

Low intensity magnetic field influences short term memory: A study in a group of healthy students

Bioelectromagnetics. 37: 37-48, 2016. © 2015 Wiley Periodicals, Inc

Enrique A. Navarro, Departamento de Física Aplicada y Electromagnetismo, Universitat de València.

Claudio Gomez-Perretta, Centro de investigación, Hospital Universitario LA FE, València.

Francisco Montes, Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Universitat de València.

Un Campo magnético de baja intensidad tiene efectos sobre la memoria de corto plazo: Estudio en un grupo de estudiantes sanos

ABSTRACT

Se estudia si un estímulo magnético externo (2 kHz y aproximadamente 0.1 microTesla aplicado cerca del cortex frontal) tiene influencia sobre la memoria de corto plazo, la percepción, decisión binaria, ejecución motora, y atención sostenida en humanos. Un estímulo magnético y un estímulo simulado se aplicaron a ambos lados de la cabeza (cortex frontal cerca de la zona temporal-parietal) en sujetos varones, jóvenes y sanos ($n = 65$), que se sometieron a dichos estímulos mientras realizaban el test de memoria de Sternberg. Hubo un cambio significativo en el tiempo de reacción. Los tiempos registrados para la percepción, la atención sostenida y la ejecución motora fueron menores en los sujetos expuestos ($p < 0,01$). Sin embargo, el tiempo empleado en la decisión binaria aumentó para los sujetos expuestos al campo magnético. Según los resultados obtenidos parece que la exposición a un campo magnético de baja intensidad y 2 kHz modificaría la memoria de corto plazo (working memory), así como la percepción, decisión binaria, ejecución motora y atención sostenida.

Key words: electromagnetic fields; working memory; reaction time; Sternberg task; learning deficit

Palabras clave: campos electromagnéticos; memoria de corto plazo; tiempo de reacción; Test de Sternberg; déficit de aprendizaje.

Bioelectromagnetics DOI: 10.1002 / bem.21944 Publicado en línea el 11 diciembre de 2015, Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com).

2015 Wiley periodicals, Inc.

INTRODUCCIÓN

Existe una creciente preocupación sobre los efectos biológicos de la exposición a bajos niveles de campo magnético (MF). Los MFs en el rango de las frecuencias de audio (20 Hz-20 kHz) se encuentran cerca de cualquier equipo eléctrico y electrónico, y son omnipresentes debido al uso generalizado de estos dispositivos que inducen tales campos. Estos campos presentes en el hogar son generados por electrodomésticos (por ejemplo: lavadoras y frigoríficos), por televisores, teléfonos móviles, monitores, ordenadores y por dispositivos de iluminación fluorescente de bajo consumo. Estos campos son de un alto contenido espectral y se denominan acertadamente "electricidad sucia" [Havas, 2008]. Señales de kilohercios se utilizan en las comunicaciones PLC para controlar el consumo de electricidad y gas en los contadores inteligentes [Galli et al., 2008] a través de los cables de suministro de electricidad. Los campos electromagnéticos en el rango de kilohercios también están presentes en los dispositivos de audio, como altavoces y auriculares. Los dispositivos portátiles de música digital (reproductores MP3) como el iPod (Apple, Cupertino, CA) que se han convertido en elementos de uso cada vez más común, con más de 100 millones de unidades vendidas en 2007, y unos 350 millones hasta septiembre de 2012 [Costello, 2014a, b]. Dependiendo del modelo, estos dispositivos de audio producen una inducción magnética cerca del lóbulo temporal del cerebro de alrededor de $0,1 \mu\text{T}$, 20 Hz-20 kHz. Estos dispositivos pueden producir interferencias cuando se colocan cerca de un marcapasos [Lee et al., 2009]. Es plausible que estos bajos niveles de MF (alrededor de $0,1 \mu\text{T}$, 20 Hz-20 kHz) tengan un efecto adverso sobre el sistema nervioso e influyan en la conducta. Los estándares rusos de protección a la exposición electromagnética son mucho más bajos que en los países occidentales en gran parte debido a los efectos detectados en el sistema nervioso para estas exposiciones [Presman, 1970; Szmigielski, 1989]. Varios estudios han demostrado la influencia de los MFs en el comportamiento, la actividad motora, y neurotransmisores en el cerebro humano [Trzeciak et al., 1993; Chance et al., 1995; Pesic et al., 2004].

Hay resultados de estudios con humanos [Trimmel and Schweiger, 1998] y de estudios con animales [Lai, 1996; Lai et al., 1998; Sienkiewicz et al., 1998a, b; Lai y Carino, 1999] que han demostrado que la exposición a MFs puede influir en las funciones cognitivas. Trimmel y Schweiger (1998) encontraron una reducción inmediata del rendimiento cognitivo bajo la influencia de un campo de $1 \mu\text{T}$ ($\pm 10\%$), 50 Hz, en el área de la cabeza. Ahora bien, los efectos eran modulados por la autopercepción de la sensibilidad al MF. Se encontró que estos efectos eran más pronunciados en sujetos más sensibles. En el trabajo de Lai [1996, 1998] se muestra como una exposición a MF de 60Hz-0.75mT antes de realizar actividades rutinarias de aprendizaje, deteriora la memoria espacial en ratas de laboratorio.

Efectos de los MFs sobre la actividad eléctrica del cerebro han sido obtenidos por otros investigadores [Bell et al., 1991; Marino et al., 1996; Dobson et al., 2000; Lyskov et al., 2001; Marino et al., 2004]. Se ha demostrado recientemente que un estímulo MF ($3 \mu\text{T}$, 60 Hz) es capaz de empeorar una mejoría asociada con la práctica [Corbacio et al.,

2011]. Aunque todavía no se ha establecido una relación clara entre MFs y funciones cognitivas humanas, se ha especulado con que los MFs interfieren en los procesos neuropsicológicos responsables del aprendizaje de corto plazo, apoyados en la plasticidad sináptica del cerebro.

Dos estudios pioneros examinaron los efectos de los MFs en el aprendizaje espacial de roedores, demostrando que la exposición breve a un MF relativamente débil podría afectar al aprendizaje espacial y a la memoria [Kavaliers et al., 1993, 1996]. Kavaliers y su grupo de investigación mostraron diferencias en los efectos de los MFs por sexos y plantearon una posible forma de acción a través de alteraciones en la actividad opioide. Otros investigadores evaluaron los efectos de los MFs en los procesos de consolidación y recuperación post-entrenamiento [McKay y Persinger, 2000], evaluando si la exposición aguda a 2-8mT tenía efecto en la consolidación y recuperación de la memoria espacial en ratas de laboratorio.

Hay una considerable falta de trabajos que estudien la influencia de los MFs en el cerebro humano y la cognición, en concreto sobre el efecto de los MFs sobre la memoria y el comportamiento. El estudio de una señal MF de 2 kHz es especialmente interesante ya que esta frecuencia está dentro de la banda de audio (20Hz- 20kHz). Los auriculares son transductores de audio y generan una señal acústica utilizando una señal eléctrica de la misma frecuencia. La corriente que conduce esta señal está dentro de la banda de KHz y es ella la fuente del MF asociado. Estos dispositivos producen un campo magnético de baja intensidad cerca de las áreas del cerebro involucradas en los procesos asociados a la memoria y especialmente de la memoria de corto plazo. La memoria de corto plazo o "Working Memory" (WM) se define como un sistema capaz de manipular la información transitoria que forma parte de la memoria humana. Se supone que la memoria de corto plazo (WM) no solo sostiene la actividad neuronal hasta varias decenas de segundos en la corteza pre-frontal, sino también en otras áreas (por ejemplo, la corteza parietal) [Babiloni et al., 2004; Passingham y Sakai, 2004].

Existe consenso científico acerca de las dificultades para describir la función cerebral y el comportamiento como variables que, aunque permiten valorar el comportamiento, no son lo suficientemente sensibles como para medir los cambios en las funciones cerebrales [Kurokawa et al., 2003; Cook et al., 2006]. El paradigma "Sternberg" es especialmente adecuado para detectar cambios cognitivos mínimos [Sternberg, 1966, 1969, 1975]. Los paradigmas cognitivos son siempre una elección difícil debido a la falta de normas estandarizadas y el hecho de que variaciones pueden ser causadas por, entre otras cosas, la elección de los estímulos, el cronometraje, las instrucciones dadas al sujeto, y las respuestas que se esperan [Baddeley, 1992].

El Paradigma de Reconocimiento de Item de Sternberg (SIRP) proporciona un método de cronometraje informatizado para la medición de la memoria de corto plazo, así como de la percepción, la decisión binaria, y la ejecución motora. El SIRP es una prueba de tiempo de reacción que principalmente disocia los componentes motor y cognitivos en los tiempos de respuesta. Las respuestas precisas se basan en una representación temporalmente almacenada de los objetos que se deben de mantener en la memoria de trabajo durante la duración del test. Sternberg [1966] demostró que existe una relación lineal entre el tiempo de respuesta y el número de objetos que el sujeto debe mantener "on-line" en la memoria de corto plazo. La pendiente de la función lineal proporciona

una medida de la componente cognitiva del tiempo de respuesta (el tiempo de respuesta aumenta linealmente con cada incremento en la carga de la WM) [Sternberg, 1966, 1969, 1975; Jensen y Lisman, 1998]. La ordenada en el origen proporciona una medida del tiempo empleado en la percepción, la decisión binaria y la ejecución motora. Las etapas funcionales principales pueden caracterizarse como: (1) la codificación de los estímulos; (2) la exploración en serie de la memoria; (3) la decisión binaria sobre la naturaleza de la respuesta; y (4) organización de la respuesta y ejecución.

En estudios clínicos, la concentración sostenida en una tarea prolongada ha sido ampliamente utilizada para evaluar la vulnerabilidad de la atención [Robertson et al., 1997; Manly et al., 1999]. De hecho, se ha mostrado que una población de pacientes con dificultades para mantener la atención exhibe errores frecuentes en comparación con los controles normales [Bellgrove et al., 2006; Johnson et al., 2007]. La medición de la atención es algo más complicado, ya que la atención no es un factor cuantificable único y se superpone significativamente con la memoria de trabajo.

Este trabajo analiza los efectos inmediatos de un estímulo de campo magnético externo de alrededor de 0,1 microtesla y 2 kHz en estos procesos neurológicos, sobre todo en la memoria de corto plazo. Hemos diseñado un procedimiento experimental para analizar la influencia de la exposición MF en el tiempo de respuesta (RT) de los sujetos que realizan el test de Sternberg. La herramienta estadística utilizada para medir esta influencia es una regresión múltiple de RT sobre la exposición a la radiación (variable binaria) y dos variables relacionadas con SIRP: El número de letras a memorizar (tamaño de conjunto) y el tipo de letra (memorizada o no memorizada). Este trabajo es importante porque por primera vez se utiliza el test de Sternberg para analizar los efectos de un MF en la memoria de corto plazo. A nuestro entender esta es la primera vez que la exposición humana a un MF en el rango KHz se ha explorado, aunque trabajos similares se han realizado con animales y también a otras frecuencias. Estas son las principales novedades de la presente investigación.

CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

La memoria de corto plazo o la capacidad de mantener un elemento de información de forma transitoria en el cerebro humano para su posterior recuperación según las necesidades cognitivas se alteró en nuestro experimento. Se encuentra que la estimulación con un campo magnético de baja intensidad podría obstaculizar el procesamiento neuronal humano en relación con la selección, la preparación y la ejecución de una respuesta respecto a un estímulo externo. En base a los resultados de este estudio, que es preliminar, sugerimos dar una advertencia a quien sufre una exposición frecuente y voluntaria a campos magnéticos en la banda de las audiofrecuencias (KHz). Estas exposiciones son similares a las que se producen en la mayoría de los auriculares ligeros que se utilizan en los reproductores de música portátiles. Por ejemplo, estos dispositivos con una impedancia de aproximadamente 30Ω con 30 mW por canal producirían un campo magnético de 0,10 microtesla dentro del cerebro a ambos lados de la cabeza. Esta exposición podría inducir problemas de aprendizaje entre los usuarios jóvenes, no sólo por el efecto del elevado ruido. Además, un mensaje de advertencia se debería dar a quien usa PLC para dar acceso a internet a

Brand AN, Jolles J, Gispen-de Wied C. 1992. Recall and recognition memory deficits in depression. *J Affect Disord* 25:77–86.

Bunge SA, Klingberg T, Jacobsen RB, Gabrieli JDE. 2000. A resource model of the neural basis of executive working memory. *PNAS* 97:3573–3578.

Chance WT, Grossman CJ, Newrock R, Bovin G, Yerian S, Schmitt G, Mendenhall C. 1995. Effects of electromagnetic fields and gender on neurotransmitters and amino acids in rats. *Physiol Behav* 58:743–748.

Chung YH, Lee YJ, Lee HS, Chung SJ, Lim CH, Oh KW, Sohn UD, Park ES, Jeong JH. 2015. Extremely low frequency magnetic field modulates the level of neurotransmitters. *Korean J Physiol Pharmacol* 19:15–20.

Cook CM, Saucier DM, Thomas AW, Prato FS. 2006. Exposure to ELF magnetic and ELF-modulated radiofrequency fields: The time course of physiological and cognitive effects observed in recent studies (2001–2005). *Bioelectromagnetics* 27:613–627.

Cools R, D'Esposito M. 2011. Inverted-U-shaped dopamine actions on human working memory and cognitive control. *Biol Psychiatry* 69:e113–e125.

Corbacio M, Brown S, Dubois S, Goulet D, Prato FS, Thomas AW, Legros A. 2011. Human cognitive performance in a 3 mT power-line frequency magnetic field. *Bioelectromagnetics* 32:620–633.

Corbin L, Marquer J. 2009. Individual differences in Sternberg's memory scanning task. *Acta Psychologica* 131:153–162.

Costello S. 2014a. Total number of iPods sold. Available at: <http://ipod.about.com/od/glossary/qt/number-of-ipods-sold.htm>. [Last accessed 23 May 2014].

Costello S. 2014b. Apple Press Info. Available at: <http://www.apple.com/pr/products/ipodhistory/>. [Last accessed 23 May 2014].

Dobson J, St. Pierre TG, Schultheiss-Grassi PP, Wieser HG, Kuster N. 2000. Analysis of EEG data from weak-field magnetic stimulation of mesial temporal lobe epilepsy patients. *Brain Res* 868:386–391.

Estrada CA, Isen AM, Young MJ. 1994. Positive affect improves creative problem solving and influences reported source of practice satisfaction in physicians. *Motiv Emot* 18:285–299.

Fiedler K. 2004. Tools, toys, truisms, and theories: Some thoughts on the creative cycle of theory formation. *Pers Soc Psychol Rev* 8:123–131.

Funahashi S, Kubota K. 1994. Working memory and prefrontal cortex. *Neurosci Res* 21:1–11.

Fuster JM. 2003. *Cortex and mind*. New York, NY: Oxford University Press. pp 155–164.

Galli S, Scaglione A, Wang Z. 2008. For the grid and through the grid: The role of power line communications in the smart grid. *Proc IEEE* 99:998–1027.

Goldman-Rakic PS. 1987. Circuitry of primate prefrontal cortex and regulation of behavior by representational memory. In: *Handbook of Physiology. The Nervous System. Higher Functions of the Brain*, sect. 1, vol. 5, part 1. Bethesda, MD: American Physiological Society. pp 374–417.

Havas M. 2008. Dirty electricity elevates blood sugar among electrically sensitive diabetics and may explain brittle diabetes. *Electromagn Biol Med* 27:135–146.

Houx PJ, Vreeling FW, Jolles J. 1991. Rigorous health screening reduces age effect on memory scanning task. *Brain Cogn* 15:246–260.

Huber R, Treyer V, Schuderer J, Berthold T, Buck A, Kuster N, Landolt HP, Achermann P. 2005. Exposure to pulsemulated radio frequency electromagnetic fields affects regional cerebral blood flow. *Eur J Neurosci* 21:1000–1006.

Inoue M, Mikami A. 2006. Prefrontal activity during serial probe reproduction task: Encoding, mnemonic, and retrieval processes. *J Neurophysiol* 95:1008–1041.

Isbell LM. 2004. Not all happy people are lazy or stupid: Evidence of systematic processing in happy moods. *J Exp Soc Psychol* 40:341–349.

Izquierdo I. 1991. Opioids and memory. In: Stone TW, editor. *Aspects of synaptic transmission LTP, galanin, opioids, autonomic and 5-HT*. New York, NY: Taylor & Francis. Pp 164–180.

Jensen O, Lisman JE. 1998. An oscillatory short-term memory buffer model can account for data on the Sternberg task. *J Neurosci* 18:10688–10699.

Johnson KA, Robertson IH, Kelly SP, Silk TJ, Barry E, D'ajibhis A, Watchorn A, Keavey M, Fitzgerald M, Gallagher L, Gill M, Bellgrove MA. 2007. Dissociation in

performance of children with ADHD and highfunctioning autism on a task of sustained attention. *Neuropsychologia* 45:2234–2245.

Kavaliers M, Eckel LA, Ossenkopp KP. 1993. Brief exposure to 60 Hz magnetic fields improves sexually dimorphic spatial learning performance in the meadow vole, *Microtus pennsylvanicus*. *J Comp Physiol A* 173:241–248.

Kavaliers M, Ossenkopp KP, Prato FS, Innes DGL, Galea LAM, Kinsella DM, Perrot-Sinal TS. 1996. Spatial learning in deer mice: Sex differences and the effects of endogenous opioids and 60 Hz magnetic fields. *J Comp Physiol A* 179:715–724.

Kim SC, Nam KC, Kim DW. 2006. Estimation of relative exposure levels for cellular phone users using a neural network. *Bioelectromagnetics* 27:440–444.

Koivisto M, Krause CM, Revonsuo A, Laine M, Hämäläinen H. 2000. The effects of electromagnetic field emitted by GSM phones on working memory. *Neuroreport* 11:1641–1643.

Kraus JD. 1986. *Electromagnetismo*, 3rd edition. Mexico D.F., Mexico: McGraw-Hill. pp 157–167 (In Spanish).

Kurokawa Y, Nitta H, Imai H, Kabuto M. 2003. No influence of short-term exposure to 50-Hz magnetic fields on cognitive performance function in human. *Int Arch Occup Environ Health* 76:437–442.

Magnetic Field and Working Memory 47 Bioelectromagnetics Lai H, Carino MA, Horita A, Guy AW. 1993. Effects of a 60Hz magnetic field on central cholinergic systems of the rat. *Bioelectromagnetics* 14:5–15.

Lai H. 1996. Spatial learning deficit in the rat after exposure to a 60Hz magnetic field. *Bioelectromagnetics* 17:494–496.

Lai H, Carino MA, Ushijima I. 1998. Acute exposure to a 60Hz magnetic field affects rats' water-maze performance. *Bioelectromagnetics* 19:117–122.

Lai H, Carino MA. 1999. 60 Hz magnetic fields and central cholinergic activity: Effects of exposure intensity and duration. *Bioelectromagnetics* 20:284–289.

Lee S, Fu K, Kohno T, Ransford BS, Maisel WH. 2009. Clinically significant magnetic interference of implanted cardiac devices by portable headphones. *Heart Rhythm* 6:1432–1436.

- Logan GD. 1978.** Attention in character-classification tasks: Evidence for the automaticity of component stages. *J Exp Psychol Gen* 107:32–63.
- Lyskov E, Sandstrom M, Mild KH. 2001.** Provocation study of persons with perceived electrical hypersensitivity and controls using magnetic field exposure and recording of electrophysiological characteristics. *Bioelectromagnetics* 22:457–462.
- Manly T, Robertson IH, Galloway M, Hawkins K. 1999.** The absent mind: further investigations of sustained attention to response. *Neuropsychologia* 37:661–670.
- Marino AA, Nilsen E, Chesson AL, Jr., Frilot C. 2004.** Effect of low-frequency magnetic fields on brain electrical activity in human subjects. *Clin Neurophysiol* 115:1195–1201.
- Marino AA, Bell GB, Chesson A. 1996.** Low-level EMFs are transduced like other stimuli. *J Neurol Sci* 144:99–106.
- McKay BE, Persinger MA. 2000.** Application timing of complex magnetic fields delineates windows of post training-pretesting vulnerability for spatial and motivational behaviors in rats. *Int J Neurosci* 103:69–77.
- Passingham D, Sakai K. 2004.** The prefrontal cortex and working memory: Physiology and brain imaging. *Curr Opin Neurobiol* 14:163–168.
- Pesic V, Janac B, Jelenkovic A, Vorobyov V, Prolic Z. 2004.** Nonlinearity in combined effects of ELF magnetic field and amphetamine on motor activity in rats. *Behav Brain Res* 150:223–227.
- Presman AS. 1970.** Electromagnetic fields and life. New York, NY: Plenum Press.
- Pozar DM. 1994.** Microwave engineering. New York, NY: Addison Wesley. pp 594–609.
- Ranganath C, D’Esposito M. 2005.** Directing the mind’s eye: Prefrontal, inferior and medial temporal mechanisms for visual working memory. *Curr Opin Neurobiol* 15:175–182.
- Robertson IH, Manly T, Andrade J, Baddeley BT, Yiend J. 1997.** ‘Oops!’: performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and normal subjects. *Neuropsychologia* 35:747–758.
- Shin EJ, Jeong JH, Kim HJ, Jang CG, Yamada K, Nabeshima T, Kim HC. 2007.** Exposure to extremely low frequency magnetic fields enhances locomotor activity via activation of dopamine D1-like receptors in mice. *J Pharmacol Sci* 105:367–371.

