

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA DOSIMETRIA DE DOS SISTEMAS DE RADIACIÓN A 900 MHz: Onda Estacionaria y Onda viajera.

L. López Vila ⁽¹⁾, E. Moreno Piquero ⁽¹⁾, J. L. Sebastián Franco ⁽²⁾, F. J. Jorge Barreiro ⁽³⁾, E. López Martín ⁽³⁾, F. Ares Pena. ⁽¹⁾

lucia.lopez15@rai.usc.es, famoreno@usc.es, jlsf@fis.ucm.es, cmjorge@usc.es, cmelena@usc.es, faares@usc.es

⁽¹⁾ Dpto. de Física Aplicada. Grupo de Sistemas radiantes. Universidad de Santiago de Compostela, 15782 Santiago de Compostela.

⁽²⁾ Dpto. de Física Aplicada III. Universidad Complutense de Madrid, 28040, Madrid.

⁽³⁾ Dpto. de Ciencias Morfológicas. Universidad de Santiago de Compostela, 15782 Santiago de Compostela.

Abstract- Exposure to non-ionizing electromagnetic radiation is increasing every day through mobile phones. In this experiment we try to find the influence of this exposure in twenty-four Sprague-Dawley rats brain when radiation is caused by a GTEM chamber (travelling wave chamber) and by a stationary wave chamber. Both chambers are irradiating at frequency of 900 MHz. The experimental system consisted of a vector signal generator, a directional coupler, a power meter and the two enclosures (working separately) where the animal was immobilized by a methacrylate holder. In order to determine the radiation effects, rectal thermal measures are performed to calculate the SAR (*Specific Absorption Ratio*) values in the brain. We make a comparison between the radiation dosimetry in both chambers and we find that a GTEM chamber gives lower values for the average SAR than a stationary wave chamber.

I. INTRODUCCIÓN

El avance en la tecnología móvil ha permitido la creación de terminales con funciones inimaginables hace años y con un coste cada vez más bajo [1]. El gran incremento en el uso de los teléfonos inalámbricos por la población en los últimos años, ha generado numerosos estudios sobre los posibles riesgos biológicos de la radiación no ionizante de los campos de radiofrecuencia generados por la telefonía móvil. En la actualidad muchos usuarios emplean el sistema conocido como GSM, este servicio se presta en dos bandas de frecuencias, 900 MHz y 1800 MHz [2].

Los niveles recomendados de la exposición a la radiofrecuencia son fijados por asociaciones gubernamentales que se basan en estándares internacionales [3] y en los informes de grupos independientes de comités de expertos [4]. El parámetro biológico que permite la cuantificación de la acción de las microondas a la que se exponen los tejidos está determinado por la tasa de absorción específica (SAR). Se entiende por absorción específica la cantidad de energía absorbida por una masa determinada de material en julios/kg, el SAR es la tasa medida en el tiempo, por unidad de masa, de energía de radiofrecuencia o microondas absorbida [5]. Las unidades son W/kg, pudiéndose aplicar el SAR a cualquier tejido u órgano, o

simplemente al cuerpo entero. La legislación actual establece que los niveles de SAR permitidos deben de ser inferiores a 0,4W/kg en un ambiente controlado en la totalidad del cuerpo [6] e inferiores a 2W/kg en el cerebro [7].

Los estudios experimentales llevados a cabo en sistemas de radiación con animales pequeños, permiten un control de los parámetros electromagnéticos y un análisis posterior de la dosimetría [8] de exposición a frecuencias, que se utilizan habitualmente con los teléfonos inalámbricos. Sin embargo la metodología experimental utilizada para el cálculo del SAR es variable, desde la medición directa del campo eléctrico [9], mediante sondas termométricas, [10] o un método combinado donde se aplican los valores experimentales y el sistema computacional FDTD [11].

Estudios anteriores en una cavidad de onda estacionaria simulando la señal GSM de los móviles a 900 MHz, [12] habían permitido detectar cambios importantes en la actividad cerebral (clínicos, electroencefalográficos -EEG- y morfológicos) en un modelo subconvulsivo en ratas con picrotoxina. Otros estudios, en una cámara de onda viajera (GTEM) [13] a frecuencias de 900 y 1800 MHz determinaron que un modelo subconvulsivo en ratas hembra Sprague-Dawley presentaban un descenso en la activación neuronal (c-fos positivo) al someter a los animales a la acción simultánea de la picrotoxina y la radiación.

En este trabajo utilizaremos una señal monocromática de RF de 900 MHz que simula la RF de los teléfonos móviles, para irradiar en el cerebro de ratas hembra Sprague-Dawley situadas en las cavidades (una de onda viajera, GTEM y otra de onda estacionaria) y posteriormente calcularemos el SAR comparando finalmente los resultados obtenidos en una y otra cavidad. Los valores de SAR obtenidos en ambas cavidades de radiación, nos permitirán realizar un análisis del grado de interacción de la radiación no ionizante absorbida por los tejidos de los animales en ambas cavidades.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

A continuación se muestran los dos sistemas experimentales empleados para la realización del experimento, así como el método seguido y la forma de cálculo de los valores del SAR:

A. Descripción del sistema Experimental de Radiación.

Como indicamos anteriormente hemos usado 2 cavidades: la primera (que llamaremos cavidad de onda estacionaria) fue diseñada con el fin de exponer a pequeños animales a ondas estacionarias de radiofrecuencias y poder así medir la potencia absorbida por el animal (Fig. 1.). Es una caja metálica de 150 cm de largo, 70 cm de alto y 46 cm de ancho (medidas interiores) con una antena de transmisión. La segunda (de onda viajera) es una cámara de radiación comercial GTEM 250 (Fig. 2.)

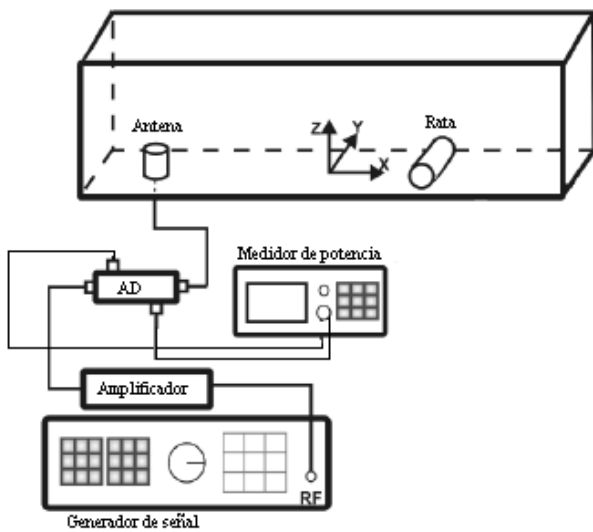


Fig. 1. Esquema del sistema experimental de la cavidad de onda estacionaria (no a escala).

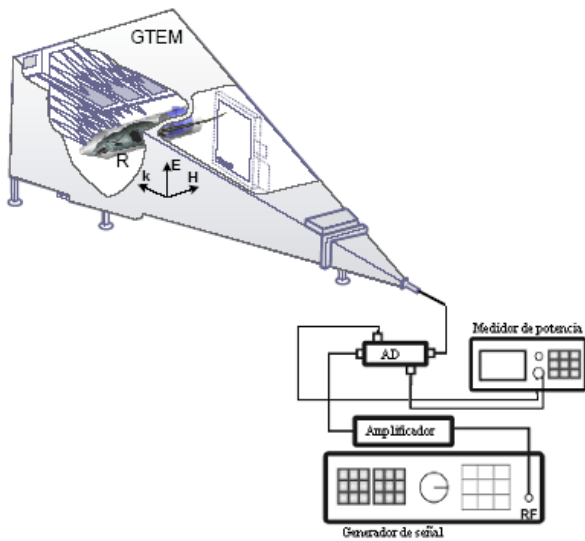


Fig. 2. Esquema del sistema experimental utilizado de la GTEM Schaffner 250 (no a escala)

El montaje experimental para ambas cámaras es el siguiente: el generador de señales vectorial (GSV) (Agilent E4438C (250KHz-4GHz), alimenta al amplificador (AMP) (Research 15S1G3 (15 Watts 0,8-3,0 GHz) con una señal sinusoidal pura de 900 MHz, la salida procedente del amplificador se conecta al acoplador direccional (AD) (NARDA 3282B-30, (800-4000 MHz)) y de ahí directamente a la cámara de radiación (GTEM o cavidad de onda estacionaria). Las potencias incidente y reflejada son controladas durante todo el experimento con un medidor de potencia (MP) (Agilent E4418B (9,0 KHz-26,5 GHz)).

B. Descripción del tratamiento de los animales

Se introducen 14 ratas Sprague-Dawley con pesos comprendidos entre 192.6 [g] y 287.4 [g] en cepos de metacrilato para impedir su movilidad y posteriormente se sitúan en unos soportes dentro de las cavidades durante 1 hora.

Hemos considerado 4 grupos (4 ratas en cada grupo radiado y 3 ratas en los grupos control):

Grupo 1: radiación en GTEM a 900 MHz.

Grupo 2: sin radiación en GTEM.

Grupo 3: radiación en cavidad de onda estacionaria a 900 MHz.

Grupo 4: sin radiación en cavidad de onda estacionaria.

C. Determinación del SAR:

Los valores de SAR han sido calculados mediante medidas de temperatura rectal, antes y después de radiar (con un termómetro digital (Testo AG 950 (-200°C, 600°C)) de dos decimales de precisión) puesto que puede establecerse una relación 1:1 entre la temperatura del recto y la del cerebro [14].

También se realizaron medidas de la temperatura ambiente, no obstante al encontrarse poca variación en ellas se consideró que no influían en la temperatura de los animales.

Se calcula por tanto el SAR en el cerebro tal como se indica en la siguiente fórmula:

$$SAR_{AT} = C_e \Delta T / \Delta t \quad (1)$$

Siendo:

- $C_e = 3700$ [J/Kg°C] el calor específico del cerebro.

- ΔT el incremento de temperatura producido durante la radiación.

- Δt el intervalo de tiempo de exposición (1 hora).

III. RESULTADOS

A. Estimaciones del SAR

Las ratas se radiaron durante 1 hora a una potencia de entrada de 2W y frecuencia de 900 MHz.

Los valores de SAR experimental se calcularon mediante la fórmula (1), obteniéndose para los animales control (que no se radiaron y permanecieron en el cepo) valores muy similares para ambas cavidades (ver Tabla 1). Esto indica una escasa influencia de factores relacionados con el estrés que podría sufrir el animal, tanto por el efecto de introducir la sonda a nivel rectal [15] como por la inmovilización [16] o por factores externos como la temperatura ambiente [17]

(que en este experimento se ha mantenido en un valor medio de 26°C).

Los valores obtenidos para el promedio del SAR en el animal expuesto en la GTEM resultan inferiores que los obtenidos en el animal expuesto en la cavidad de onda estacionaria (ver Tabla 2). La interacción continua de la radiación no ionizante en la cabeza del animal determina un incremento mayor de temperatura y de tasa de energía absorbida por este.

	Rata	Masa (g)	P _{absorbida}	ΔT (°C)	SAR (W/Kg)
GTEM	RG-1	192,6	0,013	0,07	0,072
	RG-2	218,3	0,017	0,08	0,082
	RG-3	233,3	0,324	1,35	1,388
	RG-4	287,4	0,336	1,14	1,172
Control GTEM	CG-1	201,6	0,033	0,16	0,164
	CG-2	205,2	0,076	0,36	0,370
	CG-3	216,9	0,234	1,05	1,079
Cavidad Onda estacionaria	R-1	214,1	0,160	0,73	0,750
	R-2	201	0,258	1,25	1,285
	R-3	220,3	0,151	0,67	0,688
	R-4	218,1	0,134	0,60	0,617
Control Cavidad Onda estacionaria	C-1	210	0,218	1,01	1,038
	C-2	269,9	0,042	0,15	0,154
	C-3	230,7	0,092	0,39	0,401

Tabla 1. Lista de valores del SAR estimados mediante medidas de la temperatura con sonda termométrica.

	SAR [W/Kg]
GTEM	0,678
Control GTEM	0,538
Onda Estacionaria	0,835
Control Onda Estacionaria	0,531

Tabla 2. Promedio de valores del SAR.

IV. CONCLUSIONES

Los resultados del estudio comparativo dosimétrico llevado a cabo en las dos cavidades de radiación (GTEM y onda estacionaria) con animales pequeños determinaron un incremento del SAR a la interacción continuada de las microondas a 900 MHz y 2 W de potencia mayor en el segundo sistema de radiación. Esto nos hace pensar que la determinación de las temperaturas rectales de los animales y el posterior cálculo de la tasa de absorción específica a la radiación en ambos sistemas experimentales constituyen parámetros sensibles para la Valoración de los posibles efectos de la interacción de los campos electromagnéticos en sistemas biológicos constituidos por mamíferos pequeños como los roedores.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a la Secretaria General y de Investigación y desenvolvimiento de la Xunta de Galicia que financió esta investigación con los siguientes proyectos INCITE07PXI206061ES y también agradecer la asistencia técnica de Rafael Fuentes, José Carlos Santos, Eva Domínguez y Eva García.

REFERENCIAS

- [1] W. Stewart. *Independent expert group on mobile phone. Mobile Phones and Health*. Introduction, pp. 11-18, 2000.
- [2] D. J. Panagopoulos, E. D. Chaydoula, A. Karabarounis, L. H. Margaritis. *Comparison of bioactivity between GSM 900 MHz and DCS 1800 MHz mobile telephony radiation*. *Electromagn Biol Med.*; 26 (1), pp. 33-44, 2007.
- [3] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. *Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields*. *Health Physics* 74 (4), pp. 494-522, 1998.
- [4] The Royal Society of Canada, *Report on Potential Health risk on Radiofrequency fields from wireless telecommunication devices*, 1999.
- [5] Informe del Comité de expertos de la Comunidad de Galicia. *Campos electromagnéticos de radiofrecuencia y salud*. cap 4, pp24-25, 2002.
- [6] A. Martínez. Tesis doctoral: *Estudio y desarrollo de técnicas de evaluación de dosimetría electromagnética y de niveles de exposición de emisiones radioeléctricas*. 2004.
- [7] Institute of Electrical and Electronics Engineers. *IEEE Standard for safety levels with respect to human exposure to radiofrequency electromagnetic fields, 3 KHz to 300 GHz*. IEEE. Piscataway, NJ. 1999.
- [8] E. Lopez Martín, J. L. Relova Quinteiro, J. Bregains, F. J. Ares Pena. *Acute exposure to a standing wave GSM-like mobile phone signal in rats treated with subconvulsive doses of picrotoxin: Effects on cerebral activity*. *Mobile telephones Networks, Applications and Performance*, cap 9, Harper and R. V. Bures. (Eds) A.C Nova Science Publisher, New York. pp. 241-251, 2008.
- [9] J.L. Sebastián, S. Muñoz San Martín, M. Sancho and J. M. Miranda "Modelling the internal field distribution in human erythrocytes exposed to MW radiation", *Bioelectrochemistry* 64 (1), pp. 39-45, 2004.
- [10] S. Ebert, S.J. Eom, J. Schuderer, U. Apostel, T. Tillmann, C. Dasenbrock, *Kuster Response, thermal regulatory threshold and thermal breakdown threshold of restrained RF-exposed mice at 905 MHz*. *N. Phys Med Biol*. 50 (21), 5203-5215, 2005.
- [11] E. Lopez Martin, J.C. Bregains, A. Trastoy Rios, F. J. Jorge Barreiro, J. L. Sebastián Franco, E. Moreno Piquero, F. Ares Pena. *Cálculo del SAR en el Cerebro de Animales Pequeños expuestos a la Radiación de un Sistema Experimental GSM. Efectos Biológicos*. URSI-2007.
- [12] E. López Martin, J. C. Brégains, F. J. Sebastián Franco, E. Moreno Piquero and F. Ares Pena. *An experimental set-up for measurement of the power absorbed from 900 MHz GSM standing waves by small animals, illustrated by application to picrotoxin-treated rats*. *Progress in electromagnetic research PIERs*, 87. pp.149-165, 2008.
- [13] J. C. Brégains, E. López Martin, F. J. Jorge Barreiro, J. L. Sebastián Franco, E. Moreno Piquero and F. Ares Pena. *Estudio de los efectos de la radiación en el cerebro de ratas expuestas en una cavidad GTEM a 900 y 1800 MHz*. URSI -2008.
- [14] J. A. D'Andrea, R. Y. Emmerson, C. M. Bailey, R. G. Olsen and O. P. Gandhi. *Microwave Radiation Absorption in the Rat: Frequency-Dependent SAR Distribution in Body and Tail*. *Bioelectromagnetics*, 6(2), pp. 199-206, 1985.
- [15] D.D. Bae, P.L. Brow and E.A. Kiyatkin. *Procedure of rectal temperature measurement affects brain, muscle, skin and body temperatures and modulates the effects of intravenous cocaine*. *Brain research* 1154, pp. 61-70, 2007.
- [16] J. Kononen, J. Honkanieemi, H. Alho, J. Koistinaho, M. Iaradola, M. Pelto-Huikko. *Fos-like immunoreactivity in the rat hypothalamic-pituitary axis after immobilization stress*. *Endocrinology* 130, pp. 3041-3047, 1992.
- [17] A. Bratincák, M. Palkovits. *Activation of brain areas in rat following warm and cold ambient exposure*. *Neuroscience*. 127(2), pp. 385-97, 2004.