

Influencia de los teléfonos móviles sobre la actividad cerebral

E. López Martín⁽¹⁾, J.L. Relova Quinteiro⁽²⁾, R. Gallego⁽¹⁾, F.J. Jorge Barreiro⁽¹⁾, F. Ares Pena⁽³⁾, E. Moreno⁽³⁾

(1) Departamento de Ciencias Morfológicas, Facultad de Medicina.

(2) Departamento de Fisiología, Facultad de Medicina.

(3) Departamento de Física Aplicada, Facultad de Física

Universidad de Santiago de Compostela – 15782 – Santiago de Compostela

email: cmelena@usc.es, fsrelova@usc.es, cmrgalle@usc.es, cmjorge@usc.es, faares@usc.es, famoren@usc.es

Abstract. Because of their bioelectric sensitivity, persons suffering from epilepsy may be especially susceptible to radiofrequency radiation emitted by mobile telephones. In this study we recorded electroencephalograms (EEGs) from epileptic human patients after exposure to radiation from a commercial GSM mobile telephone, and from epileptic rats exposed to controlled radiation of similar characteristics in an experimental chamber. Following exposure and EEG-recording, the rats were killed and their brains examined using immunohistochemical markers for glial activity and neuronal activation (proto-oncogene c-Fos).

I. INTRODUCCIÓN

Es bien conocido que a niveles de potencia suficientemente elevados la energía de RF puede producir efectos biológicos nocivos para la salud, sin embargo, los sistemas de comunicación inalámbricos usan formas de radiación de RF modulada a baja potencia y aunque los datos disponibles hasta el momento no sugieren la existencia de ninguna amenaza para la salud debido a exposiciones agudas o a corto plazo de este tipo de radiación, es necesario investigar más en profundidad para llegar a una conclusión definitiva. En el año 2001, en la literatura había más de 20.000 artículos relacionados con los efectos biológicos de las RF con una amplia variedad de metodologías: estudios con datos experimentales en humanos, epidemiológicos, experimentos “in-vivo” en animales, experimentos “in-vitro” con tejidos biológicos animales o humanos y estudios de dosimetría [1]. Limitando nuestro campo de estudio a la actividad cerebral, se ha observado que la proximidad del teléfono móvil con la cabeza del usuario puede interactuar directamente con las funciones cerebrales de este, lo que ha llevado a hacer interesantes afirmaciones desde un punto de vista

biomédico, como las modificaciones en patrones de sueño, y se han observado cambios en el electroencefalograma (EEG) en presencia de campos de telefonía móvil tanto en ratas como en humanos [2-4].

Los estudios experimentales que se han hecho de sistemas biológicos en los que se somete a los tejidos a campos electromagnéticos de una radiofrecuencia similar a la de los móviles, nos indican de forma general que los efectos se pueden dividir en térmicos y no térmicos. Los efectos térmicos los causa un incremento de temperatura provocado por la energía que se absorbe, por la acción de los campos electromagnéticos, en el tejido. La relación entre energía absorbida y el incremento de temperatura es compleja y depende, entre otros factores, de la configuración de la antena del teléfono móvil, de su localización y frecuencia. Aunque el grueso de las investigaciones científicas acerca de los riesgos de las RF y microondas incide sobre los efectos térmicos, en la actualidad está surgiendo cierta controversia sobre los efectos no térmicos sin que hasta el momento se hayan alcanzado resultados concluyentes [5].

Desde el punto de vista molecular estos efectos electromagnéticos comienzan en las membranas de las células y se inician con la activación de cascadas enzimáticas intracelulares. Cuando la exposición de los campos de microondas es en un periodo corto de tiempo, la acción biológica es sobre todo a nivel metabólico, de las señales celulares y de crecimiento celular.

En neuronas de ciertas partes del cerebro de animales jóvenes (hipocampo, corteza cerebral), tras la exposición de ondas electromagnéticas, se producen cambios en el nivel intracelular del calcio que pueden alterar la actividad sináptica y la conducción neuronal causando depresión y potenciación de los mecanismos que envuelven los procesos de aprendizaje y memoria [6]. Además de afectarse la excitabilidad neuronal [7], también se modifica la liberación de diversos neurotransmisores en

el cerebro: la acetil-colina [8], noradrenalina y serotonina [9,10] en los terminales sinápticos, pero resulta difícil interpretar toda la trascendencia que podría tener en las funciones cerebrales.

Estudios del *EEG* en animales [11] y en humanos revelan modificaciones en la actividad cerebral en relación con el sueño [12,13] y ciertos procesos cognitivos [14,15] que indican efectos biológicos de suficiente magnitud como para afectar al comportamiento.

Otro aspecto a tener en cuenta es la modulación de la señal de RF: en los sistemas de telefonía GSM las portadoras se encuentran en el rango de frecuencias extremadamente bajas (ELF). Se ha sugerido que los sistemas biológicos puede demodular esta señal RF y que solamente serían sensibles si la RF esta modulada en ELF [16].

La información contenida en los informes publicados hasta la fecha, sobre realización de experiencias de la radiación producida por los teléfonos móviles sobre individuos, no detalla la configuración del sistema instrumental empleado. Sólo en algunos casos se menciona que el sistema usado se basa en la utilización constante e ininterrumpida de teléfonos móviles en conversaciones mantenidas por periodos de duración controlada. La mención que se hace sobre la potencia a la que es sometido el individuo, solo se hace con respecto a la de pico que soporta el teléfono. Esto hace sospechar que no hay un control riguroso de este parámetro, debido fundamentalmente a que se debe estar utilizando un teléfono móvil real.

Desde el punto de vista de la radiación, el funcionamiento de un teléfono móvil es diferente cuando transmite de cuando recibe, ya que el nivel de señal sólo es alto cuando su portador habla. Esto lleva a que el interés de la experiencia estaría en que la conversación mantenida sea realmente un monólogo, lo que sería por ejemplo la lectura de un texto, pero aún así, si no se actúa sobre el teléfono, bien sacando datos de la señal que va a la antena del teléfono, o colocando un sensor calibrado en las cercanías del individuo bajo prueba, no se puede tener un control real de la potencia emitida por el teléfono.

Hemos centrado este estudio en un grupo de población epiléptica, cuya susceptibilidad bioeléctrica puede servirnos como base para el análisis del efecto de las ondas de RF de la telefonía móvil en el cerebro [17]; para ello realizamos registros electroencefalográficos en sujetos sometidos a campos electromagnéticos emitidos por un teléfono móvil comercial. Simultáneamente se ha llevado a cabo un estudio en laboratorio con un modelo experimental de epilepsia en animales. Los animales serán sometidos a RF empleando el prototipo desarrollado para tal fin. Se realizará registro *EEG*, y posteriormente los animales serán sacrificados y se harán estudios morfológicos de

inmunohistoquímica con distintos marcadores neuronales (c-Fos) y gliales.

II. COMPONENTES DEL SISTEMA INSTRUMENTAL

Uno de los objetivos de este proyecto de investigación es el diseño y puesta a punto de un sistema que genere una señal controlada en potencia de RF, de características similares a las generadas por los teléfonos móviles (GSM), apto para su uso con animales de laboratorio de pequeño tamaño. El sistema está formado por los dispositivos que se muestran en la figura 1, de acuerdo a la siguiente relación:

- Habitáculo de prueba (metálico)
- Antena emisora de la señal (A. E.)
- Dispositivo no metálico donde se ubica el EBP (Elemento bajo prueba).
- Antena para control del proceso (A. R.)
- Amplificador
- Fuente de alimentación D. C.
- Generador de señales (Agilent E4438C)
- Analizador de espectro (Agilent E4407B)
- Analizador de redes (Hewlett Packard 8719D)

Es necesario hacer un calibrado del sistema (utilizando el analizador de redes) antes de la realización de las pruebas de radiación. Con este calibrado lo que se pretende es caracterizar el funcionamiento de las antenas en el habitáculo, conocer la influencia del EBP sobre las antenas, y llegar a caracterizar eléctricamente al EBP. El objetivo del calibrado previo es asociar un nivel de absorción de energía al EBP, a partir del conocimiento de los parámetros S del cuadripolo, medidos antes y después de introducir el EBP en habitáculo de prueba.

La figura 1 muestra el sistema diseñado para someter al EBP a radiación controlada. La señal se obtiene a partir de un generador, pasa a través de un amplificador y se radia utilizando una antena de tipo comercial, situada dentro de un habitáculo metálico con forma de paralelepípedo cuyas dimensiones permiten la propagación de una señal de RF. Para asegurar que la señal existente en la cavidad mantiene las características deseadas durante el proceso, se introduce una segunda antena conectada a un analizador de espectro. Este sistema de control permite por otra parte saber que no existen en la cavidad otras señales no deseadas.

Con la idea de automatizar el proceso y almacenamiento de datos, eliminando la posibilidad de errores debidos a actuación humana, se ha elaborado un programa para control del proceso que controla el funcionamiento del generador y del analizador de espectro, almacenando cada 10 s el estado de este último, junto con la entrada de datos. Esto

permite a posteriori evaluar la bondad del proceso realizado.

La figura 2 muestra un ejemplo de la pantalla de entrada de datos que presenta el programa de automatización, para la realización de una prueba.

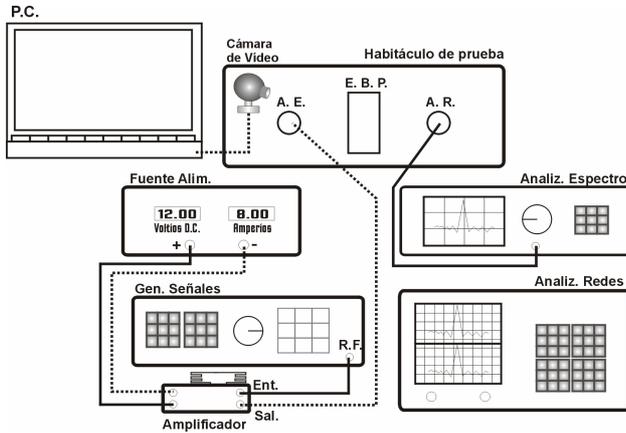


Figura 1. Sistema instrumental de RF.

III. ESTUDIO MORFOFUNCIONAL EN ANIMALES EPILÉPTICOS

Uno de los objetivos principales de este trabajo es registrar la actividad cerebral en animales expuestos a RF. Para ello se han combinado estudios de registro *EEG*, y estudios inmunohistoquímicos en tejido cerebral. Se han empleado un total de 40 ratas de la cepa *Sprague-Dawley* de un peso aproximado de 250 g. Se han realizado cuatro grupos experimentales, como se detalla en la siguiente tabla (todos los animales permanecen en el habitáculo durante 2 horas):

Grupos experimentales	
A	Normales no expuestas a RF
B	Normales expuestas a RF
C	Epilépticas no expuestas a RF
D	Epilépticas expuestas a RF

Antes, durante y después de la exposición se registra la actividad electroencefalográfica de los animales. La actividad electroencefalográfica se obtiene mediante cuatro electrodos colocados en la calota de la rata. Estos junto con un conector de dimensiones reducidas son implantados crónicamente con la ayuda de cemento dental. El conjunto se conecta a un electroencefalógrafo digital, y se analiza la actividad espectral de los registros obtenidos. Una hora después de la exposición, son sacrificados los animales, se realiza la extracción del cerebro y se procesa el tejido para su estudio con técnicas de inmunohistoquímica.

ca. Se ha evaluado, en distintas partes del cerebro la expresión del proto-oncogén-c-Fos, (que nos da información del grado de activación neuronal ante posibles estímulos), así como la expresión de distintos marcadores microgliales (que indica la respuesta de agentes inmunológicos en el cerebro).

IV. REGISTRO ELECTROENCEFALOGRÁFICO EN PACIENTES EPILÉPTICOS.

El estudio se completa con el análisis de la actividad electroencefalográfica de epilépticos. Empleamos dos teléfonos comerciales, uno de ellos actuando como emisor sobre la calota del paciente y otro que actúa como receptor en una habitación contigua. El teléfono emisor tiene conectado un manos libres manejado desde otra habitación, esto nos permite poner en funcionamiento el teléfono emisor sin que el paciente sepa en que momento su teléfono está en reposo o está activo. La actividad electroencefalográfica se registra en diferentes periodos de tiempo con el teléfono emitiendo o apagado. Los registros electroencefalográficos obtenidos son procesados analizando las modificaciones que se producen sobre los distintos ritmos cerebrales del paciente.

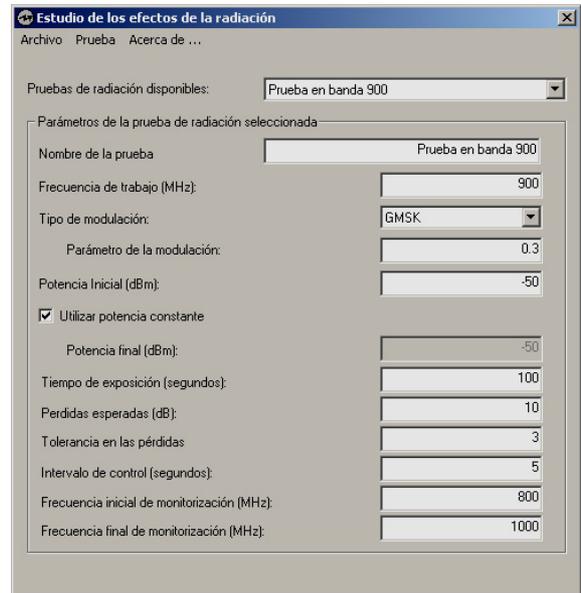


Figura 2. Pantalla de entrada de datos del programa de automatización del proceso.

V. AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido financiado por la Secretaria Xeral de Investigación e Desenvolvemento de la Xunta de

Galicia a través del programa de biotecnología y tecnologías farmacéuticas y de ciencias de la salud (PGIDIT02 BTF 20601 PR).

Los autores desean agradecer a Juan Carlos Crespo Zaragoza, José Carlos Rodríguez Doce, Helena Palacios y Juan Vassal'lo Sanz por el asesoramiento técnico y la puesta a punto del sistema instrumental.

VI. REFERENCIAS

- [1]. J. M. Osepchuk and R. C. Petersen, "Safety Standards for Exposure to RF Electromagnetic Fields", IEEE Microwave Magazine, Vol. 2, N° 2, pp. 57-69, 2001.
- [2]. C. Eulitz, P. Ullsperger, S. Eggert and T. Elbert, "Mobile phones modulate response patterns of human brain activity", Neuroreport, Vol. 9, pp. 3229, 1998.
- [3]. P. Wagner, J. Röschke, K. Mann, W. Hille and C. Frank, "Human sleep under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields: A polysomnographic study using standardized conditions", Bioelectromagnetics, Vol. 19, pp. 199-202, 1998.
- [4]. B. Alexander A, H. Reto, G. Thomas, F. Barbara, G. Eva, A. Peter, "Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram", Neuroscience letters, Vol. 275, pp. 207-210, 1999.
- [5]. E. R. Adair and R. C. Petersen, "Biological effects of radio-frequency/microwave radiation", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 50, N° 3, pp. 953-962, 2002.
- [6]. E. R. Kandel, J. H. Schwartz and T. M. Jessel, "Principles of Neural Science"(4th edition), McGraw-Hill Professional Publish, New York, 2000.
- [7]. R. L. Seaman and H. Wachtel, "Slow and rapid responses to CW and pulsed microwave radiation by individual Aplysia pacemakers", J. Microwave Power, Vol. 13, pp. 73.
- [8]. H. Lai, A. Horita, C.-K. Chou and A. W. Guy, "Low-Level microwave irradiation and central nervous cholinergic systems", Pharmacol. Biochem. Behav., Vol. 33, pp. 131, 1989.
- [9]. D. M. Hermann and K-A-Hossman, "Neurologic effects of microwave exposure related to mobile communication", J. Neurol. Sci., Vol. 152, pp. 1, 1997.
- [10]. R. Inaba, K. Shishido, A. Okada and T. Mojori, "Effects of whole body microwave exposure on the rat brain contents of biogenic amines", Eur. J. Appl. Physiol, Vol. 65, pp. 124
- [11]. G. Thuroczy, G. Kubinyi, M. Bodo, J. Bakos and L. D. Szabo, "Simultaneous response of brain electrical activity (EEG) and cerebral circulation (REG) to microwave exposure in rats", Rev. Enviro. Health., Vol. 10, pp. 135, 1994.
- [12]. M. Koivisto, C. M. Krause, A. Revonsuo, M. Laine, H. Hamalainen, "The effects of electromagnetic field emitted by GSM phones on working memory", Neuroreport, Vol. 11, N° 8, pp. 1641-3, 2000.
- [13]. M. Koivisto, A. Revonsuo, C. Krause, C. Haarala, L. Sillanmaki, M. Laine, H. Hamalainen, "Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans", Neuroreport, Vol. 11, N° 2, pp. 413-5, 2000.
- [14]. C. M. Kraus, L. Sillanmaki, M. Koivisto, A. Haggqvist, C. Saarela, A. Revonsuo, M. Laine, H. Hamalainen, "Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on EEG during a memory task", Neuroreport, Vol. 11, N° 4, pp. 761-4, 2000.
- [15]. A. W. Preece, G. Iwi, A. Davis-Smith, K. Wesnes, S. Butler, E. Lim and A. Varey, "Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man", Int. J. Radiat. Biol, Vol. 75, pp. 447, 1999.
- [16]. C. M. Cook, A. W. Thomas and F. S. Prato, "Human Electrophysiological and cognitive effects of exposure to ELF magnetic and ELF modulated RF and microwave fields: a review of recent studies", Bioelectromagnetics, Vol. 23, pp. 144-157, 2002.
- [17]. A. V. Sidorenko, and V. V. Tsariuk, "The effect of microwaves on the bioelectric brain activity", Radiats Biol Radioecol, Vol. 42, pp. 546-550, 2002.