

Efectos de la electroestimulación funcional en la coherencia de la banda theta: estudio con electroencefalografía cuantitativa

Joana Santos, Bruna Velasques, Flávia Paes, Sergio Machado, Óscar Arias-Carrión, Marlo Cunha, Henning Budde, Renato Anghinah, Luis Basile, Mauricio Cagy, Roberto Piedade, Pedro Ribeiro

Cartografía Cerebral e Integración Sensoriomotora; Instituto de Psiquiatria de la Universidad Federal de Río de Janeiro, IPUB/UFRJ (J. Santos, B. Velasques, S. Machado, M. Cunha, R. Piedade, P. Ribeiro). Laboratory of Panic and Respiration; IPUB/UFRJ (F. Paes, S. Machado). Facultad de Psicología; Brazilian Institute of Medicine and Rehabilitation, IBMR; Río de Janeiro (F. Paes). División de Neurocirugía; Facultad de Medicina, Universidad de São Paulo (R. Anghinah, L. Basile). Laboratorio de Psicofisiología; Facultad de Psicología y Fonoaudiología; UMESP (L. Basile). Facultad de Educación Física; Departamento de Biociencias; EEF/UFRJ (P. Ribeiro). División de Epidemiología y Bioestadística; Instituto de Salud Comunitaria; Universidad Federal Fluminense, UFF; Río de Janeiro (M. Cagy). Instituto de Neurociencia Aplicada, INA; Río de Janeiro (B. Velasques, S. Machado, M. Cunha, P. Ribeiro). Colegiado de Ciencias de la Actividad Física; Curso de Educación Física; Universidad Federal de Vale do São Francisco, UNIVASF; Pernambuco, Brasil (M. Cunha). Departamento de Ciencias del Movimiento y Entrenamiento; Instituto de Ciencias del Deporte; Universidad Humboldt; Berlín, Alemania (H. Budde). Servicio de Neurología; Philipps University; Marburg, Alemania (O. Arias-Carrión).

Correspondencia:

Dr. Sergio Machado. Rua Professor Sabóia Ribeiro, 69. Apto. 104. 22430-130 Leblon, RJ, Brasil.

E-mail:
secm80@yahoo.com.br

Aceptado tras revisión externa:
22.09.10.

Cómo citar este artículo:

Santos J, Velasques B, Paes F, Machado S, Arias-Carrión O, Cunha M, et al. Efectos de la electroestimulación funcional en la coherencia de la banda theta: estudio con electroencefalografía

Introducción. La estimulación eléctrica funcional (EEF) es una técnica utilizada para la rehabilitación de la disfunción motora y sensorial que consiste en aplicar una estimulación eléctrica neuromuscular al tiempo que se lleva a cabo una actividad funcional. Estudios precedentes sugieren que el procesamiento sensoriomotor que tiene lugar durante la estimulación de la mano con EEF es similar al generado con su movimiento voluntario.

Objetivo. Examinar los cambios de la coherencia de la banda theta (4-8 Hz) en la unión centroparietal y temporoparietal durante la ejecución de una tarea con EEF. La hipótesis planteada es que diferentes condiciones de electroestimulación pueden producir cambios en la coherencia de la banda theta durante la integración sensoriomotora y multisensorial.

Sujetos y métodos. La muestra se compuso de 24 estudiantes, 14 varones y 10 mujeres, de 25 a 40 años de edad. Los participantes se distribuyeron al azar en tres grupos: grupo control ($n = 8$), grupo G24 ($n = 8$) y grupo G36 ($n = 8$). El grupo control simuló cuatro bloques sin recibir electroestimulación. El grupo G24 se expuso a cuatro bloques de electroestimulación, y el G36, a seis bloques. La electroestimulación aplicada con el equipo de EEF consistió en estimular la extensión del dedo índice derecho al tiempo que se registraba la señal electroencefalográfica.

Resultados. Se halló un efecto principal de la condición, el bloque y el electrodo en la unión centroparietal, a diferencia de la unión temporoparietal, en la que únicamente se constató un efecto principal de la condición y del electrodo.

Conclusión. Los resultados parecen indicar que el acoplamiento funcional entre las zonas central y parietal está vinculado directamente con la función de la memoria de preparación (*priming*), aunque el acoplamiento entre las zonas temporal y parietal se relacione con la memoria de trabajo.

Palabras clave. Acoplamiento funcional. Banda theta. Coherencia. Electroencefalografía. Electroestimulación funcional. Integración sensoriomotora.

Introducción

La estimulación eléctrica funcional (EEF) es una técnica utilizada para la rehabilitación de la disfunción motora y sensorial que consiste en la aplicación de estimulación eléctrica neuromuscular mientras se realiza una actividad funcional [1]. Estudios previos sugieren que el procesamiento sensoriomotor que tiene lugar durante la estimulación EEF es similar al observado durante el movimiento voluntario de la mano [2]. La electroencefalografía cuantitativa (EEGc) es una técnica electrofisiológica temporal de alta definición que mide las alteraciones corticales durante las tareas motoras, sensoriales y cognitivas [3-5]. El uso de la EEGc en la investigación de la estimulación eléctrica está brindando resultados acerca de la función cortical durante la integración sensoriomotora [2,6-8]. De las diversas bandas de frecuencias que escruta la EEGc, la theta

(4-8 Hz) se asocia habitualmente al procesamiento cognitivo [4] como un error del procesamiento de la información [9], y la identificación y codificación del estímulo sensorial [4,10,11]. La banda theta puede ser evocada espontáneamente o por medio de un estímulo cognitivo o sensorial determinista [12]. Los estudios han demostrado que las oscilaciones theta están relacionadas con los mecanismos subyacentes de integración sensoriomotora voluntaria [13]. A pesar de estos datos, poco sabemos sobre la influencia de las tareas de movimiento pasivo en la onda theta.

La coherencia es un parámetro extraído de la EEGc que representa la intercomunicación entre dos zonas distintas. La dinámica entre tales áreas evidencia cambios en el acoplamiento entre ambas durante la ejecución de una tarea [14,15]. El análisis de la coherencia puede suministrar información sobre qué señal es la escogida y activada durante el

proceso de integración sensoriomotor [16-18]. Por tanto, el presente estudio analiza los cambios en la frecuencia de coherencia de la banda theta en la unión centroparietal y temporoparietal durante la ejecución de una tarea con EEF. Se plantea la hipótesis de que diferentes condiciones de electroestimulación provocan cambios en la coherencia de la banda theta en las áreas donde tiene lugar la integración sensoriomotora y multisensorial.

Sujetos y métodos

Muestra

La muestra del estudio se compuso de 24 estudiantes (14 hombres y 10 mujeres), de 25 a 40 años de edad ($32,5 \pm 7,5$ años), todos ellos diestros [19]. Los criterios de admisión excluían a personas con trastornos mentales o físicos (comprobado con una anamnesis y una exploración clínica previas) o que consumieran sustancias psicoactivas o psicotrópicas. Los participantes firmaron un formulario de consentimiento y estaban al corriente de todo el protocolo experimental. El experimento contó con la aprobación del Comité de Ética de la Universidad Federal de Río de Janeiro.

Procedimiento experimental

Los participantes fueron asignados aleatoriamente a uno de los tres grupos siguientes: grupo control ($n = 8$), grupo G24 ($n = 8$) y grupo G36 ($n = 8$). La tarea se llevó a cabo en una estancia con la luz y el sonido atenuados, en la que los voluntarios se sentaron cómodamente en una butaca y apoyaron los brazos en una mesa situada frente a ellos a fin de reducir los artefactos musculares; también se les vendaron los ojos para reducir los estímulos visuales y el parpadeo. Acto seguido, se procedió a estimular los músculos de las manos con un estimulador microcomputarizado de ocho canales (Ibamed, Neuro Compact-2642), bifásico (amplitud de pulso fija de 320 μ s para cada fase) y rectangular con impulsos de corriente constante. La frecuencia de los impulsos de estimulación se fijó en 48,8 Hz para conseguir una contracción suficientemente suave, pero fuerte, de los músculos sin provocar una fatiga excesiva. La amplitud de la corriente se ajustó en 2×10^{-3} A. Con el aparato, dotado de una fuente de corriente, se estimuló la extensión del dedo índice derecho. La mano se sujetó a la mesa, dejando libre únicamente el dedo índice objeto de la estimulación; los demás dedos se inmovilizaron

con una tira de velcro. La resistencia de la piel, medida con un multímetro (ohmiómetro), osciló entre 800 y 1.500 Ω . La piel se raspó y se limpió con alcohol, y después se aplicó un gel en los puntos de colocación de los electrodos. El primero se colocó a 5 cm del epicóndilo lateral en el costado lateral del antebrazo, y el otro a 12 cm del anterior en el lado posterior del antebrazo, siguiendo la trayectoria del tendón extensor del índice.

Procedimientos de la tarea

El experimento constó de pruebas y bloques: cada prueba estaba determinada por un momento de estimulación (*time on*), con 4,86 s de paso de corriente, seguido de un momento de reposo (*time off*), con 8,39 s sin paso de corriente, y, a su vez, cada bloque se compuso de seis de estas pruebas. El grupo control simuló cuatro bloques (24 pruebas) con períodos de separación de un minuto entre ellos durante los que no se aplicó electroestimulación: la intensidad de la corriente en este grupo fue nula. El grupo G24 se expuso a cuatro bloques (24 pruebas) de electroestimulación con intervalos de un minuto entre cada bloque, en las condiciones de funcionamiento antes descritas. Por su parte, el grupo G36 se expuso a seis bloques (36 pruebas) de electroestimulación con un intervalo de un minuto entre cada bloque e idénticas condiciones que el grupo G24. En este último grupo se aplicaron 5.693 impulsos, con un tiempo total de 116,64 s, mientras que en el G36 se aplicaron 8.539 impulsos, con un tiempo total de 174,96 s. El grupo control sólo simuló los procedimientos de electroestimulación de acuerdo con lo descrito arriba. Las señales electroencefalográficas se captaron al mismo tiempo que se aplicaba la electroestimulación en el músculo extensor del dedo.

Adquisición de los datos

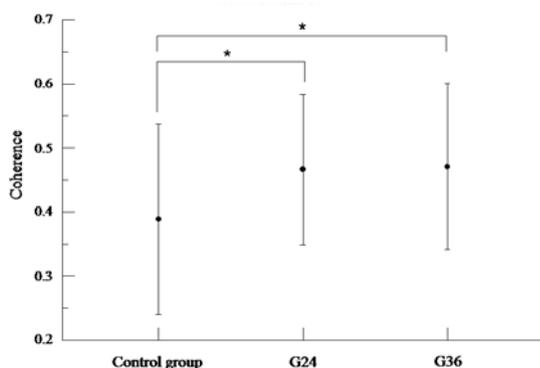
Los electrodos se dispusieron de acuerdo con el sistema internacional 10/20 [20] y se conectaron a un electroencefalógrafo de 20 canales Braintech-3000 (EMSA Medical Instruments, Brasil). Los 20 electrodos se colocaron en un gorro de nailon (Electro-Cap, Fairfax, VA, EE. UU.), quedando como derivaciones monopolares referidas a los lóbulos auriculares. Asimismo, se fijaron dos electrodos de 9 mm de diámetro por encima y en la comisura externa del ojo derecho, en un montaje bipolar, para monitorizar los artefactos causados por el movimiento ocular (EOG). La impedancia de los electrodos EEG y EOG se mantuvo entre 5-10 k Ω . Los datos adquiridos presentaron una amplitud total inferior a 100 μ V.

cuantitativa. Rev Neurol 2011; 53: 8-14.

© 2011 Revista de Neurología

English version available
in www.neurologia.com

Figura 1. Media y desviación estándar de la coherencia en la banda theta en la unión centroparietal. El resultado reveló un efecto principal de la condición ($p < 0,001$). La prueba de Scheffé reveló una diferencia significativa entre el grupo control y el grupo G24 ($p < 0,001$), y entre el grupo control y el grupo G36 ($p < 0,001$).



La señal de la EEG se amplificó con una ganancia de 22.000, se filtró analógicamente entre 0,01 Hz (paso alto) y 100 Hz (paso bajo), y se muestreó a 240 Hz. El programa de adquisición de datos empleado, Delphi 5.0, es el utilizado en el Laboratorio de Cartografía Cerebral e Integración Sensoriomotora, con los siguientes filtros digitales: *notch* (60 Hz), paso alto de 0,3 Hz y paso bajo de 25 Hz.

Procesamiento y análisis de los datos

A fin de cuantificar los datos sin referencia, se llevó a cabo una inspección ocular y un análisis de componentes independientes para eliminar posibles fuentes de artefactos producidos por la tarea. Se aplicó un estimador clásico para la densidad de potencia espectral, o directamente a partir del cuadrado de la transformada de Fourier, que se realizó con MATLAB 5.3 (Matworks, Inc.). El número de muestras ascendió a 800 (4 s \times 200 Hz) con ventana rectangular. Los parámetros cuantitativos del EEG se extrajeron de períodos de 8 s programados con movimiento compensado o estimulación (la ventana de tiempo seleccionada comenzó 4 s antes y concluyó 4 s después del estímulo desencadenante (*trigger*), es decir, momento 1 y momento 2, respectivamente). Después, todas las pruebas EEG brutas se revisaron visualmente y se descartaron todas las afectadas por artefactos oculares o musculares. La resolución de la transformada rápida de Fourier fue de 1/4 s-0,25 Hz. Para examinar la estacionaria, se aplicaron las prue-

bas de ráfagas (*Run Test*) y de ordenaciones invertidas (*Reverse-Arrangement Test*). Especialmente, la estacionaria se aceptó para cada 4 s (duración de la ventana de tiempo en este período). De esta manera, partiendo de las ventanas de tiempo EEG libres de artefactos, se definió el umbral con la media más tres desviaciones estándares, y las ventanas de tiempo que presentaron una potencia total superior a la del umbral se excluyeron del análisis.

Análisis estadístico

La coherencia en la banda theta fue la variable dependiente de interés. Los análisis estadísticos de la coherencia en dicha banda se efectuaron con un ANOVA para medidas repetidas de cuatro vías con cuatro factores, todos ellos intrasujeto, a saber: condición (grupos control, G24 y G36), electrodos (C3/P3, C4/P4, T3/P3 y T4/P4), momento (antes y después de la estimulación) y bloque (primer y último bloque de estimulación). El análisis se realizó con el programa estadístico SPSS v. 17.0.

Resultados

Se efectuaron dos ANOVA de cuatro vías (factores: electrodo \times condición \times bloque \times momento): uno para analizar la unión centroparietal (C3-P3 y C4-P4) y otro para analizar la unión temporoparietal (T3-P3 y T4-P4). En el primero se constató un efecto principal de la condición ($p < 0,001$) (Fig. 1), del bloque ($p = 0,016$) (Fig. 2) y del electrodo ($p < 0,001$) (Fig. 3). En lo que atañe al efecto principal de la condición, la prueba de Scheffé evidenció diferencias significativas entre el grupo control y los grupos G24 ($p < 0,001$) y G36 ($p < 0,001$). El efecto principal correspondiente al bloque demostró que el último bloque es mayor que el primero. Por lo que respecta al efecto principal del electrodo, se observó una diferencia entre C4-P4 y C3-P3; el valor de la coherencia fue superior en la combinación de electrodos C4-P4. Asimismo, se llevó a cabo un ANOVA de tres vías (factores: electrodo, bloque y momento para cada condición) con cada grupo. En el grupo control y en el grupo G24, se observó una diferencia significativa en el electrodo ($p = 0,004$ y $p = 0,025$, respectivamente), y en el grupo G36, una diferencia significativa en el bloque ($p = 0,05$) y el electrodo ($p = 0,001$).

En el segundo análisis se observó un efecto principal de la condición ($p < 0,001$) (Fig. 4) y del electrodo ($p < 0,001$) (Fig. 5). La exploración del efecto principal en el caso de la condición (prueba de Sche-

ffé) reveló la existencia de diferencias significativas entre el grupo control y los grupos G24 ($p = 0,008$) y G36 ($p < 0,001$). Respecto al efecto principal del electrodo, se observó una diferencia entre T4-P4 y T3-P3, con un valor superior de la coherencia en los electrodos T4-P4. Para analizar cada condición por separado, también se llevó a cabo un ANOVA de tres vías. La condición del grupo control demostró un efecto principal en el caso del electrodo ($p < 0,001$), efecto que también se observó en el grupo G24 ($p < 0,001$); por lo que respecta al grupo G36, se constató un efecto principal del bloque ($p = 0,003$) y del electrodo ($p < 0,001$).

Discusión

El presente estudio tuvo por objeto analizar las alteraciones de la coherencia de la banda theta en las regiones centroparietal y temporoparietal bajo distintas condiciones de electroestimulación. Nuestra hipótesis experimental es que las diferentes condiciones de electroestimulación provocan distintas variaciones en la coherencia theta de la unión centroparietal y temporoparietal. Estas regiones están involucradas en la recepción de la información sensorial y en la ejecución de las respuestas motoras [21]. La presente discusión implica la comparación de las regiones centroparietal y temporoparietal de ambos hemisferios. Los dos análisis corroboraron la existencia de un efecto principal de la condición y del electrodo, así como de un efecto principal del bloque en el análisis de la unión centroparietal.

Unión centroparietal: integración sensoriomotora

El experimento consistió en aplicar electroestimulación al dedo índice para evaluar el proceso de integración sensoriomotora a través del análisis electrocortical de la EEGc. Nuestros resultados demuestran un efecto principal de la condición, del bloque y del electrodo. Se halló una diferencia significativa entre el grupo control y los dos grupos experimentales (G24 y G36), aunque no se pudo detectar un efecto principal entre estos dos grupos. Esto demuestra que la electroestimulación causa alteraciones en la coherencia theta, aunque la cantidad de electroestimulación, representada por el número de bloques en cada grupo, no modificó la intensidad de la comunicación entre las regiones central y parietal. En relación con el efecto principal del bloque, se verificó un aumento en la coherencia theta desde el primero hasta el último bloque, lo cual indica un incremento del acoplamiento funcional en-

Figura 2. Media y desviación estándar de la coherencia en la banda theta en la unión centroparietal. El resultado revela un efecto principal del bloque ($p = 0,018$).

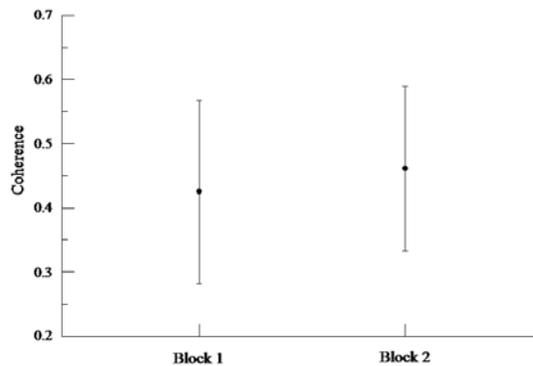
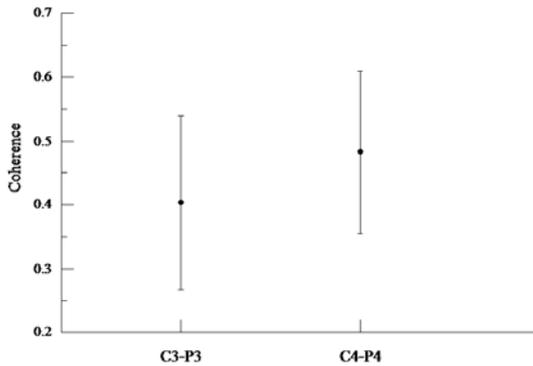


Figura 3. Media y desviación estándar de la coherencia en la banda theta en la unión centroparietal. El resultado demuestra un efecto principal del electrodo ($p < 0,001$).



tre las cortezas central y parietal durante el experimento que puede interpretarse como un efecto de aprendizaje. En lo que atañe al efecto principal del electrodo, este estudio corroboró la existencia de un aumento de la coherencia en la unión centroparietal derecha, lo que demuestra la mayor implicación de esta región en la tarea respecto a la unión centroparietal izquierda.

La región somatosensorial es una zona relacionada con el procesamiento de la información sensorial y la integración sensoriomotora, mientras que la corteza parietal participa en la integración multisensorial [14,22]. Por consiguiente, los aconteci-

Figura 4. Media y desviación estándar de la coherencia en la banda theta en la unión temporoparietal. El resultado demuestra un efecto principal de la condición ($p < 0,001$). La prueba de Scheffé demostró una diferencia significativa entre el grupo control y el grupo G24 ($p = 0,005$), así como entre el grupo control y el grupo G36 ($p < 0,001$).

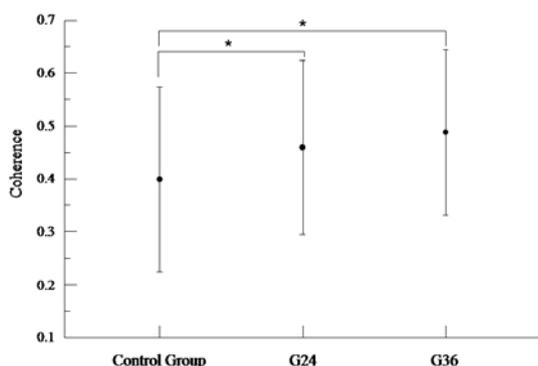
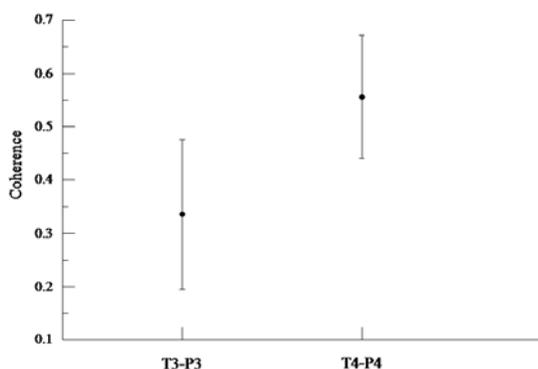


Figura 5. Media y desviación estándar de la coherencia en la banda theta en la unión temporoparietal. El resultado revela un efecto principal del electrodo ($p < 0,001$).



mientos somatosensoriales y sensoriomotores pueden estimular la activación de la unión centroparietal [14]. Los resultados presentados en este estudio apuntan a una mayor implicación de la unión centroparietal derecha o, mejor dicho, de la región ipsilateral a la estimulación. Los datos obtenidos hasta el momento han demostrado que la representación del cuerpo en la corteza somatosensorial es fundamentalmente contralateral, pero muchos estudios indican una función similar en la región ipsilateral [23-25]. Estudios anteriores han demostrado que la electroestimulación del dedo de una mano

puede alterar la perfección en la mano opuesta, lo que sugiere un modelo funcional del procesamiento de la información somatosensorial [24,25]. Por ello, nuestro estudio consolida la idea de la importancia funcional de la corteza somatosensorial ipsilateral, porque el uso de los datos de coherencia permitió comprobar que no es simplemente la activación de la zona determinada, sino el acoplamiento de las dos zonas, lo que caracteriza a la función del procedimiento.

En un estudio reciente, Babiloni et al [14] investigaron si el acoplamiento funcional centroparietal, analizado mediante la coherencia entre C3 y P3, aumentaba durante la anticipación de los episodios somatosensoriales. Con esta pretensión, recurrieron a un experimento que implicaba dos tareas: el paradigma *go/no go*, con una presentación de estímulos visuales, y la electroestimulación intracutánea del índice. El experimento incluía dos condiciones: una en la que los estímulos visuales aparecían al mismo tiempo que la electroestimulación, y otra con un período de 1,5 s entre ambos. Los resultados parecen revelar un aumento de la conexión bilateral entre las zonas central y parietal en todas las frecuencias durante el período que precede a la estimulación en la condición simultánea, y un aumento contralateral cuando los estímulos visuales preceden a la electroestimulación. Nuestros resultados concuerdan con los de estudios anteriores, que demostraron el reforzamiento del acoplamiento entre las zonas centro y derechoparietal durante la estimulación eléctrica del índice. Este hallazgo confirma la importancia de la comunicación de estas zonas en la integración sensoriomotora. A pesar de que nuestros datos no confirman un efecto principal del factor del momento, el aumento de la coherencia en todos los bloques sugiere una expresión de la memoria de preparación (*priming*), ya que ésta actúa como una preestimulación que ayuda en la manifestación de una respuesta futura. Por ello, entendemos que la memoria de preparación actúa como un modulador del sistema somatosensorial y sirve como base para cada nuevo bloque, permitiendo que el sistema reconozca los estímulos de una forma más integrada. En consecuencia, sugerimos que el acoplamiento entre las regiones central y parietal en la banda theta guarda una correlación directa con la memoria de preparación.

Unión temporoparietal: integración multisensorial

El análisis de la unión temporoparietal demuestra un efecto principal de los factores de condición y electrodo. El efecto principal hallado en el caso de

la condición se observó entre el grupo control y los dos grupos experimentales (G24 y G36), pero no se observó ningún efecto principal entre estos últimos. Ello indica que la intensidad del acoplamiento entre las regiones temporal y parietal no depende directamente de la cantidad de bloques de electroestimulación presentados. Es más, el efecto principal del electrodo demostró el aumento de la coherencia en la unión temporoparietal derecha, lo que indica una mayor implicación de esta región en la tarea respecto a su homónima izquierda.

La función principal de la unión temporoparietal consiste en la integración multisensorial y en la percepción del propio cuerpo [21,26]. Esta zona se escogió para el presente estudio debido al carácter sensorial del experimento. Los resultados demuestran que, en las condiciones del experimento, la coherencia entre estas zonas aumentó, lo que demuestra la importancia de este acoplamiento en la tarea de electroestimulación. Por ello, estos resultados comportan que esta región resulta activada por la estimulación unimodal, aunque se sabe que es la responsable de la integración multisensorial. En un estudio reciente, Balslev et al [27] analizaron las áreas corticales implicadas en la coordinación de los estímulos conflictivos; con tal fin, pidieron a los participantes del estudio que reprodujeran un movimiento concreto con el índice de la mano izquierda, imitando a otro dedo que aparecía en una pantalla. Los investigadores recurrieron a dos condiciones distintas: en la primera, el experimentador movía el índice derecho del sujeto de la misma forma que el dedo de la pantalla, generando información congruente; en la segunda, el índice derecho se desplazaba de forma incongruente con la imagen. La zona más activada en la situación de incongruencia fue la unión temporoparietal derecha, lo que pone de manifiesto la importancia de esta región en las situaciones de desorientación sensorial. Por nuestra parte, nuestro estudio no analiza directamente la incongruencia sensorial, pero se halló un aumento de la coherencia theta en la unión temporoparietal derecha y, por tanto, podríamos suponer que, cuando se aplica la electroestimulación, la parte del proceso de control motor regida por el sistema central es sustituida por una corriente eléctrica externa que produce una respuesta independiente del proceso central, que, en cierta forma, confunde al sistema de control periférico. En otras palabras, produce un movimiento involuntario que genera incongruencia entre el control central y el control periférico.

En un estudio reciente, Hegner et al [28] investigaron la oscilación cortical relacionada con la me-

moria del trabajo táctil utilizando técnicas de magnetoencefalografía. A 14 participantes diestros se les pidió que dijeran si los dos estímulos táctiles aplicados secuencialmente con un lapso de 3 s a la punta del dedo corazón derecho eran iguales o diferentes. Este experimento demostró que la corteza temporoparietal ipsilateral desempeña un papel importante en el mantenimiento de la información táctil en la memoria de trabajo. En nuestro caso, se halló una mayor coherencia theta en la corteza temporoparietal ipsilateral en el grupo experimental (G24 y G36), lo que demuestra que la tarea propició una respuesta de esta zona. Asimismo, no se observó ningún efecto principal entre el primer y el último bloque, ni entre antes y después de la estimulación; ello sugiere que la información permaneció en el sistema durante todo el experimento, lo que refleja la actuación de la memoria. Así pues, nuestros resultados concuerdan con los obtenidos por Hegner et al [28] en que la memoria de trabajo no sólo se caracteriza por ser una memoria a corto plazo en la que se almacenan los datos que deben utilizarse con rapidez, sino también por ser una memoria que permanece en la corteza durante el período de ejecución de una tarea a fin de garantizar su eficiencia. Por consiguiente, nuestro experimento refuerza la función de la unión temporoparietal ipsilateral en la memoria de trabajo táctil desde su activación hasta el final del experimento. Asimismo, de un modo muy parecido a lo que demostraron Hegner et al [28], se comprobó que esta información puede permanecer en la memoria algo más que unos pocos segundos, porque en nuestro estudio los intervalos entre los bloques fueron de un minuto. Este hecho revela la necesidad de proseguir las investigaciones sobre la memoria de trabajo somestésica, con el fin de averiguar el tiempo de permanencia y su capacidad.

Bibliografía

1. Peckham, PH, Knutson JS. Functional electrical stimulation for neuromuscular applications. *Annu Rev Biomed Eng* 2005; 7: 327-60.
2. Velasques B, Cunha M, Machado S, Minc D, Abramhosa A, Silva A, et al. Changes in slow and fast alpha bands in subjects submitted to different amounts of functional electro-stimulation. *Neurosci Lett* 2008; 441: 149-52.
3. Gevins A, Smith ME, McEvoy LK, Leong H, Le J. Electroencephalographic imaging of higher brain function. *Phil Trans R Soc Lond B Biol Sci* 1999; 354: 1125-33.
4. Kerick SE, Hatfield BD, Allender LE. Event-Related cortical dynamics of soldiers during shooting as a function of varied task demand. *Aviat Space Environ Med* 2007; 78: 153-64.
5. Machado D, Bastos VH, Cunha M, Velasques B, Machado S, Basile L, et al. Efectos del bromacepam en el desarrollo de una actividad sensoriomotora: un estudio electroencefalográfico. *Rev Neurol* 2009; 49: 295-9.

6. Müller GR, Neuper C, Rupp R, Keinrath C, Gerner HJ, Pfurtscheller G. Event-related beta EEG changes during wrist movements induced by functional electrical stimulation of forearm muscles in man. *Neurosci Lett* 2003; 340: 143-47.
7. Ecard L, Silva AP, Neto MP, Veiga H, Cagy M, Piedade R, et al. Os efeitos da estimulação elétrica funcional na assimetria cortical inter-hemisférica. *Arq Neuropsiquiatr* 2007; 65: 642-46.
8. Pfurtscheller G, Woertz M, Muller G, Wriessnegger S, Pfurtscheller K. Contrasting behavior of beta event-related synchronization and somatosensory evoked potential after median nerve stimulation during finger manipulation in man. *Neurosci Lett* 2002; 323: 113-6.
9. Luu P, Tucker D, Makeig S. Frontal midline theta and the error related negativity: neurophysiological mechanisms of action regulation. *Clin Neurophysiol* 2004; 115: 1821-36.
10. Klimesch W, Doppelmayr M, Schwaiger J, Winkler T, Gruber W. Theta oscillations and the ERP old/new effect: independent phenomena? *Clin Neurophysiol* 2000; 111: 781-93.
11. Klimesch W, Hanslmayr S, Sauseng P, Gruber W, Brozinsky CJ, Kroll NE, et al. Oscillatory EEG correlates of episodic trace decay. *Cereb Cortex* 2006; 16: 280-90.
12. Erol B, Martin S, Oliver S. The selectively distributed theta system: functions. *Int J Psychophysiol* 2001; 39: 197-212.
13. Bland BH, Oddie SD. Theta band oscillation and synchrony in the hippocampal formation and associated structures: the case for its role in sensorimotor integration. *Behav Brain Res* 2001; 127: 119-36.
14. Babiloni C, Brancucci A, Vecchio F, Arendt-Nielsen L, Chen AC, Rossini PM. Anticipation of somatosensory and motor events increases centro-parietal functional coupling: an EEG coherence study. *Clin Neurophysiol* 2006; 117: 1000-8.
15. Kay L. Theta oscillations and sensorimotor performance. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2005; 102: 3863-8.
16. Womelsdorf T, Fries P. Neuronal coherence during selective attentional processing and sensory-motor integration. *J Physiol* 2006; 100: 182-93.
17. Serrien DJ, Pogosyan AH, Brown P. Influence of working memory on patterns of motor related cortico-cortical coupling. *Exp Brain Res* 2004; 155: 204-10.
18. Lattari E, Velasques B, Cunha M, Budde H, Basile L, Cagy M, et al. Revisión crítica del comportamiento de la coherencia corticomuscular en el control motor fino de la fuerza. *Rev Neurol* 2010; 51: 610-23.
19. Oldfield R. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia* 1971; 9: 97-113.
20. Jasper H. The ten-twenty electrode system of the international federation. *EEG Clin Neurophysiol* 1958; 10: 371-5.
21. Blanke O, Arzy S. The out-of-body experience: disturbed self processing at the temporo-parietal junction. *Neuroscientist* 2005; 11: 16-24.
22. Chen TL, Babiloni C, Ferretti A, Perrucci MC, Romani GL, Rossini PM, et al. Human secondary somatosensory cortex is involved in the processing of somatosensory rare stimuli: an fMRI study. *Neuroimage* 2008; 40: 1765-71.
23. Sutherland MT. The hand and the ipsilateral primary somatosensory cortex. *J Neurosci* 2006; 26: 8217-8.
24. Braun C, Hess H, Burkhardt M, Wuhle A, Preissl H. The right hand knows what the left hand is feeling. *Exp Brain Res* 2005; 162: 366-73.
25. Harris JA, Harris IM, Diamond ME. The topography of tactile learning in humans. *J Neurosci* 2001; 21: 1056-61.
26. Tsakiris M, Costantini M, Haggard P. The role of the right temporo-parietal junction in maintaining a coherent sense of one's body. *Neuropsychologia* 2008; 46: 3014-8.
27. Balslev D, Nielsen FA, Paulson OB, Law I. Right temporoparietal cortex activation during visuo-proprioceptive conflict. *Cereb Cortex* 2005; 15: 166-9.
28. Hegner YL, Lutzenberger W, Leiberg S, Braun C. The involvement of ipsilateral temporoparietal cortex in tactile pattern working memory as reflected in beta event-related desynchronization. *Neuroimage* 2007; 37: 1362-70.

Effects of functional electro-stimulation in the theta-band coherence: a quantitative electroencephalograph study

Introduction. Functional electrical stimulation (FES) is a technique used for rehabilitation of motor and sensory dysfunction and consisted in the application of neuromuscular electrical stimulation concurrently with a functional activity. Previous studies suggest that sensory motor processing during FES stimulation of hand is similar to that of voluntary hand movement.

Aim. To examine the changes in theta band (4-8 Hz) coherence in the centro-parietal and temporo-parietal junction during a FES task. Our hypothesis is that different conditions of electro-stimulation can produce changes in the theta band coherence in the sensory-motor and multisensory integration.

Subjects and methods. The sample was composed of 24 students, male ($n=14$) and female ($n=10$), between 25 and 40 years old. Subjects were randomly distributed in three groups: control group ($n=8$), G24 ($n=8$) and G36 ($n=8$). The control group simulated four blocks without electrostimulation been applied. The G24 group was exposed to four blocks of electrostimulation. The G36 group was exposed to six blocks of electrostimulation. We employed FES equipment to stimulate the extension of the right index finger and the electroencephalographic signal was simultaneously recorded.

Results. A main effect was found for the condition, block and electrode in the centro-parietal junction, although we only found a main effect for condition and electrode in the temporo-parietal junction.

Conclusion. Our results suggest that the functional coupling between the central and parietal areas is directly connected to the priming memory function, although the coupling between temporal and parietal areas is related to the working memory.

Key words. Coherence. Electroencephalography. Functional coupling. Functional electro-stimulation. Sensory-motor integration. Theta band.