*. *Appl Biochem Biotechnol*. 169(5):1727-1751, 2013.

El presente experimento fue diseñado para estudiar la respuesta al estrés inducida por la irradiación de microondas (MW) de bajo nivel de 2,45 GHz y su efecto sobre la implantación o el embarazo en ratones hembras.

Se expusieron ratones de doce semanas de edad a radiación MW (onda continua durante 2 h/día durante 45 días, frecuencia 2,45 GHz, densidad de potencia=0,033549 mW/cm<sup>2</sup>), y tasa de absorción específica=0,023023 W/kg). Al final de un total de 45 días de exposición, se sacrificaron los ratones, se monitorizaron los sitios de implantación, se procesó la sangre para estudiar los parámetros de estrés (hemoglobina, recuento de glóbulos rojos y blancos, y relación neutrófilos/linfocitos (N/L)), se procesó el cerebro para el ensayo cometa y se utilizó el plasma para la estimación de óxido nítrico (NO),

progesterona y estradiol. Se determinaron las especies reactivas de oxígeno (ROS) y las actividades de las enzimas eliminadoras de ROS (superóxido dismutasa, catalasa y glutatión peroxidasa) en el hígado, el riñón y el ovario. Observamos que los sitios de implantación se vieron afectados significativamente en los ratones irradiados con MW en comparación con el control. Además, además de un aumento significativo en ROS, hemoglobina ( $p < 0,001$ ), recuentos de glóbulos rojos y blancos ( $p < 0,001$ ), relación N/L ( $p < 0,01$ ), daño del ADN ( $p < 0,001$ ) en las células cerebrales y concentración plasmática de estradiol ( $p < 0,05$ ), se observó una disminución significativa en el nivel de NO ( $p < 0,05$ ) y las actividades de las enzimas antioxidantes de los ratones expuestos a MW. Nuestros hallazgos nos llevaron a concluir que un bajo nivel de estrés oxidativo inducido por la irradiación de MW no solo suprime la implantación, sino que también puede conducir a la deformidad del embrión en caso de que el embarazo continúe. También sugerimos que el estrés oxidativo inducido por la radiación de MW al aumentar la producción de ROS en el cuerpo puede conducir a la rotura de la cadena de ADN en las células cerebrales y al fracaso/reabsorción de la implantación o al embarazo anormal en ratones.

(E) Shahin S, Singh SP, Chaturvedi CM. La radiación de los teléfonos móviles (1800 MHz) afecta la reproducción femenina en ratones, *Mus musculus*, a través de la inhibición inducida por estrés de la actividad ovárica y uterina. *Reprod Toxicol*. 73:41-60, 2017.

El presente estudio investigó los efectos a largo plazo de la radiación de los teléfonos móviles (1800 MHz) en los modos de espera, marcación y recepción sobre la función reproductiva femenina (histoarquitectura ovárica y uterina, y esteroidogénesis) y las respuestas al estrés (estrés oxidativo y nitrosativo). Observamos que la radiación de los teléfonos móviles induce una elevación significativa de las ROS, el NO, la peroxidación lipídica, el contenido total de carbonilo y la corticosterona sérica, junto con una disminución significativa de las enzimas antioxidantes en el hipotálamo, el ovario y el útero de los ratones. En comparación con el grupo de control, los ratones expuestos exhibieron una cantidad reducida de folículos en desarrollo y maduros, así como de cuerpo lúteo. En todos los grupos de ratones expuestos, en comparación con el grupo control, se observaron niveles séricos significativamente reducidos de gonadotropinas hipofisarias (LH, FSH), esteroides sexuales (E2 y P4) y expresión de SF-1, StAR, P-450scc, 3 $\beta$ -HSD, 17 $\beta$ -HSD, aromatas del citocromo P-450, ER- $\alpha$  y ER- $\beta$ . Estos hallazgos sugieren que la radiación de los teléfonos móviles induce estrés oxidativo y nitrosativo, que afecta el rendimiento reproductivo de los ratones hembra.

(E) Sharma A, Kesari KK, Saxena VK, Sisodia R. La radiación de microondas de diez gigahercios perjudica la memoria espacial, la actividad enzimática y la histopatología del cerebro de ratones en desarrollo. Mol Cell Biochem. 3 de mayo de 2017. doi: 10.1007/s11010-017-3051-8. [Publicación electrónica antes de su impresión]

Durante décadas, ha habido una creciente preocupación por los peligros potenciales de los campos electromagnéticos no ionizantes que están presentes en el medio ambiente y que son alarmantes como un importante contaminante o electrocontaminante que pone en riesgo la salud y las enfermedades neuronales. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue explorar los efectos de la radiación de microondas de 10 GHz en el cerebro de ratones en desarrollo. Se seleccionaron ratones de dos semanas de edad y se dividieron en dos grupos (i) expuestos a la exposición simulada y (ii) expuestos a microondas. Los animales estuvieron expuestos durante 2 h/día durante 15 días consecutivos. Después de completar la exposición, en el plazo de una hora, se realizó la autopsia a la mitad de los animales inmediatamente y se permitió que los demás alcanzaran las 6 semanas de edad para el estudio de seguimiento. A partir de entonces, se registraron los resultados en términos de diversos parámetros bioquímicos, conductuales e histopatológicos. El resultado del peso corporal mostró cambios significativos inmediatamente después del tratamiento, mientras que se observaron cambios no significativos en ratones que alcanzaron las 6 semanas de edad. Varios otros puntos finales como el peso del cerebro, la peroxidación lipídica, el glutatión, la proteína, la catalasa y la superóxido dismutasa también se encontraron significativamente alterados ( $p < 0,05$ ) en el cerebro completo de los ratones. Estas diferencias significativas se encontraron inmediatamente después de la exposición y también en el seguimiento al alcanzar las 6 semanas de edad en el grupo de exposición a microondas. Además, se investigó el efecto estadísticamente significativo ( $p < 0,001$ ) en la memoria espacial de los animales, en el aprendizaje para localizar la posición de la plataforma en la prueba del laberinto acuático de Morris. Aunque en la prueba de prueba de sonda, los animales expuestos simuladamente pasaron más tiempo buscando la plataforma en el cuadrante objetivo que en el opuesto u otros cuadrantes. También se observó una alteración significativa en los parámetros histopatológicos (cualitativos y cuantitativos) en la región CA1 del hipocampo, la corteza cerebral y el lóbulo ansiforme del cerebelo. Los resultados del presente estudio concluyen que el cerebro de ratones de 2 semanas de edad era muy sensible a la exposición a microondas, como se observó inmediatamente después de la exposición y durante el estudio de seguimiento a las 6 semanas de edad.

(E) Sharma A, Shrivastava S, Shukla S. Exposición a la radiación electromagnética de radiofrecuencia en alteraciones bioquímicas y patológicas. Neurol India sep-oct 2020;68(5):1092-1100.

Introducción: En la era de la globalización, la dependencia excesiva de los teléfonos móviles es motivo de preocupación. Objetivo: El presente estudio fue diseñado para evaluar la evaluación del riesgo de la radiación de microondas (MWR) a una frecuencia de 1800 MHz y una tasa de absorción específica de 0,433 (W/kg) en ratas Wistar macho. Metodología: Los animales se dividieron en dos grupos: el primer grupo es el grupo de control y el segundo grupo estuvo expuesto a una radiación de 1800 MHz durante 90 días a 4 h/5 días/semana en un mes. Resultados: La exposición crónica a MWR puede alterar la homeostasis de GSH debido a la alteración de varias enzimas reguladoras del ciclo de GSH como GR, GPx, GST y G6PDH que mostraron un desequilibrio en el contenido de GSH y causan un aumento en el estrés oxidativo y la liberación de citocinas inflamatorias. Se observó un aumento notable en el daño del ADN debido a la desorganización y pincosis de las neuronas en el cerebro de los animales expuestos en comparación con el grupo de control ( $P \leq 0,05$ ). También se observó una disminución significativa del nivel de AChE. Conclusión: El estudio concluye que el MWR puede causar daño neuroquímico y fisiopatológico al iniciar el proceso inflamatorio en varias regiones cerebrales.

especialmente en el hipocampo y la corteza cerebral. Estos efectos se asocian además con un aumento notable de la genotoxicidad de las neuronas en relación con el grupo de control.

(E) Sharma S, Shukla S. Efecto de la radiación electromagnética sobre el estado redox, la actividad de la acetilcolinesterasa y el daño celular que contribuyen a la disminución de la memoria de trabajo cerebral en ratas. *J Chem Neuroanat*. 106:101784,2020.

Los deterioros conductuales son el resultado más pragmático del uso prolongado de dispositivos móviles, pero las causas subyacentes aún no se comprenden bien. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio es determinar el posible mecanismo de las alteraciones conductuales inducidas por el uso de dispositivos móviles mediante la observación del estado redox, la actividad de la colinesterasa, el daño celular, el daño genotóxico y las alteraciones cognitivas en el hipocampo de ratas. Este estudio se llevó a cabo en 24 ratas Wistar macho, divididas aleatoriamente en cuatro grupos (n = 6 en cada grupo): el grupo I consistió en ratas expuestas simuladamente (control), el grupo II-IV consistió en ratas expuestas a radiación de microondas (900 MHz) en diferentes duraciones de tiempo 1 h, 2 h y 4 h respectivamente durante 90 días. Después de 90 días de exposición, las ratas estaban evaluando la capacidad de aprendizaje utilizando T-Maze. Un nivel significativamente aumentado de malondialdehído (MDA) con niveles concomitantemente reducidos de superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y enzimas redox (GSH, GPX, GR, GST, G-6PDH) indicó una exposición al estrés oxidativo inducido por EMR emitido móvil por el estado redox agotado de las células cerebrales. El agotamiento del nivel de acetilcolinesterasa (AChE) revela una neurotransmisión alterada en las células cerebrales. La degeneración celular resultante también se observó en el hipocampo expuesto a la radiación. En conclusión, el presente estudio reveló que la radiación de microondas induce estrés oxidativo, estado redox agotado y causa daño al ADN con la subsiguiente reducción en la memoria de trabajo de una manera dependiente del tiempo. Este estudio proporciona información sobre la reciprocidad asociativa entre el estado redox, la degeneración celular y la actividad colinérgica reducida, lo que presumiblemente conduce a las alteraciones del comportamiento después de la radiación electromagnética emitida móvil.

(E) SharmaA, ShrivastavaS, ShuklaS. Daño oxidativo en el hígado y el cerebro de ratas expuestas a la exposición electromagnética a radiofrecuencias dependientes de la frecuencia: evidencia bioquímica e histopatológica. *Free Radic Res* 55:535-546, 2021.

El estudio tuvo como objetivo descubrir un vínculo entre el estado funcional del hígado y el cerebro debido a la radiación electromagnética de radiofrecuencia dependiente de la frecuencia (RF-EMR). Se clasificaron aleatoriamente 40 ratas Wistar como grupos de control (exposición simulada) y expuestos a EMR. Los animales fueron expuestos a 900, 1800 y 2100 MHz con una tasa de absorción específica (SAR) de 0,434 (W/Kg), 0,433 (W/Kg) y 0,453 (W/Kg) respectivamente. La exposición de los animales se limitó a 1 hora/día, 5 días/semana durante 1 mes con una densidad de potencia restringida (900 MHz - 11,638  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ , 1800- 11,438  $\mu\text{W}/\text{m}^2$  y frecuencia de 2100 MHz - 8,237  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ). La exposición a varias frecuencias mostró un cambio dependiente de la frecuencia en el peso corporal y los parámetros hematológicos (RBC, WBC, plaquetas, hemoglobina y hematocrito) en comparación con el grupo de control ( $P \leq 0,01$ ) ( $P \leq 0,001$ ). Se observó una elevación significativa de las transaminasas séricas y la bilirrubina, la urea, el ácido úrico y la creatinina, mientras que la albúmina disminuyó significativamente después de la exposición a EMR ( $P \leq 0,01$ ) ( $P \leq 0,001$ ). La glucosa en sangre, la peroxidación lipídica, los triglicéridos y el colesterol aumentaron mientras que las trifosfatasa de adenosina, la acetilcolinesterasa y los antioxidantes tisulares

como glutatión, superóxido dismutasa, catalasa, glutatión reductasa, glutatión peroxidasa, glutatión-S-transferasa y glucosa-6-fosfato deshidrogenasas disminuyeron significativamente ( $P \leq 0,001$ ). Las observaciones histopatológicas del hígado mostraron infiltración de células mononucleares centrolobulillares e hinchazón en espacios sinusoidales, mientras que en el cerebro se observaron neuronas piramidales y de Purkinje degeneradas. Además, se encontró evidencia sustancial de que el cerebro es más susceptible a la mutilación oxidativa en comparación con el hígado de los animales expuestos. En conclusión, la exposición a RF-EMR mostró daño oxidativo en el hígado, aumentando la incidencia de daño cerebral de manera dependiente de la frecuencia. Aspectos destacados La exposición a EMR mostró toxicidad dependiente de la frecuencia. Alteraciones en el perfil sanguíneo y modificaciones en los marcadores serológicos. Aumento de la peroxidación lipídica que indica daño de la membrana. Inhibición de la actividad de la acetilcolinesterasa que afecta la neurotransmisión colinérgica. La exposición a la radiación electromagnética provocó la pérdida de energía celular y la producción de cantidades excesivas de ROS, alterando así varias enzimas antioxidantes. Evidencia histopatológica de cambios degenerativos graves en el hígado y el cerebro.

(E) Sharma S, Bahel S, Katnoria JK. Evaluación del estrés oxidativo y la genotoxicidad de las radiaciones electromagnéticas de 900 MHz utilizando el sistema de prueba *Trigonella foenum-graecum*. *Protoplasma* 2022 11 de mayo. doi: 10.1007/s00709-022-01768-9. En línea antes de su publicación impresa.

El crecimiento sin precedentes del sector de las comunicaciones y el uso ampliado de la cantidad de dispositivos inalámbricos en las últimas décadas han dado como resultado un tremendo aumento en las emisiones de radiaciones electromagnéticas no ionizantes (REM) en el medio ambiente. Las REM generalizadas han inducido muchos cambios significativos en los sistemas biológicos que conducen al estrés oxidativo, así como al daño del ADN. Considerando esto, el presente estudio se planificó para estudiar los efectos de las REM a una frecuencia de 900 MHz con una densidad de potencia de 10,0 dBm (0,01 W) en periodos de exposición variables (0,5 h, 1 h, 2 h, 4 h y 8 h por día durante 7 días) sobre el porcentaje de germinación, las características morfológicas, el contenido de proteínas, la peroxidación lipídica en términos de contenido de malondialdehído (MDA) y el sistema de defensa antioxidante del sistema de prueba de *Trigonella foenum-graecum*. La genotoxicidad también se evaluó utilizando condiciones similares. Se observó que los EMR disminuyeron significativamente el porcentaje de germinación en un tiempo de exposición de 4 h y 8 h. El peso fresco y el peso seco de la raíz y el brote no mostraron variaciones significativas, mientras que la longitud de la raíz y el brote mostraron variaciones significativas para el período de exposición de 4 h y 8 h. Además, los EMR mejoraron la MDA indicando peroxidasa lipídica. En respuesta a la exposición de EMR, hubo una regulación positiva significativa en las actividades de enzimas como ascorbato peroxidasa (APX), superóxido dismutasa (SOD), glutatión-S-transferasa (GST), guayacol peroxidasa (POD) y glutatión reductasa (GR) en las raíces y brotes de *Trigonella-foenum graecum*. El estudio de genotoxicidad mostró la inducción de aberraciones cromosómicas en células de la punta de la raíz del sistema de prueba *Trigonella foenum-graecum*. El presente estudio reveló la inducción de estrés oxidativo y genotoxicidad de la exposición a EMR en el sistema de prueba.

(E) Sharma VP, Singh HP, Kohli RK, Batish DR. La radiación de los teléfonos móviles inhibe el crecimiento de las raíces de *Vigna radiata* (frijol mungo) al inducir estrés oxidativo. *Sci Total Environ*. 407(21):5543-5547, 2009.

Durante las últimas dos décadas, ha habido un tremendo aumento en el uso de teléfonos celulares. Esto ha contribuido significativamente al rápido aumento del smog EMF, un tipo de contaminación sin precedentes que consiste en radiación en el medio ambiente, lo que impulsó a los científicos a estudiar los efectos en los seres humanos. Sin embargo, no se han realizado muchos estudios para explorar los efectos de los EMFr de los teléfonos celulares en el crecimiento y los cambios bioquímicos en las plantas. Investigamos si los EMFr de los teléfonos celulares inhiben el crecimiento de *Vigna radiata* (frijol mungo) a través de la inducción de respuestas de estrés convencionales. Los efectos de los EMFr de los teléfonos celulares (densidad de potencia: 8,55 microW cm<sup>-2</sup>; ancho de banda de 900 MHz; para 1/2, 1, 2 y 4 h) se determinaron midiendo la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) en términos de contenido de malondialdehído y peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), oxidabilidad de las raíces y cambios en los niveles de enzimas antioxidantes. Nuestros resultados mostraron que los EMFr de los teléfonos celulares inhibieron significativamente la germinación ( $a > 0 = 2$  h) y el crecimiento de la radícula y la plúmula ( $> 0 = 1$  h) en el frijol mungo de una manera dependiente del tiempo. Además, los EMFr de los teléfonos celulares mejoraron el contenido de MDA (indicando peroxidación lipídica) y aumentaron la acumulación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y la oxidabilidad de las raíces en las raíces del frijol mungo, induciendo así estrés oxidativo y daño celular. En respuesta a los EMFr, hubo una regulación positiva significativa en las actividades de las enzimas depuradoras, como las superóxido dismutasas, ascorbato peroxidasas, guayacol peroxidasas, catalasas y glutatión reductasas, en las raíces del frijol mungo. El estudio concluyó que los EMFr de los teléfonos celulares inhiben el crecimiento de las raíces del frijol mungo al inducir estrés oxidativo generado por ROS a pesar del aumento de las actividades de las enzimas antioxidantes.

---

---

(E)Sharma, VP., Singh, HP., Kohli, RK. Efecto de los campos electromagnéticos de los teléfonos móviles sobre los cambios bioquímicos en las plántulas emergentes de *Phaseolus aureus* Roxb. *Ecoscan* 3:211–214, 2009.

Durante la última década, aproximadamente, se ha producido un aumento generalizado del uso de teléfonos móviles, lo que ha provocado un aumento de las radiaciones electromagnéticas en el medio ambiente, a veces denominadas smog electromagnético. Un mayor nivel de radiaciones en el medio ambiente ha aumentado aún más los riesgos de exposición para los organismos vivos. La mayoría de los estudios relacionados con los efectos nocivos o el análisis de riesgos de las radiaciones de los teléfonos móviles se han realizado en animales, incluidos seres humanos o microorganismos (Busljeta et al., 2004; Meral et al., 2007).

Se ha informado de que en los animales las radiaciones electromagnéticas afectan a la proliferación celular, la actividad enzimática, la permeabilidad de la membrana celular e incluso la capacidad reproductiva (Busljeta et al., 2004; Dimitris et al., 2004; Meral et al., 2007). A pesar de estos informes que indican efectos nocivos de las radiaciones de los teléfonos móviles en la fisiología y la bioquímica de los sistemas animales, se ha realizado poco trabajo en sistemas vegetales. Ssawastin (1930) fue el primero en observar los efectos del campo magnético en el crecimiento de las plantas. Además, la mayoría de los informes disponibles se refieren en gran medida al efecto de los campos electromagnéticos generados por instalaciones eléctricas o frecuencias de radio inferiores a la frecuencia de los teléfonos móviles (Hart y Marino, 1977; Johnson et al., 1979; Soja et al., 2003). Sin embargo, se han realizado algunos estudios con sistemas simulados que emiten radiaciones de la misma frecuencia/longitud de onda que los teléfonos móviles. Por ejemplo, Tkalec et al. (2005) informaron que las radiaciones electromagnéticas de 900 MHz inhiben el crecimiento de *Lemna minor* después de 2 h de exposición. Con estos antecedentes en mente, realizamos un estudio para explorar el efecto de las radiaciones electromagnéticas en la elongación de la radícula y los cambios en las cantidades de proteínas y carbohidratos, y las actividades de las proteasas, amilasas y peroxidasas en *Phaseolus aureus*.

(E) Sharma VP, Singh HP, Batish DR, Kohli RK. Las radiaciones de los teléfonos celulares afectan el crecimiento temprano de *Vigna radiata* (frijol mungo) a través de alteraciones bioquímicas. *Z Naturforsch C*. 65(1-2):66-72, 2010.

El uso indiscriminado de tecnologías inalámbricas, en particular de teléfonos celulares, ha aumentado los riesgos para la salud de los organismos vivos, incluidas las plantas. Investigamos el impacto de las radiaciones de campos electromagnéticos (CEM) de teléfonos celulares (densidad de potencia, 8,55 microW cm<sup>-2</sup>) sobre la germinación, el crecimiento temprano, los contenidos de proteínas y carbohidratos, y las actividades de algunas enzimas en *Vigna radiata*. Las radiaciones CEM de teléfonos celulares redujeron significativamente la longitud de las plántulas y el peso seco de *V. radiata* después de la exposición durante 0,5, 1, 2 y 4 h. Además, el contenido de proteínas y carbohidratos se redujo en las plantas expuestas a CEM. Sin embargo, las actividades de las proteasas, alfa-amilasas, beta-amilasas, polifenol oxidasas y peroxidasas aumentaron en las radículas expuestas a CEM, lo que indica su papel en la protección contra el estrés inducido por CEM. El estudio concluye que los CEM de teléfonos celulares perjudican el crecimiento temprano de las plántulas de *V. radiata* al inducir cambios bioquímicos.

(E) Shehu A, Mohammed A, Magaji RA, Muhammad MS. La exposición a la radiación del campo electromagnético, el tono de llamada y la vibración de los teléfonos móviles afecta el comportamiento similar a la ansiedad y los biomarcadores del estrés oxidativo en ratas albinas Wistar. *Metab Brain Dis*. 7 de noviembre de 2015. [Epub antes de impresión]

La investigación sobre los efectos de las emisiones de radiofrecuencia de los teléfonos móviles en los sistemas biológicos se ha centrado en el ruido y las vibraciones como estresores auditivos. Este estudio investigó los posibles efectos de la exposición a la radiación del campo electromagnético, el tono de llamada y la vibración de los teléfonos móviles sobre el comportamiento similar a la ansiedad y los biomarcadores del estrés oxidativo en ratas albinas Wistar. Veinticinco ratas Wistar macho fueron divididas aleatoriamente en cinco grupos de 5 animales cada uno: grupo I: expuestos al teléfono móvil en modo apagado (control), grupo II: expuestos al teléfono móvil en modo silencioso, grupo III: expuestos al teléfono móvil en modo vibración, grupo IV: expuestos al teléfono móvil en modo tono de llamada, grupo V: expuestos al teléfono móvil en modo vibración y tono de llamada. Los animales del grupo II al V fueron expuestos a llamadas de 10 minutos (30 llamadas perdidas de 20 s cada una) por día durante 4 semanas. Se realizaron estudios neuroconductuales para evaluar la ansiedad 24 h después de la última exposición y los animales fueron sacrificados. Se recogieron muestras de cerebro para evaluación bioquímica inmediatamente. Los resultados obtenidos mostraron una disminución significativa ( $P < 0,05$ ) en la duración del brazo abierto en todos los grupos experimentales en comparación con el control.

También se observó una disminución significativa ( $P < 0,05$ ) en la actividad de la catalasa en los grupos IV y V en comparación con el grupo de control. En conclusión, los resultados del presente estudio indican que la exposición durante 4 semanas a la radiación electromagnética, la vibración, el tono de llamada o ambos produjeron un efecto significativo en el comportamiento similar a la ansiedad y el estrés oxidativo en ratas Wistar jóvenes.

(E) Shivashankara AR, Joy J, Sunitha V, Rai MP, Rao S, Nambranathayil S, Baliga MS. Efecto del uso del teléfono móvil sobre la proteína total salival, enzimas y marcadores de estrés oxidativo en adultos jóvenes: un estudio piloto. *J Clin Diagn Res*. 9(2):BC19-22, 2015.

INTRODUCCIÓN: El presente estudio tuvo como objetivo evaluar los niveles de enzimas salivales, proteínas y sistema oxidante-antioxidante en jóvenes universitarios usuarios de teléfonos celulares. MATERIALES Y MÉTODOS: Los usuarios de celulares (estudiantes) se clasificaron en dos grupos: usuarios menos móviles y usuarios de alto nivel de movilidad, según la duración y frecuencia del uso del celular.

Se analizaron muestras de saliva de los voluntarios para detectar amilasa, lactato deshidrogenasa (LDH), malondialdehído (MDA) y glutatión (GSH). RESULTADOS: Los usuarios de teléfonos móviles con frecuencia presentaron niveles significativamente más altos de amilasa ( $p = 0,001$ ), LDH ( $p = 0,002$ ) y MDA ( $p = 0,002$ ) en saliva, en comparación con los usuarios con menor frecuencia. La disminución marginal en las proteínas totales salivales, GSH y la tasa de flujo no fue estadísticamente significativa ( $p > 0,05$ ). CONCLUSIÓN: Los cambios significativos en las enzimas salivales y MDA sugieren un efecto adverso del uso elevado de teléfonos móviles en la salud celular.

---

(E) Shokri M, Shamsaei ME, Malekshah AK, Amiri FT. El efecto protector de la melatonina sobre los campos electromagnéticos de radiofrecuencia del daño testicular inducido por el teléfono móvil en un modelo experimental de ratón. *Andrologia*. 11 de octubre de 2020; e13834. doi: 10.1111/and.13834.

La radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF-EMR) de los dispositivos móviles tiene efectos indeseables en los órganos reproductores masculinos. La melatonina con potencial antioxidante puede ayudar a prevenir estos daños. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto protector de la melatonina en el daño testicular inducido por RF-EMR del teléfono móvil. En este estudio experimental, 32 ratones BALB/c machos adultos se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos: control, melatonina (2 mg/kg, durante 30 días consecutivos, intraperitonealmente), RF-EMR (900 MHz, 100 a 300 MT, 54 a 160 W/m) (4 h por día, cuerpo entero) y grupos melatonina + RF-EMR. Un día después de la última prescripción se evaluaron los parámetros de estrés oxidativo, el nivel de testosterona y los ensayos histopatológicos del testículo. La EMR del teléfono móvil provocó la inducción de estrés oxidativo, daño tisular testicular y disminución de la testosterona. El tratamiento con melatonina mejoró los parámetros de estrés oxidativo como MDA y GSH, y la puntuación de lesión testicular, aumentó el espesor del epitelio germinal y el diámetro del túbulo seminífero, y disminuyó la hormona testosterona en los ratones expuestos a EMR, y estas diferencias fueron significativas ( $p < .05$ ). Los datos mostraron que la melatonina con su propiedad antioxidante puede disminuir el daño oxidativo inducido por RF-EMR de los teléfonos móviles en el tejido testicular.

(E) SierońK, Knapik K, Onik G, Romuk E, BirknerE, KwiatekS, Sieroń A.

Los campos electromagnéticos modifican el equilibrio redox en el tracto gastrointestinal de la rata. *Front Public Health* 2021 13 de septiembre;9:710484.

Objetivo: El objetivo del estudio fue evaluar la influencia de los campos electromagnéticos con propiedades físicas divergentes en los equilibrios prooxidativo y antioxidante en homogeneizados de lengua, glándulas salivales, esófago, estómago e intestino delgado y grueso de ratas. Material y métodos: Cuarenta ratas se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos iguales, a saber, un grupo control, un grupo expuesto a campos electromagnéticos de baja frecuencia (LF-EMF; frecuencia: 50 Hz; intensidad: 10 kV/m; inducción magnética: 4,3 pT), un grupo expuesto a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) emitidos por teléfonos móviles (frecuencia: 900 MHz), y un grupo expuesto simultáneamente a LF-EMF y RF-EMF emitidos por teléfonos móviles. Después de 28 días consecutivos de experimento, se evaluaron los siguientes marcadores pro y antioxidantes en los homogeneizados del tracto gastrointestinal: superóxido dismutasa (SOD) y sus dos isoenzimas (Mn-SOD, Cu,Zn-SOD), catalasa (CAT), glutatión peroxidasa (GPx), glutatión reductasa (GR), glutatión S-transferasa (GST), capacidad antioxidante total (TAC), estado oxidativo total (TOS) y malondialdehído (MDA). Resultados: En ratas

En los animales expuestos a los CEM-LF, se observaron mayores concentraciones de los marcadores de procesos prooxidantes, MDA o TOS, en las glándulas salivales, el esófago y los homogeneizados del intestino delgado en comparación con el grupo de control. Además, en el grupo de ratas opuesto al control, se observó actividad antioxidante. Las principales diferencias incluyeron una mayor actividad de Cu,Zn-SOD en homogeneizados de la lengua, las glándulas salivales y el esófago, así como una menor actividad de CAT en homogeneizados de la lengua, el esófago y el intestino delgado. En los animales expuestos a los CEM-RF, la concentración de TOS fue mayor en el intestino grueso que en las ratas de control. La principal diferencia de la actividad antioxidante se presentó por la disminución de Cu,Zn-SOD en homogeneizados de las glándulas salivales, el estómago, el intestino delgado y grueso, así como de CAT en homogeneizados de la lengua, el esófago, el estómago y el intestino delgado y grueso. Además, en las ratas expuestas simultáneamente a los CEM-LF y a los CEM-RF, se observó una menor concentración de TOS. La actividad antioxidante se presentó por una actividad disminuida de CAT en homogeneizados de lengua, esófago, estómago e intestino delgado y grueso en comparación con el grupo control. Conclusión: Entre los aplicados en el estudio, los campos electromagnéticos de baja frecuencia causaron las alteraciones más significativas del estrés oxidativo en el tracto gastrointestinal de la rata.

---

---

---

(NE) Silva V, Hilly O, Strenov Y, Tzabari C, Hauptman Y, Feinmesser R. Efecto de la radiación electromagnética similar a la de los teléfonos celulares en las células tiroideas humanas primarias. *Int J Radiat Biol.*

21 de diciembre de 2015:1-9. [Epub antes de impresión]

Objetivo Evaluar los posibles efectos carcinógenos de la energía de radiofrecuencia (RFE) emitida por teléfonos celulares sobre células tiroideas primarias humanas. Materiales y métodos El cultivo de células tiroideas primarias se preparó a partir de tejido tiroideo normal obtenido de pacientes que se sometieron a cirugía en nuestro departamento. Las células tiroideas subconfluentes se irradiaron en diferentes condiciones dentro de una incubadora celular utilizando un dispositivo que simula la RFE del teléfono celular.

La proliferación de células de control e irradiadas se evaluó mediante tinción inmunohistoquímica del antígeno clon Kiel-67 (Ki-67) y la expresión del supresor tumoral p53 (p53). La ploidía del ADN y los biomarcadores de estrés proteína de choque térmico 70 (HSP70) y especies reactivas de oxígeno (ROS) se evaluaron mediante clasificación celular activada por fluorescencia (FACS). Resultados Nuestras células expresaron en gran medida tiroglobulina (Tg) y cotransportador de yoduro de sodio (NIS), lo que confirmó el origen del tejido.

Ninguna de las condiciones de irradiación evaluadas aquí tuvo efecto sobre el marcador de proliferación Ki-67 ni sobre la expresión de p53. La ploidía del ADN tampoco se vio afectada por la RFE, así como la expresión de los biomarcadores HSP70 y ROS. Conclusión Nuestras condiciones de exposición a la RFE parecen no tener un efecto carcinógeno potencial sobre las células tiroideas humanas. Además, los biomarcadores comunes que suelen asociarse al estrés ambiental también permanecieron inalterados. No pudimos encontrar una asociación entre la RFE por teléfono móvil y el cáncer de tiroides. Se recomiendan estudios adicionales.

(NE) Simkó M, Hartwig C, Lantow M, Lupke M, Mattsson MO, Rahman Q, Rollwitz J.

Expresión de Hsp70 y liberación de radicales libres después de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia no térmicos y partículas ultrafinas en células humanas Mono Mac 6.

Revista Toxicológica, N. (1):73-82, 2006.

El entorno urbano contemporáneo se ha vuelto cada vez más complejo en su composición, lo que ha dado lugar a debates sobre posibles efectos novedosos sobre la salud. Dos factores que recientemente han recibido considerable atención son las partículas ultrafinas (UFP; <0,1 microm) producidas por procesos de combustión y las emisiones de dispositivos de comunicación inalámbrica como los teléfonos móviles que emiten en la parte de radiofrecuencia (RF) del espectro. Varios estudios han demostrado los efectos biológicos de ambas exposiciones en varios sistemas celulares. Aquí investigamos si la exposición a UFP (12-14 nm, 100 microg/ml) y campos electromagnéticos de RF (CEM; 2 W/kg tasa de absorción específica (SAR); onda continua (CW) o modulada (217 Hz o GSM-no DTX)), solos o en combinación, influyen en los niveles del anión radical superóxido o la proteína de choque térmico de la proteína de estrés (Hsp70) en la línea celular monocítica humana Mono Mac 6. El tratamiento térmico (42-43 grados C, 1 h) se utilizó como control positivo tanto para la reacción de estrés como para el desarrollo de calor en la configuración de exposición a RF. Nuestros resultados muestran claramente que las células Mono Mac 6 son capaces de internalizar UFP, y que esta actividad fagocítica está relacionada con una mayor liberación de radicales libres. Este aumento (40-45% por encima del control negativo) es más fuerte que el efecto del tratamiento térmico. Por otro lado, ninguna de las exposiciones a RF empleadas mostró efectos sobre los niveles de radicales libres. La coexposición de RF y UFP tampoco potenció el efecto de UFP. Nuestras investigaciones mostraron un nivel de expresión de Hsp70 significativamente mayor por el tratamiento térmico de manera dependiente del tiempo, mientras que UFP, RF o UFP + RF no tuvieron ningún efecto. Por lo tanto, concluimos que en las células Mono Mac 6 investigadas, la exposición a RF sola o en combinación con UFP no puede influir en las respuestas relacionadas con el estrés.

(E) SinghKV, GautamR, MeenaR, NiralaJP, JhaSK, RajamaniP. Efecto de la radiación de los teléfonos móviles sobre el estrés oxidativo, la respuesta inflamatoria y la memoria contextual del miedo en ratas Wistar. Environ Sci Pollut Res Int 2020 Jun;27(16):19340-19351.

En el estilo de vida actual, estamos expuestos continuamente a la radiación de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) generada principalmente por los teléfonos móviles (MP). Entre otros órganos, nuestro cerebro y el hipocampo en particular, es la región donde el efecto de cualquier perturbación ambiental es más pronunciado. Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo examinar los cambios en los principales parámetros (estrés oxidativo, nivel de citocinas proinflamatorias (PIC), hormonas del eje hipotálamo-hipofisario-adrenal (HPA) y condicionamiento contextual del miedo) que están vinculados al hipocampo directa o indirectamente, tras la exposición a la radiación de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia de los teléfonos móviles (MP-RF-EMF). La exposición se realizó en ratas Wistar macho adultas jóvenes durante 16 semanas de forma continua (2 h/día) con radiación MP-RF-EMF con una frecuencia, densidad de potencia y tasa de absorción específica (SAR) de 1960,13 MHz, 4,0 respectivamente. Otro grupo de animales mantenidos en condiciones similares sin ninguna exposición a la radiación sirve como control. Hacia el final del período de exposición, los animales fueron evaluados para la memoria del miedo y luego sacrificados para medir el estrés oxidativo del hipocampo, el nivel de PIC circulatorios y las hormonas del estrés. Observamos un aumento significativo en el estrés oxidativo del hipocampo ( $p < 0,05$ ) y un nivel elevado de PIC circulatorios, a saber, IL-1beta ( $p < 0,01$ ), IL-6 ( $p < 0,05$ ) y TNF-alfa ( $p < 0,001$ ) en animales experimentales tras la exposición a la radiación MP-RF-EMF. El peso de la glándula suprarrenal ( $p < 0,001$ ) y el nivel de hormonas del estrés, a saber, la hormona adrenocorticotrópica (ACTH) ( $p < 0,01$ ) y la corticosterona (CORT) ( $p < 0,05$ ) también aumentaron significativamente en los animales expuestos a la radiación MP-RF-EMF en comparación con el control. Sin embargo, la alteración de la memoria contextual del miedo no fue lo suficientemente significativa. En conclusión, el estudio actual muestra que la exposición crónica a la radiación MP-RF-EMF emitida por los teléfonos móviles puede inducir una reacción oxidativa.

estrés, respuesta inflamatoria y desregulación del eje HPA. Sin embargo, los cambios en la funcionalidad del hipocampo dependen de la interacción compleja de varios factores opuestos que se vieron afectados por la exposición a MP-RF-EMF.

(E) Singh HP, Sharma VP, Batish DR, Kohli RK. Las radiaciones del campo electromagnético de los teléfonos celulares afectan la rizogénesis a través del deterioro de los procesos bioquímicos. *Environ Monit Assess.* 184(4):1813-1821, 2012.

La adopción y el uso indiscriminados de la tecnología de los teléfonos móviles ha aumentado enormemente los niveles de radiaciones de campos electromagnéticos (CEM) en el entorno natural. Esto ha suscitado la preocupación de los científicos con respecto a los posibles riesgos de los CEM para los organismos vivos. Sin embargo, no se ha hecho mucho para evaluar el daño causado a las plantas que están expuestas continuamente a los CEM presentes en el medio ambiente. El presente estudio investigó el mecanismo bioquímico de interferencia de los CEM de los teléfonos móviles de 900 MHz con la formación de raíces en los hipocótilos de frijol mungo (*Vigna radiata syn. Phaseolus aureus*), un sistema modelo para estudiar la rizogénesis en plantas. Los CEM de los teléfonos móviles aumentaron las actividades de las proteasas (entre 1,52 y 2,33 veces), las polifenoloxidasas (entre 1,5 y 4,3 veces) y las peroxidasas (entre 1,5 y 2,0 veces) en los hipocótilos de frijol mungo en comparación con el control. Además, los EMFr aumentaron el contenido de malondialdehído (un indicador de peroxidación lipídica), peróxido de hidrógeno y prolina, lo que indica un daño oxidativo mediado por especies reactivas de oxígeno en los hipocótilos. Esto se confirmó mediante la regulación positiva de las actividades de las enzimas antioxidantes (superóxido dismutasa, ascorbato peroxidasa, guayacol peroxidasa, catalasa y glutatión reductasa), lo que sugiere su posible papel en la protección contra el daño oxidativo inducido por EMFr. El estudio concluyó que las radiaciones de los teléfonos celulares afectan el proceso de rizogénesis a través de alteraciones bioquímicas que se manifiestan como daño oxidativo que resulta en deterioro de las raíces.

---

---

---

(E) Singh KV, Gautam R, Meena R, Nirala JP, Jha SK, Rajamani P. Efecto de la radiación de los teléfonos móviles sobre el estrés oxidativo, la respuesta inflamatoria y la memoria contextual del miedo en ratas Wistar. *Environ Sci Pollut Res Int.* 24 de marzo de 2020. doi: 10.1007/s11356-020-07916-z.

En el estilo de vida actual, estamos expuestos continuamente a la radiación de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) generados principalmente por los teléfonos móviles (MP). Entre otros órganos, nuestro cerebro y el hipocampo en particular, es la región donde se produce el efecto de cualquier radiación electromagnética. La perturbación ambiental es más pronunciada. Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo examinar los cambios en los principales parámetros (estrés oxidativo, nivel de citocinas proinflamatorias (PIC), hormonas del eje hipotálamo-hipofisario-adrenal (HPA) y condicionamiento del miedo contextual) que están vinculados al hipocampo directa o indirectamente, tras la exposición a la radiación del campo electromagnético de radiofrecuencia de teléfonos móviles (MP-RF-EMF). La exposición se realizó en ratas Wistar macho adultas jóvenes durante 16 semanas de forma continua (2 h/día) con radiación MP-RF-EMF con una frecuencia, densidad de potencia y tasa de absorción específica (SAR) de 1966,1 MHz, 4,0 mW/cm<sup>2</sup> y 0,36 W/kg, respectivamente. Otro grupo de animales mantenidos en condiciones similares sin ninguna exposición a la radiación sirve como control.

Hacia el final del período de exposición, se evaluó la memoria del miedo de los animales y luego se los sacrificó para medir el estrés oxidativo del hipocampo, el nivel de PIC circulatorios y el estrés.

Hormonas. Observamos un aumento significativo del estrés oxidativo del hipocampo ( $p < 0,05$ ) y un nivel elevado de PIC circulantes, a saber, IL-1beta ( $p < 0,01$ ), IL-6 ( $p < 0,05$ ) y TNF-alfa ( $p < 0,001$ ) en animales experimentales tras la exposición a la radiación MP-RF-EMF.

También se encontró que el peso de la glándula suprarrenal ( $p < 0,001$ ) y el nivel de hormonas del estrés, a saber, la hormona adrenocorticotrópica (ACTH) ( $p < 0,01$ ) y la corticosterona (CORT) ( $p < 0,05$ ) aumentaron significativamente en los animales expuestos a la radiación MP-RF-EMF en comparación con el control. Sin embargo, la alteración en la memoria contextual del miedo no fue lo suficientemente significativa. En conclusión, el estudio actual muestra que la exposición crónica a la radiación MP-RF-EMF emitida por los teléfonos móviles puede inducir estrés oxidativo, respuesta inflamatoria y desregulación del eje HPA. Sin embargo, los cambios en la funcionalidad del hipocampo dependen de la interacción compleja de varios factores opuestos que se vieron afectados por la exposición a MP-RF-EMF.

Sisakht M, Darabian M, Mahmoodzadeh A, Bazi A, Shafiee SM, Mokarram P, Khoshdel Z. El papel del estrés oxidativo inducido por la radiación como regulador de las respuestas radioadaptativas. *Int J Radiat Biol.* 24 de enero de 2020:1-40. (revisión)

Objetivo: Varias fuentes de radiación, incluidas la radiofrecuencia, la radiación electromagnética (REM), la radiación X de baja dosis, la radiación de microondas de bajo nivel y la radiación ionizante (IR) son partes indispensables de la vida moderna. En la presente revisión, analizamos las respuestas adaptativas de los sistemas biológicos a la radiación, con especial atención a los impactos del estrés oxidativo inducido por radiación (RIOS) y sus vías de señalización molecular descendentes. Materiales y métodos: Se realizó una búsqueda exhaustiva en Web of Sciences, PubMed, Scopus, Google Scholar, Embase y Cochrane Library. Las palabras clave incluyeron los términos Mesh "radiación", "radiación electromagnética", "inmunidad adaptativa", "estrés oxidativo" y "puntos de control inmunológico".

Se incluyeron manuscritos publicados hasta diciembre de 2019. Resultados: RIOS induce varios adaptadores moleculares relacionados con respuestas adaptativas en células expuestas a radiación. Uno de estos adaptadores incluye p53, que promueve varias vías de señalización celular. RIOS también activa la vía apoptótica intrínseca mediante la despolarización del potencial de membrana mitocondrial y la activación de la cascada apoptótica de las caspasas.

RIOS también está involucrado en respuestas proliferativas inducidas por radiación a través de la interacción con las proteínas quinasas activadas por mitógenos (MAPks), incluyendo p38 MAPK, ERK y c-Jun N-terminal kinase (JNK). También se ha informado que la vía de señalización de la proteína quinasa B (Akt)/fosfoinosítido 3-quinasa (PI3K) está involucrada en las respuestas proliferativas inducidas por RIOS. Además, RIOS promueve la inestabilidad genética al introducir alteraciones estructurales y epigenéticas del ADN, así como atenuar los mecanismos de reparación del ADN. Los factores de transcripción inflamatorios, incluyendo el factor inhibidor de la migración de macrófagos (MIF), el factor nuclear  $\kappa$ B (NF- $\kappa$ B) y el transductor de señales y activador de la transcripción-3 (STAT-3), juegan un papel importante en la inflamación inducida por RIOS.

Conclusión: En conclusión, el RIOS contribuye considerablemente a las respuestas adaptativas inducidas por la radiación. Otros posibles adaptadores moleculares que modulan las respuestas inducidas por el RIOS aún deben ser revelados en futuros estudios.

(E) Sokolovic D, Djindjic B, Nikolic J, Bjelakovic G, Pavlovic D, Kocic G, Krstic D, Cvetkovic T, Pavlovic V. La melatonina reduce el estrés oxidativo inducido por la

Exposición a la radiación de microondas de los teléfonos móviles en el cerebro de ratas. J Radiat Res (Tokio). 49(6):579-586, 2008.

**OBJETIVO:** El objetivo del estudio fue evaluar la intensidad del estrés oxidativo en el cerebro de animales expuestos crónicamente a teléfonos móviles y los posibles efectos protectores de la melatonina en la reducción del estrés oxidativo y la lesión cerebral. **MATERIALES Y MÉTODOS:** Los experimentos se realizaron en ratas Wistar expuestas a radiación de microondas durante 20, 40 y 60 días. Se formaron cuatro grupos: grupo I (control): animales tratados con solución salina, intraperitoneal (ip) aplicada diariamente durante el seguimiento, grupo II (Mel): ratas tratadas diariamente con melatonina (2 mg/kg (-1) de peso corporal ip), grupo III (MWs): ratas expuestas a microondas, grupo IV (MWs + Mel): ratas expuestas a MWs tratadas con melatonina (2 mg/kg (-1) de peso corporal ip). La radiación de microondas fue producida por un teléfono móvil de prueba (SAR = 0,043-0,135 W / kg). **RESULTADOS:** Se registró un aumento significativo en la concentración de malondialdehído (MDA) y de grupos carbonilo en el tejido cerebral durante la exposición. La disminución de la actividad de la catalasa (CAT) y el aumento de la actividad de la xantina oxidasa (XO) se mantuvieron después de 40 y 60 días de exposición a los teléfonos móviles. El tratamiento con melatonina previno significativamente el aumento del contenido de MDA y de la actividad de XO en el tejido cerebral después de 40 días de exposición, mientras que no pudo prevenir la disminución de la actividad de CAT y el aumento del contenido de grupos carbonilo. **CONCLUSIÓN:** Demostramos dos hallazgos importantes; que los teléfonos móviles causaron daño oxidativo bioquímicamente al aumentar los niveles de MDA, grupos carbonilo, actividad de XO y disminuir la actividad de CAT; y que el tratamiento con melatonina previno significativamente el daño oxidativo en el cerebro.

---

---

---

(E) Sokolovic D, Djordjevic B, Kocic G, Stoimenov TJ, Stanojkovic Z, Sokolovic DM, et al. Los efectos de la melatonina sobre los parámetros de estrés oxidativo y la fragmentación del ADN en el tejido testicular de ratas expuestas a la radiación de microondas. Adv Clin Exp Med. 24(3):429-436, 2015.

**ANTECEDENTES:** Las microondas de los teléfonos móviles son uno de los tóxicos ambientales que pueden comprometer la fertilidad masculina al inducir estrés oxidativo y apoptosis en los testículos. La melatonina es una amina indólica de triptófano lipofílica y un potente antioxidante. **OBJETIVOS:** El objetivo del estudio fue evaluar el efecto del tratamiento con melatonina sobre los parámetros de estrés oxidativo y la fragmentación del ADN en el tejido testicular de ratas expuestas a la radiación de microondas (4 h/día). **MATERIAL Y MÉTODOS:** Las ratas Wistar adultas se dividieron en 4 grupos: I - tratadas con solución salina; II - tratadas con melatonina; III - expuestas a microondas; IV - expuestas a microondas y tratadas con melatonina.

La melatonina (2 mg/kg ip) se administró diariamente. Los animales fueron sacrificados después de 20, 40 y 60 días. **RESULTADOS:** El tratamiento con melatonina evitó los aumentos previamente registrados en malondialdehído después de sólo 20 días. Además, revirtió los efectos de la exposición a microondas sobre la xantina oxidasa (después de 40 días) y la actividad de la ADNasa ácida (después de 20 días). Sin embargo, ni el contenido de carbonilo proteico ni la actividad de la catalasa y la ADNasa alcalina se modificaron debido al tratamiento con melatonina. **CONCLUSIONES:** La melatonina ejerce potentes efectos antioxidantes en los testículos de ratas expuestas a microondas al disminuir la intensidad del estrés oxidativo; también reduce la fragmentación del ADN.

(cáncer) (E) Sun Y, Zong L, Gao Z, Zhu S, Tong J, Cao Y. Daño del ADN mitocondrial y daño oxidativo en células HL-60 expuestas a campos de radiofrecuencia de 900 MHz. *Mutat Res.* 797-799:7-14, 2017.

Las células HL-60, derivadas de leucemia promielocítica humana, fueron expuestas a campos de radiofrecuencia (RF) de onda continua de 900 MHz a una intensidad de potencia de 120  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  durante 4 h/día durante 5 días consecutivos para examinar si dicha exposición es capaz de dañar el ADN mitocondrial (ADNmt) mediado por la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS). Además, se examinó el efecto de la exposición a RF sobre el 8-hidroxi-2'-dexoiguanosina (8-OHdG), que es un biomarcador del daño oxidativo y de la síntesis mitocondrial de trifosfato de adenosina (ATP), que es la energía necesaria para las funciones celulares. Los resultados indicaron un aumento significativo de ROS y una disminución significativa del factor de transcripción mitocondrial A, la polimerasa gamma del ADNmt, las transcripciones del ADNmt y el número de copias del ADNmt en las células expuestas a RF en comparación con las células de control expuestas al placebo. Además, hubo un aumento significativo de 8-OHdG y una disminución significativa del ATP en las células expuestas a RF. La respuesta en las células de control positivo expuestas a la radiación gamma (GR, que también se sabe que induce ROS) fue similar a la de las células expuestas a RF. Por lo tanto, los datos generales indicaron que la exposición a RF fue capaz de inducir daño al ADNmt mediado a través de la vía ROS, que también indujo daño oxidativo. El tratamiento previo de las células expuestas a RF y GR con melatonina, un conocido eliminador de radicales libres, revirtió los efectos observados en las células expuestas a RF.

(E) Tkalec M, Malaric K, Pevalek-Kozlina B. Influencia de los campos electromagnéticos de 400, 900 y 1900 MHz en el crecimiento de *Lemna minor* y la actividad de la peroxidasa. *Bioelectromagnetism.* 26(3):185-193, 2005.

El aumento del uso de frecuencias de radio y microondas requiere investigaciones de sus efectos sobre los organismos vivos. La lenteja de agua (*Lemna minor* L.) se ha utilizado comúnmente como planta modelo para el monitoreo ambiental. En el presente estudio, se evaluó el crecimiento de la lenteja de agua y la actividad de la peroxidasa después de la exposición en una celda electromagnética transversal de gigahercios (GTEM) a campos eléctricos de frecuencias de 400, 900 y 1900 MHz. El crecimiento de las plantas expuestas durante 2 h al campo eléctrico de 23 V/m de 900 MHz disminuyó significativamente en comparación con el control, mientras que un campo eléctrico de la misma intensidad pero a 400 MHz no tuvo tal efecto. Un campo modulado a 900 MHz inhibió fuertemente el crecimiento, mientras que a 400 MHz la modulación no influyó significativamente en el crecimiento. En ambas frecuencias, una exposición más prolongada disminuyó principalmente el crecimiento y el campo eléctrico más alto (390 V/m) inhibió fuertemente el crecimiento. La exposición de las plantas a una intensidad de campo menor (10 V/m) durante 14 h provocó una disminución significativa a 400 y 1900 MHz, mientras que 900 MHz no influyó en el crecimiento. La actividad de la peroxidasa en las plantas expuestas varió, dependiendo de las características de la exposición. Los cambios observados fueron en su mayoría pequeños, excepto en las plantas expuestas durante 2 h a 41 V/m a 900 MHz, donde se encontró un aumento significativo (41%). Nuestros resultados sugieren que los campos electromagnéticos (CEM) investigados podrían influir en el crecimiento de las plantas y, en cierta medida, en la actividad de la peroxidasa. Sin embargo, los efectos de los CEM dependían en gran medida de las características de la exposición al campo

(E) Tkalec M, Malarić K, Pevalek-Kozlina B. La exposición a la radiación de radiofrecuencia induce estrés oxidativo en la lenteja de agua *Lemna minor* L. *Sci Total Environ.* 388(1-3):78-89, 2007.

El uso generalizado de dispositivos emisores de radiación de radiofrecuencia aumentó la exposición a campos electromagnéticos (CEM) de 300 MHz a 300 GHz. Hasta ahora se han documentado diversos efectos biológicos de la exposición a estos campos, pero se han realizado muy pocos trabajos en plantas. El objetivo del presente trabajo fue investigar las respuestas fisiológicas de la planta *Lemna minor* después de la exposición a CEM de radiofrecuencia y, en particular, aclarar el posible papel del estrés oxidativo en los efectos observados.

La lenteja de agua se expuso durante 2 h a campos electromagnéticos de 400 y 900 MHz con intensidades de campo de 10, 23, 41 y 120 V m<sup>-1</sup>. También se investigó el efecto de un tiempo de exposición más prolongado (4 h) y la modulación. Después de la exposición, se evaluaron los parámetros de estrés oxidativo, como la peroxidación lipídica, el contenido de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, las actividades y el patrón de isoenzimas de las enzimas antioxidantes, así como la expresión de HSP70. A 400 MHz, la peroxidación lipídica y el contenido de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mejoraron significativamente en la lenteja de agua expuesta a campos electromagnéticos de 23 y 120 V m<sup>-1</sup>, mientras que otros tratamientos de exposición no tuvieron efecto. En comparación con los controles, las actividades de las enzimas antioxidantes mostraron un comportamiento diferente: la actividad de la catalasa (CAT) aumentó después de la mayoría de los tratamientos de exposición, mientras que las actividades del pirogalol (PPX) y la ascorbato peroxidasa (APX) no cambiaron. Las excepciones fueron una actividad reducida de PPX y APX después de una exposición más prolongada a 23 V m<sup>-1</sup> y una actividad aumentada de PPX después de exposiciones a 10 y 120 V m<sup>-1</sup>. Por el contrario, a 900 MHz casi todos los tratamientos de exposición aumentaron significativamente el nivel de peroxidación lipídica y el contenido de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, pero en su mayoría disminuyeron la actividad de PPX y no afectaron la actividad de CAT. Las excepciones fueron las exposiciones a un campo modulado y al campo de 120 V m<sup>-1</sup>, que aumentaron la actividad de PPX y CAT. A esta frecuencia, la actividad de APX disminuyó significativamente después de la exposición a 10 V m<sup>-1</sup> y una exposición más prolongada a 23 V m<sup>-1</sup>, pero aumentó después de una exposición más corta a 23 V m<sup>-1</sup>. En ambas frecuencias, no se encontraron diferencias en los patrones de isoenzimas de las enzimas antioxidantes o el nivel de HSP70 entre las plantas de control y las expuestas. Nuestros resultados mostraron que la exposición no térmica a los campos de radiofrecuencia investigados indujo estrés oxidativo en la lenteja de agua, así como respuestas de estrés inespecíficas, especialmente de las enzimas antioxidantes. Sin embargo, los efectos observados dependieron marcadamente de las frecuencias de campo aplicadas, así como de otros parámetros de exposición (intensidad, modulación y tiempo de exposición). La peroxidación lipídica mejorada y el contenido de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> acompañados por una actividad reducida de las enzimas antioxidantes causados por la exposición a los campos electromagnéticos investigados, especialmente a 900 MHz, indican que el estrés oxidativo podría deberse en parte a actividades modificadas de las enzimas antioxidantes.

(E) \*Tkalec M, Stambuk A, Srut M, Malarić K, Klobučar GI. Efectos oxidativos y genotóxicos de los campos electromagnéticos de 900 MHz en la lombriz de tierra *Eisenia fetida*. *Ecotoxicol Environ Saf.* 90:7-12, 2013. (WS) (LI)

La evidencia acumulada sugiere que la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) puede tener varios efectos biológicos. En este estudio se investigaron los efectos oxidativos y genotóxicos en lombrices de tierra *Eisenia fetida* expuestas in vivo a RF-EMF en la frecuencia del teléfono móvil (900 MHz). Las lombrices de tierra fueron expuestas a RF-EMF homogéneas en niveles de campo de 10, 23, 41 y 120 V m<sup>-1</sup> durante un período de 2 h utilizando un Gigahertz Transversal

Celda electromagnética (GTEM). A nivel de campo de 23 V m(-1), también se investigó el efecto de una exposición más prolongada (4 h) y de una modulación de campo (80 % AM 1 kHz sinusoidal). Todos los tratamientos de exposición indujeron un efecto genotóxico significativo en los celomocitos de lombrices de tierra detectados mediante el ensayo Comet, lo que demuestra la capacidad de la radiación electromagnética de 900 MHz para dañar el ADN. La modulación del campo aumentó adicionalmente el efecto genotóxico. Además, nuestros resultados indicaron la inducción de la respuesta al estrés antioxidante en términos de una actividad mejorada de la catalasa y la glutatión reductasa como resultado de la exposición a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia, y demostraron la generación de daño oxidativo de lípidos y proteínas. Las respuestas antioxidantes y el potencial de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia para inducir daño a los lípidos, las proteínas y el ADN diferían según el nivel de campo aplicado, la modulación del campo y la duración de la exposición de E. fetida a la radiación electromagnética de 900 MHz. Se discute la naturaleza de las lesiones del ADN detectadas y el estrés oxidativo como mecanismo de acción para la inducción del daño del ADN.

(E) \*Tök L, Nazıroğlu M, Doğan S, Kahya MC, Tök O. Efectos de la melatonina en el estrés oxidativo inducido por Wi-Fi en el cristalino de ratas. *Indian J Ophthalmol.* 62(1):12-15, 2014. doi: 10.4103/0301-4738.126166.

Introducción: La melatonina ha sido considerada un potente antioxidante que desintoxica una variedad de especies reactivas de oxígeno en muchos estados fisiopatológicos del ojo. El presente estudio fue diseñado para determinar los efectos de la exposición a Wi-Fi en el oxidante del cristalino, los sistemas antioxidantes redox, así como los posibles efectos protectores de la melatonina en la lesión del cristalino inducida por la radiación electromagnética (REM). Materiales y métodos: Se utilizaron treinta y dos ratas en el estudio actual y se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos iguales de la siguiente manera: el primer y el segundo grupo fueron ratas de control de jaula y ratas de control simulado. Las ratas del tercer grupo fueron expuestas a Wi-Fi (2,45 GHz) durante 60 min/día durante 30 días. Al igual que en el tercer grupo, el cuarto grupo fue tratado con melatonina. La exposición de una hora a la irradiación en el segundo, tercer y cuarto grupo tuvo lugar al mediodía de cada día. Resultados: Los niveles de peroxidación lipídica en el cristalino fueron ligeramente más altos en el tercer grupo (Wi-Fi) que en los grupos de jaula y control simulado, aunque sus concentraciones disminuyeron significativamente ( $P < 0,05$ ) con la suplementación de melatonina. La actividad de la glutatión peroxidasa (GSH-Px) fue significativamente ( $P < 0,05$ ) menor en el grupo Wi-Fi que en los grupos de jaula y control simulado, aunque los valores de GSH-Px ( $P < 0,01$ ) y glutatión reducido ( $P < 0,05$ ) fueron significativamente mayores en el grupo Wi-Fi + melatonina que en el grupo Wi-Fi. Conclusiones: La exposición a Wi-Fi durante una hora en el cristalino de los animales no produce efectos tóxicos oxidativos. Sin embargo, la suplementación con melatonina en el cristalino parece tener efectos protectores sobre el sistema oxidante mediante la modulación de la actividad de GSH-Px.

(E) Tomruk A, Guler G, Dincel AS. Influencia de señales de tipo GSM de 1800 MHz en el daño oxidativo hepático del ADN y los lípidos en conejas no preñadas, preñadas y recién nacidas. *Cell Biochem Biophys.* 56(1):39-47, 2010.

El objetivo de nuestro estudio es evaluar los posibles efectos biológicos de la exposición de cuerpo entero a la radiación de radiofrecuencia (RF) de 1800 MHz similar a GSM sobre el daño oxidativo del ADN hepático y los niveles de peroxidación lipídica en conejas blancas de Nueva Zelanda no preñadas, preñadas y en sus recién nacidos. Se utilizaron dieciocho conejas no preñadas y preñadas y se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos que estaban compuestos por nueve conejas: (i) Grupo I (control no preñado), (ii) Grupo II (no preñadas expuestas a RF), (iii) Grupo III (control preñado), (iv)

Grupo IV (embarazadas expuestas a RF). Las crías de las conejas embarazadas también se dividieron en dos grupos: (v) Grupo V (recién nacidos del Grupo III) y (vi) Grupo VI (recién nacidos del Grupo III). Se aplicó exposición corporal total a radiación RF de tipo GSM de 1800 MHz (15 min/día durante una semana) al Grupo II y al Grupo IV. No se encontraron diferencias significativas en los niveles hepáticos de 8 OHdG/10(6) dG de los grupos de exposición (Grupo II y Grupo IV) en comparación con los controles (Grupo I y Grupo III). Sin embargo, en el Grupo II y el Grupo IV los niveles de malondialdehído (MDA) y oxidación ferrosa en naranja de xilenol (FOX) aumentaron en comparación con el Grupo I ( $P < 0,05$ , Mann-Whitney). No se encontraron diferencias significativas en el tejido hepático de los niveles de 8 OHdG/10(6) dG y MDA entre el Grupo VI y el Grupo V ( $P > 0,05$ , Mann-Whitney), mientras que los niveles de FOX en el hígado aumentaron significativamente en el Grupo VI con respecto al Grupo V ( $P < 0,05$ , Mann-Whitney). En consecuencia, la exposición de todo el cuerpo a la radiación de RF de tipo GSM de 1800 MHz puede provocar una destrucción oxidativa, lo que es un indicador de las reacciones posteriores que se producen para formar toxicidad por oxígeno en los tejidos.

(E) Topal Z, Hanci H, Mercantepe T, Erol HS, Keleş ON, Kaya H, Mungan S, Odaci E. Efectos de la exposición prenatal prolongada a un campo electromagnético de 900 MHz en el hígado de ratas macho recién nacidas de 21 días. Turk J Med Sci. 45(2):291-297, 2015.

ANTECEDENTES/OBJETIVO: Determinar qué efecto tendría un campo electromagnético (CEM) de 900 MHz aplicado en el período prenatal sobre el hígado en el período posnatal. MATERIALES Y MÉTODOS: Al inicio del estudio, ratas adultas preñadas se dividieron en dos grupos, control y experimental. El grupo experimental fue expuesto a un CEM de 900 MHz durante 1 h al día durante los días 13 a 21 de gestación. Después del nacimiento, no se realizó ningún procedimiento ni en las madres ni en las crías. Las crías de rata macho ( $n = 6$ ) de las madres del grupo control (CGMR) y las crías de rata macho ( $n = 6$ ) de las madres del grupo experimental (EGMR) fueron sacrificadas el día 21 posnatal. RESULTADOS: Los análisis bioquímicos mostraron que los valores de malondialdehído y superóxido dismutasa aumentaron y los niveles de glutatión disminuyeron en las crías EGMR. En el examen microscópico óptico de secciones de EGMR teñidas con hematoxilina y eosina se observó una marcada degeneración hidrópica del parénquima, particularmente en las regiones pericentrales. Los exámenes bajo microscopio electrónico de transmisión revelaron vacuolización en las mitocondrias, expansión en el retículo endoplásmico y hepatocitos necróticos. CONCLUSIÓN: Los resultados del estudio muestran que un EMF de 900 MHz aplicado en el período prenatal provocó estrés oxidativo y alteraciones patológicas en el hígado en el período postnatal.

(E) Tsoy A, Saliev T, Abzhanova E, Turgambayeva A, Kaiyrylkyzy A, Akishev M, Saparbayev S, Umbayev B, Askarova S. Los efectos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia de los teléfonos móviles sobre el estrés oxidativo inducido por  $\beta$ -amiloide en astrocitos primarios humanos y de rata. Neurociencia. 408:46-57, 2019.

El péptido beta amiloide ( $A\beta$ ) está implicado en el desarrollo de reacciones patológicas asociadas con la enfermedad de Alzheimer (EA), como el estrés oxidativo, la neuroinflamación y la muerte de las células cerebrales. Los enfoques farmacológicos actuales para tratar la EA no son capaces de controlar la deposición de  $A\beta$  y la supresión de la respuesta celular inducida por  $A\beta$ . Cada vez hay más pruebas de que la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) provoca una disminución de la deposición de beta-amiloide en los cerebros y proporciona beneficios cognitivos a los ratones Tg con Alzheimer.

En este trabajo, investigamos los efectos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia de los teléfonos móviles de 918 MHz.

sobre la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS), el potencial de membrana mitocondrial (MMP), la actividad de la NADPH-oxidasa y la fosforilación de las quinasas p38MAPK y ERK1/2 en astrocitos primarios humanos y de rata en presencia de A $\beta$ 42 y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Nuestros datos demuestran que el EMF es capaz de reducir las ROS celulares inducidas por A $\beta$ 42 y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, anular la producción inducida por A $\beta$  de ROS mitocondriales y la co-localización entre las subunidades citosólica (p47-phox) y de membrana (gp91-phox) de la NADPH oxidasa, mientras que aumenta el MMP e inhibe la fosforilación inducida por H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de p38MAPK y ERK1/2 en astrocitos primarios. Sin embargo, el EMF no fue capaz de modular las alteraciones en el estado de fosforilación de las MAPK desencadenadas por A $\beta$ 42. Nuestros hallazgos proporcionan una perspectiva de los mecanismos de las respuestas celulares y moleculares de los astrocitos a la exposición a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia e indican el potencial terapéutico de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia para el tratamiento de la enfermedad de Alzheimer.

(E) Tsoy A, Saliev T, Abzhanova E, Turgambayeva A, Kaiyrykyzy A, Akishev M, Tumkaya L, Yilmaz A, Akyildiz K, Mercantepe T, Yazici ZA, Yilmaz H.

Efectos prenatales de un campo electromagnético de 1.800 MHz en hígados de ratas. Células, tejidos y órganos. 4 de diciembre de 2019:1-9.

El uso de dispositivos, incluidos los teléfonos móviles, que generan campos electromagnéticos (CEM) está muy extendido y aumenta progresivamente. También se ha demostrado que los CEM pueden tener efectos perjudiciales. Este es el primer estudio que investiga los efectos bioquímicos e histológicos posnatales de la exposición prenatal de hígados de ratas a CEM de 1.800 MHz en diferentes intervalos de tiempo en la vida uteroplacentaria. Los 3 grupos de ratas con CEM estuvieron expuestos a CEM de 1.800 MHz durante 6, 12 o 24 horas diarias durante 20 días. Las ratas no expuestas sirvieron como grupo de control. Todas las ratas fueron sometidas a anestesia y, el día 60 posnatal, se extirparon los hígados y se extrajo sangre para análisis histológicos y bioquímicos. Los niveles de malondialdehído fueron significativamente más altos en los grupos expuestos que en los controles no expuestos ( $p < 0,05$ ). Por el contrario, los grupos expuestos a CEM tuvieron niveles de glutatión en el tejido hepático más bajos que los controles ( $p < 0,05$ ). Los niveles séricos de Ca<sup>2+</sup>, alanina transaminasa y aspartato aminotransferasa fueron más altos en los grupos expuestos a EMF que en los controles ( $p < 0,05$ ). Además, los niveles de estado oxidante total del tejido hepático aumentaron ( $p < 0,05$ ) y los niveles de estado antioxidante total del tejido hepático disminuyeron ( $p < 0,05$ ) en comparación con el grupo control. Además, en los grupos expuestos a EMF, se observó una vacuolización y degeneración extensas de los hepatocitos en el área portal, así como de los que rodean los sinusoides. Los hepatocitos afectados tenían núcleos de forma poligonal y citoplasma vacuólico que impartían tinción eosinofílica.

Se observó una pérdida importante de la integridad de la membrana celular y de las invaginaciones, así como de los núcleos picnóticos. Este estudio ha demostrado que el daño hepático intrauterino causado por la exposición a campos electromagnéticos de 1.800 MHz persiste hasta la pubertad en ratas.

(E) Tsybulin O, Sidorik E, Kyrylenko S, Henshel D, Yakymenko I. La radiación de microondas GSM de 900 MHz afecta el desarrollo embrionario de las codornices japonesas. Electromagn Biol Med. 2012 Mar;31(1):75-86.

Durante las últimas décadas se ha revelado una amplia gama de efectos biológicos no térmicos de la radiación de microondas (MW). Varios informes han mostrado efectos nocivos evidentes de la MW en

Desarrollo embrionario en pollos. En este estudio, nos propusimos dilucidar los efectos de la radiación de microondas emitida por un modelo comercial de teléfono celular GSM de 900 MHz sobre el desarrollo embrionario en codornices (*Coturnix coturnix japonica*) durante exposiciones cortas y prolongadas. Para ello, se irradiaron huevos fertilizados frescos durante las primeras 38 h o 14 días de incubación mediante un teléfono celular en modo "conexión" activado continuamente a través de un sistema informático. La intensidad máxima de radiación incidente sobre la superficie del huevo fue de  $0,2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . La irradiación produjo un aumento significativo ( $p < 0,001$ ) en el número de somitas diferenciados en embriones expuestos durante 38 horas y un aumento significativo ( $p < 0,05$ ) en la supervivencia total de embriones de huevos expuestos después de 14 días de exposición. Planteamos la hipótesis de que el efecto facilitador observado se debía a la mejora del metabolismo en los embriones expuestos provocada por mecanismos de peroxidación. De hecho, el nivel de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBA) fue significativamente mayor ( $p < 0,05-0,001$ ) en los cerebros y los hígados de las crías de embriones expuestos. Por lo tanto, los efectos observados de la radiación de los teléfonos móviles comerciales GSM de 900 MHz en los embriones de codorniz en desarrollo indican la posibilidad de un impacto no térmico del MW en la embriogénesis. Sugerimos que el efecto facilitador de las dosis bajas de irradiación en el desarrollo del embrión puede explicarse por un efecto de hormesis inducido por especies reactivas de oxígeno (ROS). Es necesario realizar estudios futuros para aclarar esta suposición.

(E) Türedi S, Hancı H, Topal Z, Unal D, Mercantepe T, Bozkurt I, Kaya H, Odacı E.

Los efectos de la exposición prenatal a un campo electromagnético de 900 MHz en el corazón de una rata macho de 21 días de edad. *Electromagn Biol Med.* 28 de agosto de 2014:1-8. [Epub antes de la impresión]

Resumen La creciente difusión del uso de teléfonos móviles está generando preocupación sobre el efecto en la salud humana del campo electromagnético (CEM) que emiten estos dispositivos. El propósito de este estudio fue investigar los efectos en el tejido cardíaco de crías de rata de la exposición prenatal a un CEM de 900 megahercios (MHz). Para este propósito, ratas preñadas se dividieron en grupos experimentales y de control. Las ratas del grupo experimental fueron expuestas a un CEM de 900 MHz (1 h/d) en los días 13-21 de embarazo. Se realizaron mediciones con ratas dentro de la caja de exposición para determinar la distribución de la intensidad del CEM. Nuestras mediciones mostraron que las ratas preñadas del grupo experimental estuvieron expuestas a una intensidad media de campo eléctrico de  $13,77 \text{ V/m}$  dentro de la caja ( $0,50 \text{ W/m}^2$ ). Este estudio continuó con crías de rata macho obtenidas de ambos grupos.

Las crías fueron sacrificadas el día 21 postnatal y se extrajeron los tejidos del corazón.

Los valores de malondialdehído, superóxido dismutasa y catalasa fueron significativamente más altos en las ratas del grupo experimental, mientras que los valores de glutatión fueron más bajos. La microscopía óptica reveló irregularidades en las fibras musculares cardíacas y cambios apoptóticos en el grupo experimental. La microscopía electrónica reveló pérdida de crestas e hinchazón en las mitocondrias, degeneración en las miofibrillas y alteraciones estructurales en las bandas Z. Los resultados de nuestro estudio sugieren que la exposición a los campos electromagnéticos en el período prenatal causa estrés oxidativo y cambios histopatológicos en el tejido cardíaco de las crías de ratas macho.

(E) Türedi S, Kerimoğlu G, Mercantepe T, Odacı E. Cambios bioquímicos y patológicos en el riñón y la vejiga de ratas macho tras la exposición a un campo electromagnético continuo de 900 MHz en los días 22-59 posnatales. *Int J Radiat Biol.* 93(9):990-999, 2017.

**OBJETIVO:** Investigar el efecto sobre los tejidos de riñón y vejiga de ratas macho de la exposición a un campo electromagnético (CEM) de 900 megahercios (MHz) aplicado en los días postnatales 22-59, inclusive.

**MATERIALES Y MÉTODOS:** Se utilizaron veinticuatro ratas Sprague Dawley macho, de 21 días de edad. Estas se dividieron equitativamente en uno de tres grupos, control (CG), simulación (SG) o CEM (CEMG). CG no fue expuesto a ningún procedimiento. Las ratas SG se mantuvieron dentro de una jaula, sin ser expuestas al efecto de CEM, durante 1 ha día en los días postnatales 22-59, inclusive. Las ratas EMFG fueron expuestas a CEM continuos de 900 MHz durante 1 ha día en las mismas condiciones que las ratas SG. Las ratas fueron sacrificadas en el día postnatal 60, y se les extrajeron los tejidos de riñón y vejiga. Los tejidos se tiñeron con hematoxilina y eosina (H&E) y tricómico de Masson para la evaluación histomorfológica. El método TUNEL se utilizó para evaluar la apoptosis. También se utilizó microscopía electrónica de transmisión (TEM) para el tejido renal. Los parámetros oxidantes/antioxidantes se estudiaron en términos de valores bioquímicos. **RESULTADOS:** Los hallazgos mostraron que el malondialdehído tisular aumentó en EMFG en comparación con CG y SG tanto en el riñón ( $p = 0,004$  y  $p = 0,004$ , respectivamente) como en el tejido de la vejiga ( $p = 0,004$ ,  $p = 0,006$ , respectivamente), mientras que los niveles de catalasa y glutatión disminuyeron en comparación con CG ( $p = 0,004$ ;  $p = 0,004$ , respectivamente) y SG ( $p = 0,004$ ;  $p = 0,004$ , respectivamente). En el grupo EMF, se observaron patologías como dilatación y vacuolización en los túbulos distales y proximales, degeneración en glomérulos y aumento de células con tendencia a la apoptosis en el tejido renal. En el tejido vesical, se observó degeneración en el epitelio transicional e irregularidad estromal y aumento de células con tendencia a la apoptosis en EMFG. Además, las muestras de EMFG exhibieron degeneración capilar glomerular con membranas basales capilares bajo TEM.

**CONCLUSIONES:** Concluimos que la exposición continua al efecto de 900-MHz durante 1 ha por día en los días postnatales 22 a 59 inclusive provoca un aumento del estrés oxidativo y diversos cambios patológicos en los tejidos de los riñones y la vejiga de ratas macho.

(E) Türker Y, Nazıroğlu M, Gümral N, Celik O, Saygın M, Cömlekçi S, Flores-Arce M.

El selenio y la L-carnitina reducen el estrés oxidativo en el corazón de la rata inducido por 2,45-Radiación de GHz de dispositivos inalámbricos. Biol Trace Elem Res. 143(3):1640-1650, 2011.

El objetivo de este estudio fue investigar el posible papel protector del selenio y la L-carnitina sobre el estrés oxidativo inducido por la radiación de 2,45 GHz en el corazón de ratas. Para este propósito, 30 ratas Wistar Albino macho se dividieron equitativamente en cinco grupos, a saber, controles, controles simulados, ratas expuestas a la radiación, ratas expuestas a la radiación tratadas con inyecciones intraperitoneales de selenito de sodio a una dosis de 1,5 mg/kg/día y ratas expuestas a la radiación tratadas con inyecciones intraperitoneales de L-carnitina a una dosis de 1,5 mg/kg/día. A excepción de los controles y los controles simulados, los animales fueron expuestos a la radiación de 2,45 GHz durante 60 min/día durante 28 días. Los niveles de peroxidación lipídica (PL) fueron más altos en los grupos expuestos a la radiación que en los grupos de control y control simulado. El nivel de peroxidación lipídica en los animales irradiados tratados con selenio y L-carnitina fue menor que en aquellos que solo fueron expuestos a 2,45-Radiación de GHz. Las concentraciones de vitaminas A, C y E fueron más bajas en el grupo irradiado únicamente en relación con los grupos de control y control simulado, pero sus concentraciones aumentaron en los grupos tratados con selenio y L-carnitina. La actividad de la glutatión peroxidasa fue

Los niveles de glutatión y  $\beta$ -caroteno reducidos en eritrocitos fueron más altos en el grupo tratado con selenio que en los animales que fueron irradiados pero no recibieron tratamiento. Las concentraciones de glutatión y  $\beta$ -caroteno reducidos en eritrocitos no cambiaron en ninguno de los grupos. En conclusión, la radiación electromagnética de 2,45 GHz causó estrés oxidativo en el corazón de las ratas. Existe un efecto protector aparente del selenio y la L-carnitina mediante la inhibición de la formación de radicales libres y el apoyo al sistema redox antioxidante.

(E) Ulubay M, Yahyazadeh A, Deniz OG, Kıvrak EG, Altunkaynak BZ, Erdem G, Kaplan S. Efectos de la exposición prenatal a campos electromagnéticos de 900 MHz en la histología del riñón de ratas. *Int J Radiat Biol.* 91(1):35-41, 2015.

Objetivo: Investigar los efectos nocivos de la exposición prenatal a un campo electromagnético (CEM) de 900 megahercios (MHz) en los riñones de ratas macho de cuatro semanas de edad y determinar los efectos protectores de la melatonina (MEL) y los omega-3 ( $\omega$ -3). Materiales y métodos: Se colocaron al azar veintinueve ratas albinas Wistar en siete grupos de la siguiente manera: control (Cont), Sham, MEL,  $\omega$ -3, CEM, CEM+MEL y CEM+ $\omega$ -3. Después del apareamiento, se expusieron tres grupos (CEM, CEM+MEL, CEM+  $\omega$ -3) a un CEM. En la cuarta semana posterior al parto, se eligieron al azar seis ratas de cada grupo. Se evaluaron el volumen medio de los riñones y las cortezas renales, el número total de glomérulos y la estructura histológica básica del riñón mediante métodos estereológicos y de microscopio óptico, respectivamente. Resultados: Los resultados estereológicos determinaron que el volumen medio de los riñones y las cortezas aumentó significativamente en los grupos expuestos a los CEM en comparación con el grupo Cont. Sin embargo, los grupos no expuestos a los CEM no se modificaron significativamente en comparación con el grupo Cont. Además, el número total de glomérulos fue significativamente mayor en los grupos no expuestos a los CEM en comparación con el grupo Cont. Alternativamente, el número de glomérulos en los grupos expuestos a los CEM disminuyó en comparación con el grupo Cont. Conclusiones: La exposición prenatal de los riñones de ratas a los CEM de 900 MHz resultó en un aumento del volumen renal total y una disminución del número de glomérulos.

---

Además, MEL y  $\omega$ -3 previnieron los efectos adversos de los EMF en los riñones.

(E) Upadhyaya C, Upadhyaya T, Patel I. Atributos de la radiación no ionizante de frecuencia de 1800 MHz sobre la salud de las plantas y el contenido de antioxidantes de las plantas de tomate (*Solanum Lycopersicum*). *J Rad Res Appl Sci.* 15(1):54-68. 2022.

El mundo avanza hacia el desarrollo del campo de las telecomunicaciones, lo que conduce al aumento de la radiación no ionizante en el medio ambiente, que afecta a todos los seres vivos, incluidas las plantas que crecen cerca de las estaciones base de comunicaciones. La presente investigación se centró en las alteraciones fisiológicas y bioquímicas de las plantas de tomate expuestas a la radiación de alta frecuencia. La salud general de la planta se analizó mediante cambios fisiológicos, es decir, la altura de la planta, el tamaño de las hojas, la longitud del sistema radicular y la tasa de germinación tras la exposición a la radiación, y se mostró una reducción significativa ( $p < 0,05$ ) en comparación con el control. Consecutivamente, la radiación también afecta negativamente al contenido de pigmento fotosintético de las hojas, que ha mostrado una reducción significativa. Otra confirmación más del estrés en el tejido vegetal expuesto se informó al obtener un mayor contenido de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en las hojas de las plantas expuestas que en el control. Las alteraciones morfológicas, es decir, el enrollamiento de las hojas, la decoloración y la reducción del tamaño, se hicieron más prominentes con un aumento en el tiempo de exposición. Los resultados significativos se denotan de acuerdo con el límite de confianza del 95%. Se observó una disminución significativa en el contenido total de fenoles (37,06%), contenido de flavonoides (71,38%), contenido de vitamina C (72,45%) y DPPH (59,32%).

así como ensayos antioxidantes totales (71,89%) que revelaron efectos deteriorantes significativos de dichas ondas sobre los metabolitos secundarios y el potencial antioxidante de las plantas de tomate. El contenido de licopeno aumentó continuamente hasta el 73,13% tras la radiación de 120 h y dicho aumento fue la indicación directa del efecto nocivo sobre la piel de la fruta y la liberación de licopeno debido al ablandamiento del tejido de la fruta. Por lo tanto, los hallazgos presentados ilustraron los efectos negativos de dichas ondas sobre la calidad de las plantas de tomate. El conocimiento limitado de las vías metabólicas involucradas en las respuestas de las plantas a dicha radiación no ionizante hace que dicha investigación valga la pena en la aplicación agrícola. Además, las agencias de comunicaciones móviles deberían estar informadas y la instalación de estaciones base para torres de comunicaciones móviles debería prohibirse en tierras agrícolas.

(E) Varghese R, Majumdar A, Kumar G, Shukla A. Las ratas expuestas a 2,45 GHz de radiación no ionizante exhiben cambios de comportamiento con una mayor expresión cerebral de la caspasa apoptótica 3. *Fisiopatología*. 25:19-30, 2018.

En los últimos años, ha habido un tremendo aumento en el uso de dispositivos Wi-Fi junto con teléfonos móviles, a nivel mundial. Los dispositivos Wi-Fi utilizan una frecuencia de 2,4 GHz. El presente estudio evaluó el impacto de la exposición a la radiación de 2,45 GHz durante 4 horas al día durante 45 días sobre los parámetros de estrés oxidativo y conductual en ratas Sprague Dawley hembra. Las pruebas de comportamiento de ansiedad, aprendizaje y memoria se iniciaron a partir del día 38. Los parámetros de estrés oxidativo se estimaron en homogeneizados cerebrales después de sacrificar a las ratas el día 45. En el laberinto acuático Morris, el laberinto en cruz elevada y la prueba de caja oscura clara, las ratas expuestas a la radiación de 2,45 GHz provocaron un deterioro de la memoria y un comportamiento de ansiedad. La exposición disminuyó las actividades de la superóxido dismutasa, la catalasa y redujo los niveles de glutatión, mientras que se encontraron niveles elevados de peroxidación lipídica cerebral en las ratas expuestas a la radiación, lo que muestra una defensa antioxidante comprometida. Se cuantificó la expresión del gen de la caspasa 3 en muestras cerebrales, lo que reveló un aumento notable en el marcador apoptótico caspasa 3 en el grupo expuesto a la radiación de 2,45 GHz en comparación con el grupo de exposición simulada. No se observaron cambios significativos en los exámenes histopatológicos ni en los niveles cerebrales de TNF- $\alpha$ . El análisis de la arborización dendrítica de las neuronas mostró una reducción en el número de ramificaciones e intersecciones dendríticas, lo que corresponde a una alteración en la estructura dendrítica de las neuronas, lo que afecta a la señalización neuronal. El estudio indica claramente que la exposición de ratas a la radiación de microondas de 2,45 GHz provoca cambios perjudiciales en el cerebro que conducen a una disminución del aprendizaje y la memoria y a la expresión de conductas de ansiedad en ratas, junto con una caída en los sistemas enzimáticos antioxidantes del cerebro.

(E) Verma S, Keshri GK, Karmakar S, Mani KV, Chauhan S, Yadav A, Sharma M, Gupta A. Efectos de la exposición a la radiación de microondas de 10 GHz en la piel de ratas: una perspectiva sobre las respuestas moleculares. *Radiat Res*. 196:404-416, 2021.

La radiación de microondas (MW) plantea el riesgo de peligros potenciales para la salud humana. El presente estudio investigó los efectos de la exposición a MW 10 GHz durante 3 h/día durante 30 días a densidades de potencia de  $5,23 \pm 0,25$  y  $10,01 \pm 0,15$  mW/cm<sup>2</sup> en la piel de ratas. Los animales expuestos a 10 mW/cm<sup>2</sup> (que corresponden al doble del nivel de referencia ocupacional ICNIRP-2020 de exposición a MW para humanos) exhibieron alteraciones biofísicas, bioquímicas, moleculares e histológicas significativas en comparación con los animales irradiados simuladamente. La termografía infrarroja reveló un aumento en la temperatura media de la superficie de la piel de 1,8 °C y una desviación estándar de 0,3 °C después de 30 días de exposición a 10 mW/cm<sup>2</sup> de MW en comparación con los animales irradiados simuladamente.

La exposición también provocó estrés oxidativo (ROS, 4-HNE, LPO, AOPP), respuestas inflamatorias (NFkB, iNOS/NOS2, COX-2) y alteraciones metabólicas [hexoquinasa (HK), lactato deshidrogenasa (LDH), citrato sintasa (CS) y glucosa-6-fosfato deshidrogenasa (G6PD)] en la piel de rata irradiada a 10 mW/cm<sup>2</sup>. Se observó una alteración significativa en la expresión de marcadores asociados con la supervivencia celular (Akt/PKB) y la cascada de señalización de respuesta al estrés relacionada con HSP27/p38MAPK en la piel de rata irradiada a 10 mW/cm<sup>2</sup> en comparación con la piel de rata irradiada simulada. Sin embargo, los grupos irradiados con MW no mostraron apoptosis, evidente por los niveles inalterados de caspasa-3. El análisis histopatológico reveló una leve alteración citoarquitectónica en la capa epidérmica y una ligera agregación de leucocitos en la piel de rata irradiada a 10 mW/cm<sup>2</sup>. En conjunto, los hallazgos actuales demostraron que la exposición a 10 GHz en modo de onda continua a 10 mW/cm<sup>2</sup> (3 h/día, 30 días) provocó alteraciones significativas en los marcadores moleculares asociados con la respuesta adaptativa al estrés en la piel de rata. Además, se justifican estudios científicos sistemáticos sobre la exposición más frecuente a la radiación de onda media en modo pulsado durante un período prolongado.

(E) Vilić M, Gajger IT, Tucak P, Štambuk A, Šrut M, Klobučar G. Efectos de la exposición a corto plazo a la radiofrecuencia de los teléfonos móviles (900 MHz) sobre la respuesta oxidativa y la genotoxicidad en larvas de abejas melíferas. *J. Api. Res.* 56:430-438 (2017)

La exposición de diferentes especies animales a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) podría causar varios efectos biológicos como estrés oxidativo, efectos genotóxicos y disfunción del sistema inmunológico. Sin embargo, faltan resultados sobre la respuesta al estrés oxidativo y la genotoxicidad en la abeja melífera (*Apis mellifera*) después de la exposición a RF-EMF. Este estudio se realizó para investigar los efectos de la exposición a RF-EMF en la actividad de la catalasa, superóxido dismutasa, glutatión S-transferasa, nivel de peroxidación lipídica y daño al ADN en larvas de abejas melíferas. Las larvas de abejas melíferas fueron expuestas a RF-EMF a 900 MHz y niveles de campo de 10, 23, 41 y 120 V m<sup>-1</sup> durante 2 h. A un nivel de campo de 23 V m<sup>-1</sup> también se investigó el efecto de la modulación sinusoidal de 1 kHz y 217 Hz del 80 % AM. La actividad de la catalasa y el nivel de peroxidación lipídica disminuyeron significativamente en las larvas de abejas expuestas al campo no modulado a 10 V m<sup>-1</sup> en comparación con el control. La actividad de la superóxido dismutasa y la glutatión S-transferasa en las larvas de abejas expuestas a campos no modulados no fueron estadísticamente diferentes en comparación con el control. El daño al ADN aumentó significativamente en las larvas de abejas expuestas a un campo modulado (80% AM 1 kHz sinusal) a 23 V m<sup>-1</sup> en comparación con el control y todos los demás grupos de exposición. Estos resultados sugieren que los efectos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia en las larvas de abejas aparecieron solo después de la exposición a ciertas condiciones de campos electromagnéticos. El aumento del nivel de campo no causó una dosis-respuesta lineal en ninguno de los parámetros medidos. Los campos electromagnéticos de radiofrecuencia modulados produjeron más efectos negativos que el campo no modulado correspondiente. Aunque las abejas en la naturaleza no estarían expuestas a niveles de campo tan altos como los utilizados en nuestros experimentos, nuestros resultados muestran la necesidad de una mayor investigación intensiva en todas las etapas del desarrollo de las abejas.

(E) Wang X, Liu C, Ma Q, Feng W, Yang L, Lu Y, Zhou Z, Yu Z, Li W, Zhang L. 8- La inhibición de la ADN glicosilasa-1 oxoG sensibiliza a las células Neuro-2a al daño oxidativo de las bases del ADN inducido por la radiación electromagnética de radiofrecuencia de 900 MHz. *Cell Physiol Biochem.* 37(3):1075-1088, 2015.

ANTECEDENTES/OBJETIVOS: El propósito de este estudio fue explorar la posible genotoxicidad in vitro durante la exposición de células Neuro-2a a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) con o sin silenciamiento de la ADN glicosilasa-1 8-oxoG (OGG1). MÉTODOS: Las células Neuro-2a tratadas con o sin ARNi OGG1 fueron expuestas a señales de conversación GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles) de 900 MHz de forma continua a una tasa de absorción específica (SAR) de 0, 0,5, 1 o 2 W/kg durante 24 h. La rotura de la cadena de ADN y el daño de la base del ADN se midieron mediante el ensayo cometa alcalino y un ensayo cometa modificado utilizando la ADN glicosilasa formamidopirimidina (FPG), respectivamente. Los niveles de especies reactivas de oxígeno (ROS) y la viabilidad celular se monitorearon utilizando la sonda no fluorescente 2, 7-Ensayo de diacetato de diclorofluoresceína (DCFH-DA) y CCK-8. RESULTADOS: La exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia de 900 MHz con energía insuficiente podría inducir daño oxidativo de las bases del ADN en células Neuro-2a. Estos aumentos fueron concomitantes con aumentos similares en la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS). Sin ARNi OGG1, 2 W/kg de campos electromagnéticos de radiofrecuencia indujeron daño oxidativo de las bases del ADN en células Neuro-2a. Curiosamente, con ARNi OGG1, los campos electromagnéticos de radiofrecuencia podrían causar daño de las bases del ADN en células Neuro-2a a dosis tan bajas como 1 W/kg. Sin embargo, no se observó rotura de la cadena de ADN ni alteración de la viabilidad celular. CONCLUSIÓN: Incluso si se siguen realizando estudios, apoyamos la hipótesis de que OGG1 está involucrado en el proceso de reparación de las bases del ADN y puede desempeñar un papel fundamental en la protección de las bases del ADN del daño oxidativo inducido por campos electromagnéticos de radiofrecuencia.

(E) Wang Y, Jiang Z, Zhang L, Zhang Z, Liao Y, Cai P. La radiación electromagnética de radiofrecuencia de 3,5 GHz promueve el desarrollo de *Drosophila melanogaster*. Environ Pollut 1 de febrero de 2022;294:118646.

Con la creciente popularidad de la tecnología móvil 5G, el efecto de la radiación de radiofrecuencia en la salud humana ha causado preocupación pública. Este estudio explora los efectos de un entorno simulado de radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF-EMF) de 3,5 GHz en el desarrollo y el microbioma de las moscas bajo intensidades de 0,1 W/m<sup>2</sup>, 1 W/m<sup>2</sup> y 10 W/m<sup>2</sup>. Descubrimos que los porcentajes de pupación en los primeros 3 días y la tasa de eclosión en los primeros 2 días aumentaron bajo la exposición a RF-EMF, y el tiempo medio de desarrollo se acortó. En un estudio sobre larvas de tercer estadio, los niveles de expresión de los genes de la proteína de choque térmico hsp22, hsp26 y hsp70 y los genes del sistema inmunológico humoral AttC, TotC y TotA aumentaron significativamente. En el sistema de estrés oxidativo, la expresión del gen DuoX disminuyó, los niveles de expresión del gen sod2 y cat aumentaron, y la actividad de las enzimas SOD y CAT también mostró un aumento significativo. Según los resultados del 16S rDNA, la diversidad y la abundancia de especies de la comunidad microbiana disminuyeron significativamente y, según el análisis de predicción funcional, los géneros *Acetobacter* y *Lactobacillus* aumentaron significativamente. En conclusión, los campos electromagnéticos de radiofrecuencia de 3,5 GHz pueden mejorar el estrés térmico, el estrés oxidativo y la inmunidad humoral, provocar cambios en la comunidad microbiana y regular las vías de señalización de insulina/TOR y ecdiesteroides para promover el desarrollo de las moscas.

(E) Wen X, Rui X, Caiyun F, Chunyu Y, Haiyan C, Yi C. Un campo de radiofrecuencia de 900 MHz induce una respuesta de proteína desplegada mitocondrial en células madre de médula ósea de ratón. Frontiers in Public Health. 9:1265. 2021. doi: 10.3389/fpubh.2021.724239

Objetivo: Examinar si la exposición de células estromales de médula ósea de ratón (BMSC) a campos de radiofrecuencia de 900 MHz utilizados en dispositivos de comunicación móviles puede inducir respuesta de proteína desplegada mitocondrial (UPR) Métodos: Las BMSC fueron expuestas a campos de radiofrecuencia (RF) de onda continua de 900 MHz a una intensidad de potencia de 120  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  durante 4 h/d durante 5 días consecutivos. Las células del grupo simulado (SH) se cultivaron en un sistema de exposición a RF, pero sin radiación de RF. Las células de control positivo fueron irradiadas con 6 Gy de rayos X a una tasa de dosis de 1.103 Gy/min (XR). Para inhibir el JNK2 molecular ascendente de la UPR, las células del grupo siRNA + RF y siRNA + XR también fueron pretratadas con 100 nM siRNA-JNK2 durante 48 h antes de la exposición a RF/XR. Treinta minutos, 4 h y 24 h después de la exposición a RF/XR, se recogieron células, se midió el nivel de ROS con citometría de flujo, los niveles de expresión de proteínas relacionadas con UPR se detectaron mediante análisis de transferencia Western. Resultados: En comparación con el grupo simulado, el nivel de ROS en el grupo RF y XR aumentó significativamente 30 min y 4 h después de la exposición a RF/XR ( $P < 0.05$ ), sin embargo, el aumento inducido por RF/XR del nivel de ROS se revirtió 24 h después de la exposición a RF/XR. En comparación con el grupo simulado, los niveles de expresión de las proteínas HSP10/HSP60/ClpP en las células del grupo RF y XR aumentaron significativamente 30 min y 4 h después de la exposición a RF/XR ( $P < 0.05$ ), sin embargo, el aumento inducido por RF/XR de los niveles de proteína HSP10/HSP60/ClpP se revirtió 24 h después de la exposición a RF. Después de interferir con siRNA-JNK2, las exposiciones a RF/XR ya no pudieron inducir el aumento de los niveles de proteína HSP10/HSP60/ClpP. Conclusiones: La exposición a RF de 900 MHz a una densidad de flujo de potencia de 120  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  podría aumentar el nivel de ROS y activar una UPR transitoria en células BMSC. La homeostasis mitocondrial en términos de capacidad de plegamiento de proteínas se restablece 24 h después de la exposición a RF. La exposición a RF en nuestra condición experimental no causó disfunciones mitocondriales permanentes y graves. Sin embargo, el mecanismo molecular subyacente detallado de la UPR inducida por RF aún debe estudiarse más a fondo.

(E) Wu W, Yao K, Wang KJ, Lu DQ, He JL, Xu LH, Sun WJ. [Bloqueo de la producción de especies reactivas de oxígeno inducidas por la radiación de teléfonos móviles de 1800 MHz y daño del ADN en células epiteliales del cristalino mediante campos magnéticos de ruido]. [Artículo en chino] Zhejiang Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban. 37(1):34-38, 2008.

OBJETIVO: Investigar si la exposición al ruido electromagnético puede bloquear la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y el daño del ADN de las células epiteliales del cristalino inducido por la radiación del teléfono móvil de 1800 MHz. MÉTODOS: Se utilizaron el método DCFH-DA y el ensayo cometa respectivamente para detectar las ROS intracelulares y el daño del ADN de las células epiteliales del cristalino humano cultivadas inducidas por la radiación del teléfono móvil de 1800 MHz a 4 W/kg o/y el ruido electromagnético de 2  $\mu\text{T}$  durante 24 h de forma intermitente. RESULTADO: La radiación del teléfono móvil de 1800 MHz a 4 W/kg durante 24 h aumentó significativamente las ROS intracelulares y el daño del ADN ( $P < 0.05$ ). Sin embargo, el nivel de ROS y el daño del ADN de la radiación del teléfono móvil más el grupo de ruido no aumentaron significativamente ( $P > 0.05$ ) en comparación con el grupo de exposición simulada. CONCLUSIÓN: El ruido electromagnético puede bloquear la producción intracelular de ROS y el daño del ADN de las células epiteliales del cristalino humano inducido por la radiación del teléfono móvil de 1800 MHz.

(E) Xie W, Xu R, Fan C, Yang C, Chen H, Cao Y. El campo de radiofrecuencia de 900 MHz induce la respuesta de la proteína desplegada mitocondrial en células madre de la médula ósea de ratón. Frente Salud Pública 9:724239, 2021.

Objetivo: Examinar si la exposición de células estromales de médula ósea de ratón (BMSC) a campos de radiofrecuencia de 900 MHz utilizados en dispositivos de comunicación móvil puede inducir respuesta de proteína desplegada mitocondrial (UPRmt). Métodos: Las BMSC se expusieron a campos de radiofrecuencia (RF) de onda continua de 900 MHz a una intensidad de potencia de 120  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  durante 4 h/d durante 5 días consecutivos. Las células del grupo simulado (SH) se cultivaron en un sistema de exposición a RF, pero sin radiación de RF. Las células de control positivo se irradiaron con rayos X de 6 Gy a una tasa de dosis de 1,103 Gy/min (XR). Para inhibir la JNK2 molecular ascendente de UPRmt, las células del grupo siRNA + RF y siRNA + XR también se pretrataron con 100 nM siRNA-JNK2 durante 48 h antes de la exposición a RF/XR. Treinta minutos, 4 h y 24 h después de la exposición a RF/XR, se recogieron células, se midió el nivel de ROS con citometría de flujo, los niveles de expresión de proteínas relacionadas con UPRmt se detectaron utilizando análisis de transferencia Western. Resultados: En comparación con el grupo Sham, el nivel de ROS en el grupo RF y XR aumentó significativamente 30 min y 4 h después de la exposición a RF/XR ( $P < 0,05$ ), sin embargo, el aumento inducido por RF/XR del nivel de ROS se revirtió 24 h después de la exposición a RF/XR. En comparación con el grupo Sham, los niveles de expresión de las proteínas HSP10/HSP60/ClpP en las células del grupo RF y XR aumentaron significativamente 30 min y 4 h después de la exposición a RF/XR ( $P < 0,05$ ), sin embargo, el aumento inducido por RF/XR de los niveles de proteína HSP10/HSP60/ClpP se revirtió 24 h después de la exposición a RF. Después de interferir con siRNA-JNK2, las exposiciones a RF/XR ya no pudieron inducir el aumento de los niveles de proteína HSP10/HSP60/ClpP. Conclusiones: La exposición a RF de 900 MHz a una densidad de flujo de potencia de 120  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  podría aumentar el nivel de ROS y activar una UPRmt transitoria en células BMSC. La homeostasis mitocondrial en términos de capacidad de plegamiento de proteínas se restablece 24 h después de la exposición a RF. La exposición a RF en nuestra condición experimental no causó disfunciones mitocondriales permanentes. Sin embargo, el mecanismo molecular subyacente detallado de la UPRmt inducida por RF aún necesita más estudios.

(E) Xu S, Zhou Z, Zhang L, Yu Z, Zhang W, Wang Y, Wang X, Li M, Chen Y, Chen C, He M, Zhang G, Zhong M. La exposición a la radiación de radiofrecuencia de 1800 MHz induce daño oxidativo al ADN mitocondrial en neuronas cultivadas primarias. *Brain Res.* 1311:189-196, 2010.

Cada vez hay más pruebas que indican que el estrés oxidativo puede estar implicado en los efectos adversos de la radiación de radiofrecuencia (RF) en el cerebro. Debido a que los defectos del ADN mitocondrial (ADNmt) están estrechamente asociados con varias enfermedades del sistema nervioso y el ADNmt es altamente susceptible al estrés oxidativo, el propósito de este estudio fue determinar si la radiación de radiofrecuencia puede causar daño oxidativo al ADNmt. En este estudio, expusimos neuronas corticales primarias cultivadas a campos electromagnéticos de RF pulsados a una frecuencia de 1800 MHz modulada por 217 Hz a una tasa de absorción especial (SAR) promedio de 2 W/kg. A las 24 horas después de la exposición, descubrimos que la radiación de RF indujo un aumento significativo en los niveles de 8-hidroxiguanina (8-OHdG), un biomarcador común de daño oxidativo del ADN, en las mitocondrias de las neuronas. En consonancia con este hallazgo, el número de copias de ADNmt y los niveles de transcripciones de ARN mitocondrial (ARNmt) mostraron una reducción obvia después de la exposición a RF. Cada una de estas alteraciones del ADNmt podría revertirse mediante un tratamiento previo con melatonina, que se sabe que es eficaz en el cerebro.

En conjunto, estos resultados sugirieron que la radiación de radiofrecuencia de 1800 MHz podría causar daño oxidativo al ADNmt en neuronas de cultivo primario. El daño oxidativo al ADNmt puede explicar la neurotoxicidad de la radiación de radiofrecuencia en el cerebro.

(E) Yahyazadeh A, Altunkaynak BZ. Investigación de los efectos neuroprotectores de la timoquinona en la médula espinal de ratas expuestas a un campo electromagnético de 900 MHz. *J Chem Neuroanat.* 2019 Oct;100:101657.

La exposición a campos electromagnéticos en el uso prolongado de teléfonos celulares ha aumentado las preocupaciones sobre problemas de salud graves. Nuestro objetivo fue estudiar los posibles efectos de la radiación de campos electromagnéticos (60 min/día durante 28 días) en las médulas espinales de ratas de 12 semanas de edad. Además, investigamos si la administración de timoquinona (10 mg/kg/día) protegería el tejido de la médula espinal contra los efectos adversos del campo electromagnético o no. Veinticuatro ratas albinas Wistar macho adultas fueron asignadas aleatoriamente a cuatro grupos: control, campo electromagnético, timoquinona y campo electromagnético + timoquinona. Las médulas espinales cervicales de todas las ratas fueron evaluadas utilizando los métodos estereológicos, bioquímicos e histológicos. El número de neuronas motoras se redujo en el grupo de campo electromagnético en comparación con el grupo de control ( $p < 0,05$ ). El nivel de superóxido dismutasa fue mayor en el grupo de campo electromagnético en comparación con el grupo de control ( $p < 0,05$ ). En el grupo que recibió el campo electromagnético + timoquinona, encontramos un aumento en el número de neuronas motoras y una disminución en la actividad de la superóxido dismutasa en comparación con el grupo que recibió el campo electromagnético ( $p < 0,05$ ). Nuestros hallazgos histológicos también muestran alteraciones arquitectónicas notables. Especulamos que la radiación del campo electromagnético indujo el daño morfológico y bioquímico al tejido de la médula espinal de las ratas. La administración del antioxidante timoquinona también mejoró dichas complicaciones causadas por el campo electromagnético.

(E) Yahyazadeh A, Altunkaynak BZ, Kaplan S. Investigación bioquímica, inmunohistoquímica y morfométrica del efecto de la timoquinona en el testículo de rata después de la exposición a un campo electromagnético de 900 MHz. *Acta Histochem.* 2020 enero;122(1):151467.

El uso prolongado de teléfonos celulares que emiten campos electromagnéticos (CEM) ha generado inquietudes en relación con la salud pública en los últimos años. Nuestro objetivo fue investigar los posibles efectos de la exposición a CEM de 900 MHz (60 min/día durante 28 días) en los testículos de ratas. Otro objetivo fue determinar si el efecto nocivo de la radiación CEM se reduciría mediante la administración de timoquinona (TQ) (10 mg/kg/día). Se seleccionaron al azar veinticuatro ratas albinas Wistar macho adultas, luego se asignaron a cuatro grupos como sigue: Control, CEM, TQ y CEM + TQ. Las muestras testiculares se analizaron utilizando técnicas histológicas, estereológicas, bioquímicas e inmunohistoquímicas. Los números totales de espermatoцитos primarios y espermátidas, así como células de Leydig, disminuyeron significativamente en el grupo CEM en comparación con el grupo Control ( $p < 0,05$ ). En el grupo CEM + TQ, el número total de espermatoцитos primarios aumentó significativamente en comparación con el grupo CEM ( $p < 0,05$ ). La actividad de la superóxido dismutasa (SOD) aumentó significativamente en el grupo EMF en comparación con el grupo de control ( $p < 0,05$ ). Además, los niveles séricos de testosterona y el peso húmedo de los testículos disminuyeron significativamente en el grupo EMF en comparación con el grupo de control ( $p < 0,05$ ). Nuestros hallazgos sugirieron que la exposición a un EMF de 900 MHz tuvo efectos adversos en el tejido testicular de ratas y que la administración de TQ mitigó parcialmente los daños oxidativos testiculares causados por la radiación EMF.

(Revisión) Yakymenko I, Tsybulin O, Sidorik E, Henshel D, Kyrylenko O, Kyrylenko S.

Mecanismos oxidativos de la actividad biológica de la radiación de radiofrecuencia de baja intensidad. *Electromagn Biol Med.* 35(2):186-202, 2016.

Esta revisión tiene como objetivo cubrir los datos experimentales sobre los efectos oxidativos de la radiación de radiofrecuencia de baja intensidad (RFR) en células vivas. El análisis de la literatura científica revisada por pares actualmente disponible revela efectos moleculares inducidos por la RFR de baja intensidad en células vivas; esto incluye la activación significativa de vías clave que generan especies reactivas de oxígeno (ROS), activación de la peroxidación, daño oxidativo del ADN y cambios en la actividad de las enzimas antioxidantes. Indica que entre 100 estudios revisados por pares actualmente disponibles que tratan los efectos oxidativos de la RFR de baja intensidad, en general, 93 confirmaron que la RFR induce efectos oxidativos en los sistemas biológicos. Un amplio potencial patogénico de las ROS inducidas y su participación en las vías de señalización celular explica una gama de efectos biológicos/de salud de la RFR de baja intensidad, que incluyen patologías tanto cancerosas como no cancerosas. En conclusión, nuestro análisis demuestra que la RFR de baja intensidad es un agente oxidativo expresivo para las células vivas con un alto potencial patogénico y que el estrés oxidativo inducido por la exposición a la RFR debe reconocerse como uno de los mecanismos primarios de la actividad biológica de este tipo de radiación.

(E) Yakymenko I, Burlaka A, Tsybulin I, Brieieva I, Buchynska L, Tsehmistrenko I, Chekhun F. Efectos oxidativos y mutagénicos de la radiación de microondas GSM de 1800 MHz de baja intensidad. *Exp Oncol.* 40(4):282-287, 2018.

OBJETIVO: A pesar de un número significativo de estudios epidemiológicos sobre la carcinogenicidad potencial de la radiación de microondas (MWR) de dispositivos inalámbricos y una gran cantidad de estudios experimentales sobre los efectos oxidativos y mutagénicos de la MWR de baja intensidad, la discusión sobre la carcinogenicidad potencial de la MWR de baja intensidad continúa. Este estudio tiene como objetivo evaluar los efectos oxidativos y mutagénicos de la MWR de baja intensidad de un modelo comercial típico de un teléfono inteligente moderno. MATERIALES Y MÉTODOS: El modelo de embriones de codorniz en desarrollo se ha utilizado para la evaluación de los efectos oxidativos y mutagénicos de la MWR del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) de 1800 MHz de un modelo comercial de teléfono inteligente. Los embriones fueron expuestos in ovo a 0,32  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , de forma discontinua - 48 s - Encendido, 12 s - Apagado, durante 5 días antes y 14 días durante el período de incubación. RESULTADOS: La exposición de embriones de codorniz antes y durante el período de incubación a una intensidad baja de GSM 1800 MHz ha dado lugar a efectos oxidativos estadísticamente significativos en las células embrionarias, incluyendo un aumento de dos veces en la tasa de generación de superóxido y un aumento del 85% en la tasa de generación de óxido de nitrógeno, daños a la integridad del ADN y daños oxidativos del ADN (hasta el doble de los niveles de 8-oxo-dG en células de pollitos de 1 día de edad de los embriones expuestos). Finalmente, la exposición dio lugar a un aumento significativo, de casi el doble, de la mortalidad de embriones. CONCLUSIÓN: La exposición del sistema biológico modelo a una frecuencia MWR GSM de 1800 MHz de baja intensidad resultó en efectos oxidativos y mutagénicos significativos en las células expuestas y, por lo tanto, debería reconocerse como un factor de riesgo significativo para las células vivas.

(E) Yang H, Zhang Y, Wu X, Gan P, Luo X, Zhong S, Zuo W. Efectos de la exposición aguda a la radiación electromagnética de radiofrecuencia de 3500 MHz (5G) sobre la ansiedad.

Comportamiento similar y corteza auditiva en cobayas. *Bioelectromagnetismo* 43(2):106-118, 2022.

Numerosos estudios han demostrado que la radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF-EMR) puede afectar negativamente a la salud humana. Detectamos el efecto de 3500 MHz RF-EMR en el comportamiento similar a la ansiedad y la corteza auditiva (ACx) en cobayas. Cuarenta cobayas machos fueron divididos aleatoriamente en cuatro grupos y expuestos a una onda continua de 3500 MHz RF-EMF a una tasa de absorción específica (SAR) promedio de 0, 2, 4 o 10 W/kg durante 72 h. Después de la exposición, se detectaron los niveles de malondialdehído (MDA), la actividad de la enzima antioxidante, el comportamiento similar a la ansiedad, los umbrales auditivos, la ultraestructura celular y la apoptosis. Nuestros resultados revelaron que los umbrales auditivos y los índices básicos del comportamiento animal no cambiaron significativamente después de la exposición ( $P > 0,05$ ). Sin embargo, los niveles de MDA de ACx aumentaron ( $P < 0,05$ ) y las actividades de la catalasa (CAT), la superóxido dismutasa (SOD) y la glutatión peroxidasa (GSH-px) disminuyeron ( $P < 0,05$ ) en los grupos de exposición en comparación con el grupo de placebo. Se observaron cambios ultraestructurales de ACx, incluidas mitocondrias hinchadas y vainas de mielina en capas.

En los grupos de exposición se detectó relocalización del citocromo-c, activación de la caspasa-9 y de la caspasa-3 escindida. En conclusión, estos resultados sugieren que el estrés oxidativo es un mecanismo importante que subyace a los efectos biológicos de la RF-EMR, que puede inducir daño ultraestructural al ACx y apoptosis celular a través de un mecanismo dependiente de la mitocondria.

Además, el estrés oxidativo, la inducción de apoptosis y el daño ultraestructural aumentan de manera dependiente de la SAR. Sin embargo, la radiofrecuencia electromagnética no aumenta los umbrales auditivos ni induce ansiedad.

(E) Yang R, Chen J, Deng Z, Liu X, [Efecto de la vitamina E en la variación morfológica de las células ganglionares de la retina después de la radiación de microondas]. *Wei Sheng Yan Jiu* 30(1):31-33, 2001. [Artículo en chino]

Para determinar la variación morfológica en las células ganglionares de la retina de cerdo cultivadas primariamente inducidas por microondas y la protección de VE se puede proporcionar una base experimental para el estudio del efecto de las microondas y su protección. Las células ganglionares de la retina de cerdo se cultivaron in vitro y se agregó VE de diferente concentración. Cada grupo se tomó después de una intensidad de microondas de 30 mW / cm<sup>2</sup> irradiada durante 1 h en una habitación protegida por una máquina de fisioterapia de onda continua de 2450 MHz. Inmediatamente después de la radiación, se observó la variación morfológica de las células mediante microscopio óptico y microscopio electrónico de transmisión. El resultado mostró que una parte de las células se congregó, con su axón desaparecido después de la radiación. Las mitocondrias y el retículo endoplásmico se detectaron hinchados mediante microscopio electrónico de transmisión. Los resultados mostraron que se pueden observar células de poptosis A. Las células de los grupos con VE agregado no tuvieron cambios obvios con microscopio óptico, pero se pudo encontrar que las mitocondrias se hincharon ligeramente e integraron las crestas mitocondriales mediante microscopio electrónico de transmisión. Los resultados mostraron que las microondas indujeron daño morfológico en células ganglionares de la retina cultivadas primarias y que la VE podría reducir el daño de las células ganglionares de la retina por microondas en cierta medida.

(E) Yao K, Wu W, Wang K, Ni S, Ye P, Yu Y, Ye J, Sun L. El ruido electromagnético inhibe el daño del ADN inducido por la radiación de radiofrecuencia y el aumento de especies reactivas de oxígeno en las células epiteliales del cristalino humano. *Mol Vis.* 14:964-969, 2008.

OBJETIVO: El objetivo de este estudio fue investigar si la superposición de ruido electromagnético podría bloquear o atenuar el daño del ADN y el aumento de especies reactivas de oxígeno (ROS) intracelulares de células epiteliales del cristalino humano cultivadas (HLEC) inducido por la exposición aguda al campo de radiofrecuencia (RF) de 1,8 GHz del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM).

MÉTODOS: Se utilizó un sistema de exposición a RF sXc-1800 para producir una señal GSM a 1,8 GHz (217 Hz modulada en amplitud) con una tasa de absorción específica (SAR) de 1, 2, 3 y 4 W/kg. Después de 2 h de exposición intermitente, se evaluó el nivel de ROS mediante la sonda fluorescente, diacetato de 2',7'-diclorodihidrofluoresceína (DCFH-DA). El daño del ADN a las HLEC se examinó mediante el ensayo de cometa alcalino y el ensayo de formación de focos de la forma fosforilada de la variante de histona H2AX ( $\gamma$ H2AX). RESULTADOS: Después de la exposición a RF de 1,8 GHz durante 2 h, las HLEC exhibieron un aumento significativo de ROS intracelular en los grupos de 2, 3 y 4 W/kg. La radiación RF en el SAR de 3 W/kg y 4 W/kg podría inducir daño significativo al ADN, examinado por ensayo de cometa alcalino, que se utilizó para detectar principalmente roturas de cadena simple (SSBs), mientras que no se encontró diferencia estadística en roturas de cadena doble (DSBs), evaluadas por focos  $\gamma$ H2AX, entre la exposición a RF (SAR: 3 y 4 W/kg) y los grupos de exposición simulada. Cuando RF se superpuso con ruido electromagnético de 2  $\mu$ T podría bloquear el aumento de ROS inducido por RF y el daño al ADN. CONCLUSIONES: El daño al ADN inducido por un campo de radiofrecuencia de 1.8 GHz durante 2 h, que fue principalmente SSBs, puede estar asociado con el aumento de la producción de ROS.

---

El ruido electromagnético podría bloquear la formación de ROS inducida por RF y el daño al ADN.

(E) Yariktas M, Doner F, Ozguner F, Gokalp O, Dogru H, Delibas N. Nivel de óxido nítrico en la mucosa nasal y sinusal después de la exposición a un campo electromagnético. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 132(5):713-716, 2005.

OBJETIVO: El propósito de este estudio fue examinar los cambios en el nivel de óxido nítrico (NO) en la mucosa nasal y de los senos paranasales después de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM). DISEÑO Y ESCENARIO DEL ESTUDIO: Treinta ratas Sprague-Dawley macho se agruparon aleatoriamente de la siguiente manera: grupo CEM (grupo I; n, 10), grupo CEM en el que recibieron melatonina (grupo II; n, 10) y el grupo de control (operación simulada) (grupo III; n, 10). Los grupos I y II fueron expuestos a 900 MHz. Se administró melatonina oral al grupo II. Las ratas de control (grupo III) también fueron colocadas en el tubo como los grupos de exposición, pero sin exposición a CEM. Al final de las 2 semanas, las ratas fueron sacrificadas y se diseccionó la mucosa nasal y de los senos paranasales. Se midió el NO en la mucosa nasal y paranasal.

RESULTADOS: Los niveles de NO en la mucosa nasal y de los senos paranasales del grupo I fueron significativamente mayores que los del grupo control (grupo III) ( $P < 0,05$ ). Sin embargo, no hubo diferencia estadísticamente significativa entre el grupo II y el grupo control (grupo III) con respecto a la emisión de NO ( $P > 0,05$ ). CONCLUSIÓN: La exposición a los campos electromagnéticos emitidos por los teléfonos móviles (900 MHz) aumenta los niveles de NO en los senos paranasales y la mucosa nasal.

---

SIGNIFICADO: El aumento de los niveles de NO puede actuar como un mecanismo de defensa y presumiblemente relacionado con el daño tisular. Además, la melatonina puede tener un efecto beneficioso para prevenir estos cambios en la mucosa.

(E) Yavaş MC, Yegin K, Oruç S, Delen K, Sirav B. Análisis de la homeostasis de tiol/disulfuro y del estado oxidante-antioxidante como resultado de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia. *Electromagn Biol Med* 2021 17 de enero;1-

8. doi:10.1080/15368378.2021.1874970. Disponible en línea antes de su publicación impresa.

El objetivo del presente estudio es investigar el efecto de la exposición diaria a largo plazo a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) sobre la homeostasis tiol/disulfuro y el estado oxidante-antioxidante en el suero de ratas. Catorce ratas Sprague Dawley macho se dividieron en dos grupos iguales ( $n = 7$ ). Se agruparon como grupo 1 (control simulado) y grupo 2 (exposición a 2100 MHz). Las ratas del grupo 2 fueron expuestas a señales similares a GSM durante 5 h/día, 7 días a la semana durante 14 días. En suero de muestras de sangre, se analizaron los niveles de tiol nativo, total y nativo/total y los parámetros antioxidantes-oxidantes. El estudio reveló que los niveles séricos medios de tiol total del grupo de exposición a GSM fueron bastante más altos que el grupo de control simulado ( $p = 0,219$ ); Los niveles séricos medios de tiol nativo del grupo de exposición a GSM fueron bastante más altos que los del grupo de control simulado ( $p = 0,416$ ), y los niveles séricos medios de disulfuro del grupo de exposición a GSM fueron bastante más altos que los del grupo de control simulado ( $p = 0,566$ ). Por otro lado, el estado antioxidante total (TAS) sérico medio, el estado oxidante total (TOS) y el índice de estrés oxidativo (OSI) del grupo de exposición a GSM fueron más altos que los del grupo de control simulado. No hay datos en la literatura que examinen los efectos de los CEM de RF en la homeostasis tiol/disulfuro. Los resultados de este estudio indican que los CEM de RF no causaron estrés oxidativo y cambios estadísticos en la homeostasis tiol/disulfuro. Se necesitan más tamaños de muestra y exposiciones a más largo plazo para confirmar los resultados de este estudio.

(E) Yüksel M, Nazıroğlu M, Özkaya MO. La exposición prolongada a la radiación electromagnética de los teléfonos móviles y los dispositivos Wi-Fi disminuye los niveles plasmáticos de prolactina, progesterona y estrógeno, pero aumenta el estrés oxidativo uterino en ratas preñadas y sus crías. *Endocrine*. 52:352-362, 2016.

Investigamos los efectos de los teléfonos móviles (900 y 1800 MHz) y Wi-Fi (2450 MHz). Exposición a radiación electromagnética inducida (REM) sobre el estrés oxidativo uterino y los niveles de hormonas plasmáticas en ratas preñadas y sus crías. Treinta y dos ratas y sus cuarenta crías recién nacidas se dividieron en los siguientes cuatro grupos según el tipo de exposición a REM a los que fueron sometidos: los grupos de control, 900, 1800 y 2450 MHz. Cada grupo experimental fue expuesto a REM durante 60 min/día durante los períodos de embarazo y crecimiento. Se permitió que las ratas preñadas permanecieran en reposo durante cuatro generaciones (52 semanas en total) antes de obtener muestras de plasma y útero. Durante la 4.<sup>a</sup>, 5.<sup>a</sup> y 6.<sup>a</sup> semanas del experimento, también se obtuvieron muestras de plasma y útero de las ratas en desarrollo. Aunque la peroxidación lipídica uterina aumentó en los grupos de REM, la actividad de glutatión peroxidasa uterina (4.<sup>a</sup> y 5.<sup>a</sup> semanas) y los niveles de prolactina plasmática (6.<sup>a</sup> semana) en ratas en desarrollo disminuyeron en estos grupos. En las ratas maternas, los niveles plasmáticos de prolactina, estrógeno y progesterona disminuyeron en los grupos EMR, mientras que el estado oxidante total plasmático y las temperaturas corporales aumentaron. No hubo cambios en los niveles de glutatión reducido, antioxidantes totales o vitaminas A, C y E en las muestras uterinas y plasmáticas de ratas maternas. En conclusión, aunque la exposición a EMR disminuyó los niveles de prolactina, estrógeno y progesterona en el plasma de las ratas maternas y sus crías, el estrés oxidativo inducido por EMR en los úteros de las ratas maternas aumentó durante el

desarrollo de la descendencia. La REM inducida por el teléfono móvil y el Wi-Fi puede ser una de las causas del aumento de la lesión uterina oxidativa en ratas en crecimiento y la disminución de los niveles hormonales en ratas madres. Los canales de cationes TRPV1 son las posibles vías moleculares responsables de los cambios en los niveles de hormonas, estrés oxidativo y temperatura corporal en el útero de ratas madres después de una exposición de un año a la radiación electromagnética de teléfonos móviles y dispositivos Wi-Fi. Es probable que la entrada de  $\text{Ca}^{2+}$  mediada por TRPV1 en el útero de ratas preñadas implique la acumulación de estrés oxidativo y la apertura de los poros de la membrana mitocondrial que, en consecuencia, conduce a una disfunción mitocondrial, una hinchazón sustancial de las mitocondrias con ruptura de la membrana externa y liberación de oxidantes como superóxido ( $\text{O}_2^-$ ) y peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). El radical superóxido se convierte en  $\text{H}_2\text{O}_2$  por la enzima superóxido dismutasa (SOD). La glutatión peroxidasa (GSH-Px) es una enzima antioxidante importante para eliminar hidroperóxidos lipídicos y peróxido de hidrógeno y cataliza la reducción de  $\text{H}_2\text{O}_2$  a agua.

(E) Yurekli AI, Ozkan M, Kalkan T, Saybasili H, Tuncel H, Atukeren P, Gumustas K, Seker S. Radiación electromagnética de la estación base GSM y estrés oxidativo en ratas. *Electromagn Biol Med.* 2006;25(3):177-188, 2006. (LI)

El uso cada vez mayor de teléfonos celulares y el número cada vez mayor de estaciones base asociadas se están convirtiendo en una fuente generalizada de radiación electromagnética no ionizante. Es probable que se produzcan algunos efectos biológicos incluso en campos electromagnéticos de bajo nivel. En este estudio, se utilizó una célula electromagnética transversal de gigahercios (GTEM) como entorno de exposición para condiciones de onda plana de propagación de campo electromagnético en el espacio libre de campo lejano en la frecuencia de la estación transceptora base GSM (BTS) de 945 MHz, y se investigaron los efectos sobre el estrés oxidativo en ratas. Cuando se aplicaron campos electromagnéticos a una densidad de potencia de  $3,67 \text{ W/m}^2$  (tasa de absorción específica =  $11,3 \text{ mW/kg}$ ), que está muy por debajo de los límites de exposición actuales, se encontró que el nivel de MDA (malondialdehído) aumentaba y la concentración de GSH (glutatión reducido) disminuía significativamente ( $p < 0,0001$ ). Además, hubo un aumento menos significativo ( $p = 0,0190$ ) en la actividad de SOD (superóxido dismutasa) bajo exposición a EM.

(E) Zeni, O., Di Pietro, R., d'Ambrosio, G., Massa, R., Capri, M., Naarala, J., Juutilainen, J. y Scarfi, MR Formación de especies reactivas de oxígeno en células L929 después de la exposición a radiación de RF de 900 MHz con y sin coexposición a 3-Cloro-4-(diclorometil)-5-hidroxi-2(5H)-furanona. *Radiat. Res.* 167, 306-311, 2007.

El objetivo de este estudio fue investigar la inducción de especies reactivas de oxígeno en células de fibrosarcoma L929 murino expuestas a radiación de radiofrecuencia (RF) a 900 MHz, con o sin coexposición a 3-cloro-4-(diclorometil)-5-hidroxi-2(5H)-furanona (MX), un potente carcinógeno ambiental producido durante la cloración del agua potable.

Se aplicaron señales de telefonía móvil GSM y de onda continua durante 10 o 30 minutos a tasas de absorción específicas de 0,3 y  $1 \text{ W/kg}$ . Se realizaron exposiciones simuladas simultáneas para cada condición de exposición. El tratamiento con MX se realizó a un nivel subtóxico de  $500 \text{ }\mu\text{M}$  y la exposición al campo de RF se llevó a cabo durante los primeros 10 o 30 minutos del tratamiento químico. La formación de especies reactivas de oxígeno se siguió pronto.

después de la exposición y en diferentes momentos de recolección hasta 1 h después del tratamiento con campo de RF. El estudio no proporcionó ninguna indicación de que la exposición al campo de RF de 900 MHz, ya sea sola o en combinación con MX, indujera la formación de especies reactivas de oxígeno en ninguna de las condiciones experimentales investigadas. Por el contrario, la exposición a MX resultó en un aumento estadísticamente significativo en la formación de especies reactivas de oxígeno para todas las duraciones de tratamiento investigadas, lo que confirma que MX es un inductor de estrés oxidativo en células L929.

(E) Zhang X, Gao Y, Dong J, Wang S, Yao B, et al. (2014) El compuesto medicinal chino "Kang Fu Ling" protege contra la lesión miocárdica inducida por microondas de alta potencia. PLoS ONE 9(7): e101532. doi:10.1371/journal.pone.0101532.

Antecedentes. La prevención y el tratamiento de la lesión cardiovascular causada por microondas sigue siendo difícil de alcanzar. Este estudio investigó los efectos protectores cardiovasculares de la medicina china compuesta "Kang Fu Ling" (KFL) contra la lesión miocárdica inducida por microondas de alta potencia (HPM) y el papel de la apertura del poro de transición de permeabilidad mitocondrial (mPTP) en la protección de KFL. Métodos. Las ratas Wistar macho (100) se dividieron en 5 grupos iguales: sin tratamiento, solo radiación o radiación seguida de tratamiento con KFL a 0,75, 1,5 o 3 g/kg/día. Se utilizó electrocardiografía para el examen electrofisiológico. Se observaron cambios histológicos y ultraestructurales en el tejido cardíaco y mitocondrias aisladas mediante microscopio óptico y microscopía electrónica. La apertura de mPTP y el potencial de membrana mitocondrial se detectaron mediante microscopía confocal de barrido láser y análisis de fluorescencia. La conexina-43 (Cx-43) y la óxido nítrico sintasa endotelial (eNOS) se detectaron mediante inmunohistoquímica. La expresión del canal de aniones dependiente de voltaje (VDAC) se detectó mediante transferencia Western. Resultados. A los 7 días después de la radiación, las ratas sin tratamiento con KFL mostraron una frecuencia cardíaca significativamente menor ( $P < 0,01$ ) que los controles no tratados y un cambio del punto J. Se observó hinchazón y reordenamiento de los miocitos. Las mitocondrias mostraron ruptura y una intensidad de fluorescencia reducida, lo que sugiere la apertura de mPTP y una reducción consecuyente del potencial de membrana mitocondrial. Después del tratamiento con 1,5 g/kg/día de KFL durante 7 días, la frecuencia cardíaca aumentó significativamente ( $P < 0,01$ ) y el desplazamiento del punto J se redujo significativamente ( $P < 0,05$ ) en comparación con las ratas irradiadas no tratadas; los miocitos y las mitocondrias tenían una morfología normal. Las intensidades de fluorescencia de las mitocondrias tratadas con colorante también aumentaron, lo que sugiere la inhibición de la apertura de mPTP y la preservación del potencial de membrana mitocondrial. La disminución inducida por microondas de la expresión de las proteínas Cx-43 y VDAC se revirtió significativamente. Conclusión. La radiación de microondas puede causar cambios electrofisiológicos, histológicos y ultraestructurales en el corazón. KFL a 1,5 g/kg/día tuvo el mayor efecto protector sobre estos eventos cardiovasculares. El mPTP desempeña un papel importante en los efectos protectores del KFL contra la lesión miocárdica inducida por la radiación de microondas. (Véase Hu et al., 2014).

(E) Zhu W, Cui Y, Feng X, Li Y, Zhang W, Xu J, Wang H, Lv S. El efecto apoptótico y el mecanismo plausible de la radiación de microondas en células miocárdicas de rata. Can J Physiol Pharmacol. 94(8):849-857, 2016.

Las microondas pueden ejercer efectos biológicos adversos sobre el sistema cardiovascular a nivel sistémico y celular. Sin embargo, el mecanismo subyacente a tales efectos sigue siendo poco conocido. En este artículo, informamos sobre un mecanismo no caracterizado previamente a través de

Las microondas dañan las células del miocardio. Se trató a ratas con radiación de microondas de 2450 MHz a 50, 100, 150 o 200 mW/cm<sup>2</sup> durante 6 min. El tratamiento con microondas mejoró significativamente los niveles de varias enzimas en suero. Además, aumentó el contenido de malondialdehído mientras que disminuyó los niveles de enzimas de estrés antioxidante, actividades de complejos enzimáticos I-IV y ATP en tejidos miocárdicos. En particular, las células miocárdicas irradiadas exhibieron daño estructural y sufrieron apoptosis. Además, el análisis de transferencia Western reveló cambios significativos en los niveles de expresión de proteínas involucradas en la regulación del estrés oxidativo y las vías de señalización apoptótica, lo que indica que la irradiación con microondas podría inducir la apoptosis de las células miocárdicas al interferir con el estrés oxidativo y el metabolismo energético cardíaco. Nuestros hallazgos proporcionan información útil sobre el mecanismo del daño inducido por microondas al sistema cardiovascular.

(E) Zielinski J, Ducray AD, Moeller AM, Murbach M, Kuster N, Mevissen M. Efectos de la exposición a campos magnéticos de radiofrecuencia modulados por pulsos (RF-EMF) sobre la apoptosis, la autofagia, el estrés oxidativo y la función de transporte de la cadena de electrones en neuroblastoma humano y células microgliales murinas. *Toxicol In Vitro* 2020 Oct;68:104963.

El uso de dispositivos inalámbricos corporales con diferentes protocolos de comunicación y escenarios de exposición que cambian rápidamente sigue multiplicándose y existe la necesidad de identificar los posibles efectos en la salud de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) con modulación de frecuencia extremadamente baja (ELF). En este estudio, se investigaron los efectos de los RF-EMF de 935 MHz modulados por ELF sobre la apoptosis, la autofagia, el estrés oxidativo y el intercambio de electrones en células de microglia N9 y neuroblastoma SH-SY5Y. Las células se expusieron a 4 W/kg o se expusieron simuladamente durante 2 y 24 h. La exposición a RF-EMF de ambos tipos de células no alteró la apoptosis, el número de células vivas ni el factor inductor de apoptosis (AIF), independientemente de la duración de la exposición. La exposición a RF-EMF durante 24 h, pero no durante 2 h, aumentó los niveles de proteína del marcador de autofagia ATG5, mientras que LC3B-I y II y pERK no se alteraron en ambos tipos de células y tiempos de exposición investigados. Solo en las células SH-SY5Y se detectó un aumento transitorio de glutatión (GSH), pero no de peróxido de hidrógeno ni de citocromo c oxidasa, lo que indica que la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia de corta duración a niveles de SAR aceptados por las directrices de seguridad actuales podría causar autofagia y estrés oxidativo, y que el efecto depende del tipo de célula y de la duración de la exposición. Se necesitan más estudios para evaluar los posibles mecanismos subyacentes implicados en la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia modulados por pulsos.

(E) Zmyslony M, Politanski P, Rajkowska E, Szymczak W, Jajte J. La exposición aguda a la radiación electromagnética de onda continua de 930 MHz in vitro afecta el nivel de especies reactivas de oxígeno en linfocitos de rata tratados con iones de hierro. *Bioelectromagnetism*. 25(5):324-328, 2004.

El objetivo de este estudio fue probar la hipótesis de que el campo electromagnético de onda continua (CW) de 930 MHz, que es el portador de las señales emitidas por los teléfonos celulares, afecta el nivel de especies reactivas de oxígeno (ROS) en células vivas. Se utilizaron linfocitos de rata en los experimentos. Una parte de los linfocitos se trató con iones de hierro para inducir procesos oxidativos. Las exposiciones a la radiación electromagnética (densidad de potencia 5 W/m<sup>2</sup>, SAR teórica calculada = 1,5 W/kg) se realizaron dentro de una célula GTEM. Las ROS intracelulares se midieron mediante la sonda fluorescente diacetato de diclorofluorescina (DCF-DA). Los resultados muestran

que la exposición aguda (5 y 15 min) no afecta la cantidad de ROS producidas. Sin embargo, si se añadió FeCl<sub>2</sub> con una concentración final de 10 microg/ml a las suspensiones de linfocitos para estimular la producción de ROS, después de ambas duraciones de exposición, la magnitud de la fluorescencia (nivel de ROS durante el experimento) fue significativamente mayor en los linfocitos expuestos. El carácter de los cambios en la cantidad de radicales libres observados en nuestros experimentos fue cualitativamente compatible con la predicción teórica del modelo del efecto de la radiación electromagnética sobre los pares de radicales.

(E) Zong C, Ji Y, He Q, Zhu S, Qin F, Tong J, Cao Y. Respuesta adaptativa en ratones expuestos a campos de radiofrecuencia de 900 MHz: daño oxidativo y reparación del ADN inducidos por bleomicina. *Int J Radiat Biol.* 91(3):270-276, 2015.

Objetivo: Determinar si los ratones expuestos a campos de radiofrecuencia (RF) y luego inyectados con un fármaco radiomimético, bleomicina (BLM), exhiben una respuesta adaptativa y proporcionar alguna evidencia mecanicista para dicha respuesta. Materiales y métodos: Se expusieron ratones adultos a RF de 900 MHz a una densidad de potencia de 120  $\mu$ W/cm<sup>2</sup> durante 4 horas/día durante 7 días. Inmediatamente después de la última exposición, algunos ratones fueron sacrificados mientras que a los otros se les inyectó BLM 4 horas después. En cada animal: (i) se determinó el daño primario del ADN y el daño inducido por BLM, así como su cinética de reparación en leucocitos sanguíneos; (ii) se determinó el daño oxidativo a partir de los niveles de malondialdehído (MDA) y se evaluó el estado antioxidante a partir de los niveles de superóxido dismutasa (SOD) en los tejidos plasmático, hepático y pulmonar. Resultados: No hubo indicios de un aumento del daño oxidativo y del ADN en los ratones expuestos a RF sola en contraste con los tratados con BLM solo. Los ratones expuestos a RF+BLM mostraron significativamente: (a) reducción del daño del ADN inducido por BLM y del que permanece después de cada 30, 60, 90, 120 y 150 minutos de reparación, (c) disminución de los niveles de MDA en plasma y hígado, y aumento del nivel de SOD en el pulmón.

Conclusiones: Los datos generales sugirieron que la exposición a RF fue capaz de inducir una respuesta adaptativa y mitigar los daños oxidativos y del ADN inducidos por BLM al activar ciertos procesos celulares.

(E) ZosangzualiM, LalremruatiM, LalmuansangiC, NghaklianaF, Pachau L, P, Siama Z. Efectos de la radiación electromagnética de radiofrecuencia emitida desde una estación base de telefonía móvil sobre la homeostasis redox en diferentes órganos de ratones albinos suizos. *Electromagn Biol Med* 40:393-407, 2021.

Este estudio fue diseñado para investigar los posibles efectos de la exposición a estaciones base de telefonía móvil (MPBS) que emiten RF-EMR de 1800 MHz sobre algunos parámetros de estrés oxidativo en el cerebro, corazón, riñones e hígado de ratones albinos suizos expuestos a niveles inferiores a los térmicos. Los ratones fueron asignados aleatoriamente a tres grupos experimentales que fueron expuestos a RF-EMR durante 6 h/día, 12 h/día y 24 h/día durante 45 días consecutivos, respectivamente, y un grupo de control. Los niveles de glutatión (GSH) y las actividades de la glutatión-s-transferasa (GST) y la superóxido dismutasa (SOD) se redujeron significativamente en el cerebro de los ratones después de la exposición a RF-EMR durante 12 y 24 horas al día. La exposición de los ratones a RF-EMR durante 12 y 24 horas al día también provocó un aumento significativo de los niveles de malondialdehído (un índice de peroxidación lipídica) en el cerebro de los ratones. Por el contrario, las exposiciones utilizadas en este estudio no indujeron ningún cambio significativo en varios parámetros relacionados con el estrés oxidativo en el corazón, el riñón y el hígado de los ratones. Nuestros hallazgos no mostraron variaciones significativas en las actividades de la aspartato aminotransferasa (AST), la alanina aminotransferasa (AST) y la hidroxitransferasa (AST).

transferasa (ALT) y en el nivel de creatinina (CRE) en los ratones expuestos. Este estudio también reveló una disminución en el recuento de glóbulos rojos con un aumento en el recuento de glóbulos blancos en ratones sometidos a exposiciones de 12 horas/día y 24 horas/día. La exposición a RF-EMR de MPBS puede causar efectos adversos en el cerebro de los ratones al inducir estrés oxidativo que surge de la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) como lo indica la peroxidación lipídica mejorada y los niveles y actividades reducidas de los antioxidantes.

(E) Zothansiana, Zosangzuali M, Lalramdinpuii M, Jagetia GC. Impacto de la radiación de radiofrecuencia en el daño del ADN y los antioxidantes en los linfocitos de sangre periférica de humanos que residen en las proximidades de estaciones base de telefonía móvil. *Electromagn Biol Med.* 36(3):295-305, 2017.

Las radiaciones de radiofrecuencia (RFR) emitidas por las estaciones base de telefonía móvil han suscitado inquietudes sobre su impacto adverso en los seres humanos que residen en las proximidades de las estaciones base de telefonía móvil. Por lo tanto, el presente estudio se concibió para evaluar el efecto de la RFR en el daño del ADN y el estado antioxidante en linfocitos de sangre periférica humana cultivados (HPBL) de individuos que residen en las proximidades de estaciones base de telefonía móvil y compararlo con controles sanos. Los grupos de estudio coincidieron en varios datos demográficos, incluyendo edad, sexo, patrón dietético, hábito de fumar, consumo de alcohol, duración del uso del teléfono móvil y uso diario promedio del teléfono móvil. La densidad de potencia de RF de los individuos expuestos fue significativamente mayor ( $p < 0,0001$ ) en comparación con el grupo de control. Los HPBL se cultivaron y el daño del ADN se evaluó mediante un ensayo de micronúcleos (MN) bloqueados por citocinesis en los linfocitos binucleados. Los análisis de los datos del grupo expuesto ( $n = 40$ ), que residía dentro de un perímetro de 80 m de las estaciones base móviles, mostraron una frecuencia significativamente mayor ( $p < 0,0001$ ) de micronúcleos en comparación con el grupo de control, que residía a 300 m de la(s) estación(es) base móvil(es). El análisis de varios antioxidantes en el plasma de los individuos expuestos reveló una disminución significativa en la concentración de glutatión (GSH) ( $p < 0,01$ ), actividades de catalasa (CAT) ( $p < 0,001$ ) y superóxido dismutasa (SOD) ( $p < 0,001$ ) y un aumento en la peroxidación lipídica (LOO) en comparación con los controles. Los análisis de regresión lineal múltiple revelaron una asociación significativa entre la concentración reducida de GSH ( $p < 0,05$ ), las actividades de CAT ( $p < 0,001$ ) y SOD ( $p < 0,001$ ) y la frecuencia elevada de MN ( $p < 0,001$ ) y LOO ( $p < 0,001$ ) con el aumento de la densidad de potencia de RF.

(E) Zuo WQ, Hu YJ, Yang Y, Zhao XY, Zhang YY, Kong W, Kong WJ. La sensibilidad de las neuronas del ganglio espiral al daño causado por la radiación electromagnética de los teléfonos móviles aumentará en el modelo in vitro de inflamación inducida por lipopolisacáridos. *J Neuroinflammation.* 29 de mayo de 2015;12(1):105. [Publicación electrónica antes de la impresión]

ANTECEDENTES: Con la creciente popularidad de los teléfonos móviles, los peligros potenciales de la radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF-EMR) en el sistema auditivo siguen sin estar claros. Además de la radiofrecuencia electromagnética, los seres humanos también están expuestos a diversos factores físicos y químicos. Establecimos un modelo in vitro de inflamación inducida por lipopolisacáridos (LPS) para investigar si la posible sensibilidad de las neuronas ganglionares espirales a los daños causados por el teléfono móvil. La radiación electromagnética (a tasas de absorción específicas: 2, 4 W/kg) aumentará. MÉTODOS:

Las neuronas ganglionares espirales (NGE) se obtuvieron de ratas Sprague Dawley® (SD) neonatales (de 1 a 3 días de edad). Después de tratar las NGE con diferentes concentraciones (0, 20, 40, 50, 100, 200 y 400 µg/ml) de LPS, se utilizó el kit de recuento celular 8 (CCK-8) y el ensayo cometa alcalino para cuantificar la actividad celular y el daño del ADN, respectivamente. Las NGE se trataron con concentraciones moderadas de LPS antes de la exposición a RF-EMR. Después de 24 h de exposición intermitente a una tasa de absorción de 2 y 4 W/kg, se examinó el daño del ADN mediante el ensayo cometa alcalino, se detectaron cambios en la ultraestructura mediante microscopía electrónica de transmisión y se examinó la expresión de los marcadores de autofagia LC3-II y Beclin1 mediante inmunofluorescencia y microscopía confocal de barrido láser. La producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) se cuantificó mediante el ensayo de diacetato de diclorofluorescina. RESULTADOS: LPS (100 µg/ml) indujo daño al ADN y suprimió la actividad celular ( $P < 0,05$ ). LPS (40 µg/ml) no exhibió cambios en la actividad celular o daño al ADN ( $P > 0,05$ ); por lo tanto, se utilizó 40 µg/ml para pretratar la concentración antes de la exposición a RF-EMR. RF-EMR no pudo inducir directamente daño al ADN. Sin embargo, el grupo de 4 W/kg combinado con LPS (40 µg/ml) mostró vacuolas mitocondriales, cariopincosis, presencia de lisosomas y autofagosomas, y expresión creciente de LC3-II y Beclin1. Los valores de ROS aumentaron significativamente en los grupos de exposición a 4 W/kg, 4 W/kg combinado con LPS (40 µg/ml) y H2O2 ( $P < 0,05, 0,01$ ). CONCLUSIONES: La exposición a corto plazo a la radiación electromagnética de radiofrecuencia no podría inducir directamente daño al ADN en neuronas ganglionares espirales normales, pero podría causar cambios en la ultraestructura celular a un SAR especial de 4,0 W/kg cuando las células están en estado frágil o microdañadas. Parece que la sensibilidad de las SGN al daño causado por la radiación electromagnética del teléfono móvil aumentará en un modelo in vitro de inflamación inducida por lipopolisacáridos.