

Desincronización/sincronización de ritmos EEG laterales en la habituación a la fotoestimulación en adultos

Héctor Brust-Carmona,^{*} Gabriel Valadez,[§] Marlene Galicia,[§] Blanca Flores-Ávalos,[†]
Ana Sánchez,[†] Rosa Espinosa,[‡] Óscar Yáñez^{||}

^{*}Dirección de Investigación, [†]Servicio de Electrodiagnóstico, [‡]Servicio de Psicología, Instituto Nacional de Rehabilitación.

[§]Facultad de Psicología, Universidad Nacional Autónoma de México.

^{||}Laboratorio de Imagenología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.

Desynchronization/synchronization of lateral EEG rhythms during habituation to photostimulation in adults

RESUMEN

ABSTRACT

Background. Berger related the EEG with cognition; we are attempting to identify which rhythms and circuits participate in habituation, a learning that decreases responses to meaningless stimuli which, changed the absolute power (AP) of EEG oscillations. **Objective.** To characterize habituation, analyzing the AP of four rhythms in lateral regions of both hemispheres (BH), proposing that their diminution, desynchronization (D), means activation whereas their increase, synchronization (S), means inhibition. **Material and methods.** qEEG analysis in 83 college students, in waking state with closed eyes, and photostimulated (RPh). The used UAMI/Yáñez software identifies RPh signals and takes 2-s samples before (Pre) and during RPh; the Welch periodogram integrates the AP of the four rhythms. We calculated the average AP (AAP) in Pre and RPh per frequency in bipolar lateral leads per hemisphere. AAP differences were evaluated with the Wilcoxon tests correcting with Bonferroni for repeated samples. Applying the linear regression model, we plotted the AAP distribution slopes during Pre and RPh. **Results.** We established the differences of the AP of the four rhythms within each hemisphere and between both hemispheres (BH). During PRE, AAP of δ and θ increased whereas α and β decreased. RPh increased the AAP ($p = 0.01$) of the four rhythms in fronto-frontal (FF) leads; the increase in δ persisted in fronto-temporal (FT) and temporo-occipital (TO), whereas β 's increase persisted in all leads. The AAP of α decreased with the first RPh (D) increasing with the following ones; its slope starts with desynchronization and ends with synchronization. Theta followed a D/S pattern in temporal leads. Beta followed an ascending (S) slope in all leads. **Conclusions.** Habituation results from the D/S of α in all cortical regions, of θ in temporal, of δ in frontal

Introducción. Berger relacionó el EEG con cognición y se investigan los ritmos y circuitos que participan en la habituación, aprendizaje en el que disminuyen las respuestas a estímulos no significativos, que se manifiesta en los cambios de la potencia absoluta (PA) de las oscilaciones del EEG. **Objetivo.** Caracterizar la habituación, analizando la PA de cuatro frecuencias en regiones laterales de ambos hemisferios (AH), proponiendo que su disminución, desincronización (D), significa activación y su aumento, sincronización (S), inhibición. **Material y métodos.** Análisis EEGc en 83 estudiantes de licenciatura, en vigilia con párpados cerrados, ante fotoestimulación (FR). El programa UAMI/Yáñez identifica señales FR y toma muestras de 2 s previos (Pre) y durante FR; el periodograma Welch integra la PA de delta (δ), theta (θ), alfa (α) y beta (β). Se calculó el promedio de PA (PPA) en Pre y FR por frecuencia en montaje lateral bipolar, por hemisferio. Las diferencias de PPA se evaluaron con prueba de Wilcoxon con corrección de Bonferroni para muestras repetidas. Aplicando el modelo de regresión lineal, se graficaron las pendientes de la distribución temporal de los PPA durante Pre y FR. **Resultados.** Se establecen los perfiles de la PA de los cuatro ritmos en las diversas derivaciones interhemisferios y entre AH. En Pre, los PPA de δ y θ aumentaron, mientras que α y β disminuyeron. La FR aumentó los PPA ($p = 0.01$) de los cuatro ritmos en fronto-frontal (FF); el incremento de δ persistió en fronto-temporales (FT) y temporo-occipitales (TO), mientras que el incremento de β se mantuvo en todas las derivaciones. El PPA de α disminuyó con las primeras FR (D) y con las siguientes aumentó (S), su pendiente va de D/S. Theta siguió una pendiente D/S en las derivaciones temporales. Beta fue ascendente (S) en todas las derivaciones. **Conclusión.** La habituación resulta del proceso D/S de α en las regiones corticales analizadas, de θ en temporales, de δ en FF y β se sincronizó en todas las regiones. La sincronización refleja hiperpolarización de las membranas neuronales, lo que disminuye su actividad.

regions and β in all regions. Synchronization reflects hyperpolarization of neuronal membranes, decreasing their activity.

Key words. qEEG habituation. Desynchronization/synchronization of alpha. Synchronization of beta. Linear regression habituation.

Palabras clave. EEGc habituación. Desincronización/Sincronización alfa. Sincronización β . Regresión lineal habituación.

INTRODUCCIÓN

Las oscilaciones de los potenciales de membrana de ensambles neuronales principalmente corticales pueden analizarse mediante el electroencefalograma cuantitativo (EEGc). El desarrollo de esta técnica abrió nuevas posibilidades para el estudio de la actividad eléctrica espontánea e inducida y para el apoyo diagnóstico en casos de patología del sistema nervioso central. En este último caso, es necesario establecer parámetros de comparación obtenidos de poblaciones sanas.¹⁻³

El EEGc es un procedimiento sin riesgo para personas con características variadas (sexo, edad, condición física, etc.), fácil de realizar y de bajo costo. Consiste en registrar las oscilaciones del potencial de la membrana neuronal, que dependen de su citoarquitectura y de los efectos producidos por potenciales postsinápticos excitatorios e inhibitorios (PPSE/PPSI). Por tanto, lo que se analiza en el EEGc es la magnitud y distribución de los potenciales de campo de múltiples circuitos de neuronas corticales⁴ de los que puede inferirse su integridad dinámica morfofuncional (neuroplasticidad). Esto hace del EEGc una excelente herramienta para investigar el funcionamiento de los circuitos corticales y sus interacciones córtico-subcorticales, con resolución temporal en el rango de milisegundos.⁵⁻⁷ Se ha descrito que las oscilaciones, al transmitirse electrotónicamente, modifican la excitabilidad de las membranas neuronales, constituyendo un sistema de comunicación entre circuitos, o bien, un proceso de regulación de la excitabilidad de ensambles de neuronas (circuitos),⁸⁻¹¹ que se suma a los efectos de potenciales de acción de interneuronas y/o de neuronas a distancia. Dichos ensambles neuronales ante un estímulo (evento), de acuerdo con el grado de excitabilidad, pueden aumentar su potencial de membrana (hiperpolarización) que se manifiesta en el EEG como sincronización; o disminuirlo (despolarización), registrado como desincronización; ambos fenómenos están caracterizados por una clara localización topográfica, comportamiento fásico y especificidad frecuencial.^{12,13}

Algunos ensambles neuronales en el lóbulo occipital producen oscilaciones de 8-13 Hz, denominadas alfa (α), cuya modulación córtico-subcortical las

convierte en una clave determinada (codificación),¹⁴ la cual, al replicarse en diversos circuitos, participa en la sensación-percepción de los estímulos.^{15,16} Además de α , se han descrito ensambles neuronales que producen oscilaciones en diferentes frecuencias (δ 1.5-3.5 Hz, θ 4-7.5 Hz, β 13.5-30 Hz) que al sintonizarse con circuitos neuronales, tanto corticales como subcorticales, pueden participar en determinados aspectos conductuales.¹⁷⁻²⁰

En humanos, bajo condiciones de vigilia con los ojos cerrados, la actividad eléctrica cerebral representada por los cuatro ritmos se encuentra en estado basal (electromorfograma inicial). Al presentarse un estímulo se activan asincrónicamente algunos circuitos neuronales de la vía sensorial específica y de la polisensorial que generan desincronización relacionada con el evento (DRE),²¹ que incluye el proceso de identificación de la información, estableciendo nuevos electromorfogramas (claves) que representan tanto al ambiente (escenario) como al estímulo específico. Esta desincronización a su vez activa otros circuitos neuronales que producen las respuestas corporales correspondientes, por ejemplo: el reflejo de orientación y la activación simpática,²² generando nuevas señales sobre los cambios en la homeostasis del organismo, muy probablemente activando otros circuitos cerebrales hipotalámicos en los lóbulos temporales (hipocampo, amígdala) y frontales. La estimulación repetida, en el mismo escenario, sin cambios importantes para la homeostasis del organismo pierde gradualmente su capacidad para activar los circuitos neuronales; es decir, disminuye la desincronización alfa, fenómeno descrito por Sharpless y Jasper,²³ y Morrell,²⁴ entre otros. Al disminuir la desincronización, también disminuyen las respuestas, como el reflejo de orientación, fenómeno denominado por Sokolov como habituación.²⁵ Si la estimulación continúa la información se califica como no significativa y el organismo aprende a no responder, proceso que en gatos se ha descrito mediante la disminución en la magnitud de potenciales provocados visuales,²⁶ y en niños por la disminución de la potencia en la frecuencia alfa.²⁷ Todo lo cual se ha integrado dentro del proceso de aprendizaje por habituación.^{28,29}

La mayoría de investigaciones al respecto refieren principalmente las modificaciones promedio en las frecuencias α y θ del EEGc sin especificar su localización y/o evolución durante el procedimiento,^{28,29} quedando por conocer las modificaciones promedio en δ y β , además de la evolución y distribución topográfica de las cuatro frecuencias, durante el proceso de habituación.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar las modificaciones de las cuatro frecuencias (δ , θ , α , β) de banda ancha del EEGc en regiones corticales laterales durante el proceso de habituación a la fotoestimulación en sujetos adultos voluntarios.

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño del estudio

Descriptivo, transversal de una muestra de estudiantes de Licenciatura de Terapia Física o de Comunicación Humana, con antecedentes socio-económicos y culturales similares, invitados e informados abiertamente a participar en la investigación de las características del EEG y de sus perfiles cognitivos. La muestra inicial fue de 98 sujetos; sin embargo, por los criterios de exclusión se eliminaron cuatro al tener antecedentes de alteraciones clínicas, dos sujetos presentaron excesivos movimientos palpebrales. El análisis analógico del EEG excluyó a cuatro sujetos que aparentemente se durmieron, y a tres que presentaron actividad anormal (voltaje excesivo en trenes y complejos espiga onda; sin manifestaciones clínicas). Dos sujetos más se retiraron voluntariamente. La muestra final fue de 83 sujetos (72 mujeres y 11 hombres), con promedio de edad de 20.6 ± 2.4 años, de los cuales sólo uno reportó ser siniestro.

Procedimiento

A todos los participantes se les explicó el objetivo de la investigación indicando que se trataba de conocer las características del EEG en relación con el rendimiento en diversas tareas cognitivas, que no producía ningún tipo de dolor, molestia o riesgo. Quienes aceptaron firmaron el formato de consentimiento informado del Instituto Nacional de Rehabilitación (INR). El protocolo fue aprobado por las Comisiones de Investigación y de Ética del INR, tomando en cuenta las directrices de la Declaración de Helsinki. Los registros se realizaron mediante un electroencefalógrafo analógico-digital (Nicolet One de 31 canales), colocando los electrodos con la distribución 10/20, prestando particular atención a la distan-

cia inter-electrodos y comprobando que la impedancia se mantuviera entre 5 y 10 k Ω . Para registrar se utilizó un ancho de banda de 0.3 a 70 Hz con filtro de ventana de 60 Hz. Los montajes antero-posteriores utilizados para el análisis fueron bipolares, en el hemisferio izquierdo (F1-F7, F7-T3, T3-T5 y T5-O1) y en el derecho (F2-F8, F8-T4, T4-T6 y T6-O2). Los registros bipolares se utilizan con el objetivo de disminuir las áreas de las que provienen los cambios eléctricos. Todos los estudios se llevaron a cabo en una cámara de Faraday con baja iluminación y discreta sonoamortiguación, con los sujetos en decúbito dorsal, en reposo, indicando que debían permanecer lo más inmóviles posible. El paradigma de registro de EEG fue el siguiente: ojos cerrados (2-3 min); etapa de ojos abiertos-cerrados (periodos de 10-15 s en cada condición, de 6-10 repeticiones); de fotoestimulación repetida (con ojos cerrados se aplicaron 20 series de destellos a 5 Hz, con duración de 2 s por serie, con intervalos variables entre 20-25 s, sin previo conocimiento de los sujetos) mediante una lámpara estroboscópica Nicolet a 70 cm de la cara; etapa de asociación en la cual, el procedimiento de la fotoestimulación repetida es idéntica, pero se le indica que al percibir cada serie de destellos, presione un botón colocado en el extremo de un cilindro sostenido con la mano dominante, manteniéndolo presionado hasta el final de la serie y, por último, hiperventilación (3 min). En este trabajo se presentan los resultados de la etapa de fotoestimulación repetida (FR).

Análisis de datos

Los datos de potencia absoluta (PA) del EEGc filtrados con un ancho de banda de 1.6 a 40 Hz fueron analizados utilizando el programa especialmente diseñado UAMI/Yáñez, que identifica la señal de los destellos y toma 20 muestras pre-estimulación (PRE) y 20 muestras de cada una de las series de fotoestimulación (FR). Mediante la aplicación del periodograma de Welch el programa integra y transfiere los datos de PA por frecuencia δ (1.6-4 Hz), θ (4.5-8 Hz), α (8.5-13 Hz) y β (13-30 Hz) a hojas de Excel®. Posteriormente se calcularon los promedios de la PA (PPA) de cada frecuencia en cada derivación en la condición basal de ojos cerrados y de los 20 periodos PRE y los 20 periodos de FR de cada frecuencia por derivación. Las diferencias para la condición basal se evaluaron con la prueba de Wilcoxon para muestras independientes y para las obtenidas antes y durante la FR Wilcoxon para muestras relacionadas (se aplicó la corrección del método de Bonferroni para muestras repetidas dividiendo el número de comparaciones, cuatro,

entre $\alpha = 0.05$, por lo que la p de significancia se estableció como $p = 0.01$. Motulsky H. *Intuitive biostatistics*. Chapter 22 p 163. Oxford University Press 2010). Finalmente se analizaron las distribuciones temporales de los PPA en las condiciones PRE y de FR, por derivación y por frecuencia, aplicando el modelo de regresión lineal. El programa utilizado para estos análisis fue Analyse-it® y el nivel de significancia aceptado fue $p = 0.05$ (por brevedad sólo se mencionan las diferencias significativas).

RESULTADOS

Perfil del PPA en condiciones de reposo con los párpados cerrados

La actividad eléctrica cerebral previa (basal) presentó perfiles característicos de distribución topográfica para cada ritmo estudiado. El PPA en derivaciones del hemisferio izquierdo y del hemisferio derecho fue similar, como puede apreciarse en la figura 1. Sin embargo, el PPA de δ en las derivaciones del hemisferio izquierdo fue significativamente diferente ($p = 0.01$) entre F1F7-F7T3 y entre T3T5-T5O1; en el hemisferio derecho las diferencias se encontraron entre F2F8-F8T4, F8T4-T4T6 y T4T6-T6O2. El PPA de θ en derivaciones del hemisferio izquierdo fue significativamente diferente entre F1F7-F7T3, F7T3-T3T5 y entre T3T5 y T5O1; en el hemisferio derecho las diferencias se encontraron entre F8T4-T4T6 y T4T6-T6O2.

El PPA de α en las derivaciones del hemisferio izquierdo fue significativamente diferente entre F1F7-

F7T3, F7T3-T3T5 y T3T5-T5O1; en el hemisferio derecho las diferencias se encontraron entre F2F8-F8T4, F8T4-T4T6 y T4T6-T6O2. El PPA de β en las derivaciones del hemisferio izquierdo fue significativamente diferente entre F1F7-F7T3, F7T3-T3T5 y T3T5-T5O1. En el hemisferio derecho las diferencias se encontraron entre F2F8-F8T4, F8T4-T4T6 y T4T6-T6O2.

Modificaciones del PPA durante la fotoestimulación

Al comparar el PPA de las 20 fotoestimulaciones con el PPA de las 20 condiciones previas a la fotoestimulación se encontraron cambios significativos ($p = 0.01$) en las cuatro frecuencias. Como puede apreciarse en la figura 2, el PPA de δ en F1F7, F7T3 y F2F8 incrementó significativamente durante la FR. El PPA de θ en F1F7 y F2F8 aumentó significativamente durante la FR. El PPA de α incrementó significativamente en F1F7 y disminuyó en T3T5, T5O1, T4T6 y T6O2, durante la FR. El PPA de beta incrementó significativamente durante la FR, en todas las derivaciones estudiadas.

Modificaciones del PPA durante cada una de las 20 fotoestimulaciones

El análisis del promedio de las 20 fotoestimulaciones en comparación con las 20 condiciones previas oculta los cambios progresivos del PPA que se presentan en cada fotoestimulación y que son indicati-

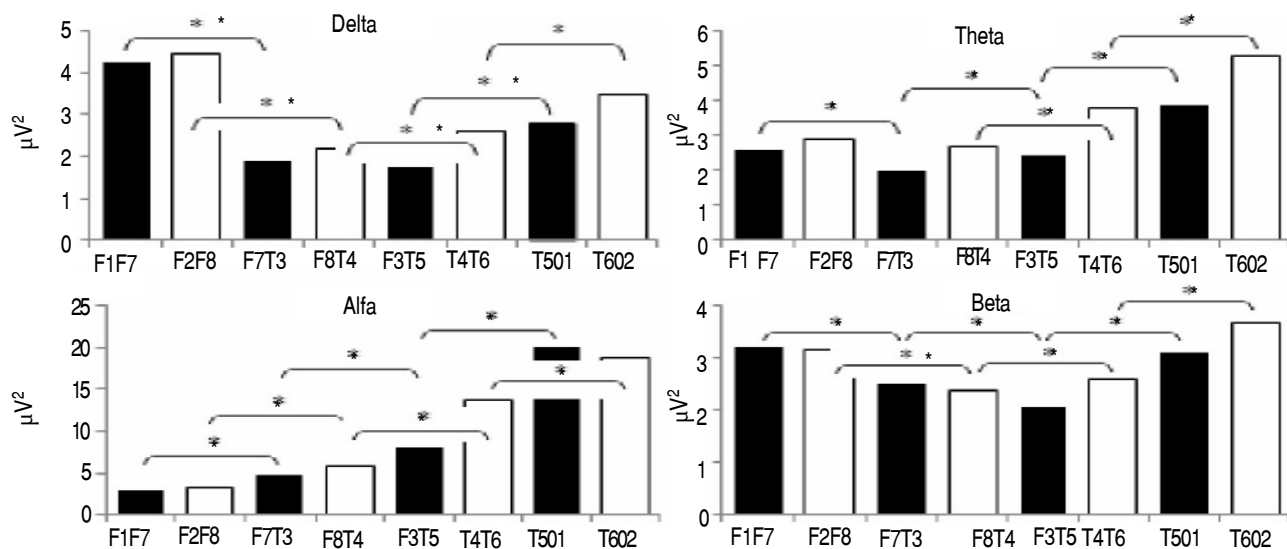


Figura 1. Promedio de potencia absoluta (PPA) de cada una de las frecuencias por derivación. Las barras en negro indican derivaciones del hemisferio izquierdo y aquellas en blanco las del hemisferio derecho. Los asteriscos indican diferencias significativas ($p = 0.01$) entre las derivaciones inter-hemisferio.

vos directos del proceso de habituación. Por este motivo se analizan los cambios en el PPA de cada frecuencia durante el procedimiento de fotoestimulación repetida.

En la figura 3 se presentan los cambios en δ y θ durante el procedimiento de fotoestimulación. Las pendientes ascendentes del PPA previo (línea negra) y durante la fotoestimulación (línea gris) para δ en

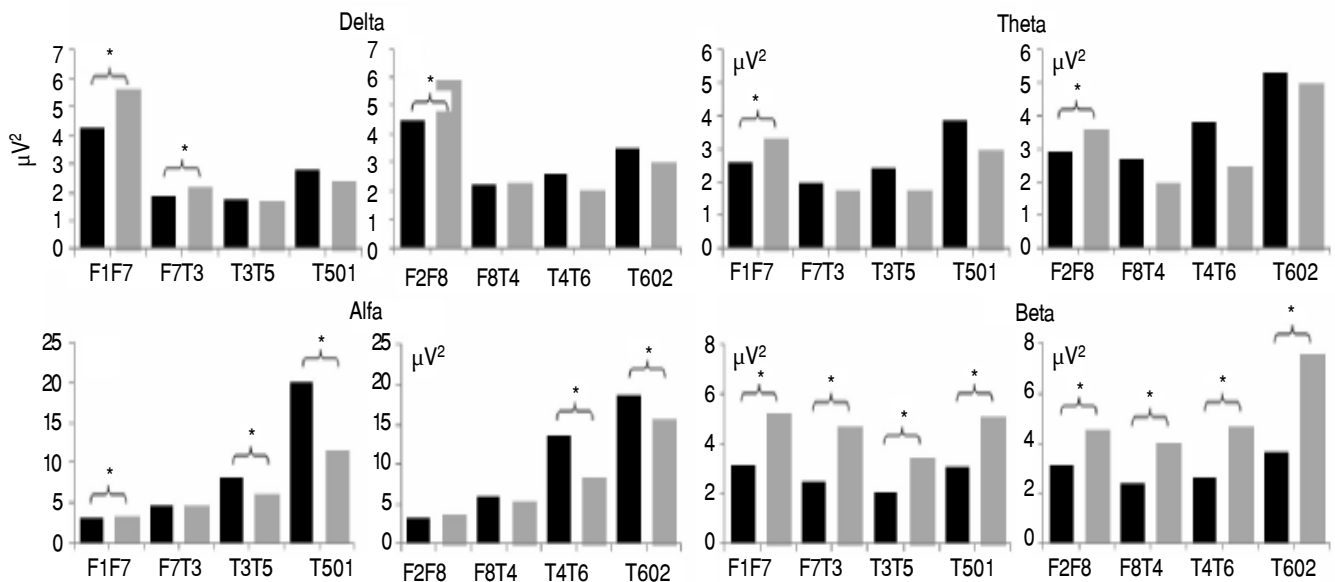


Figura 2. PPA antes (barras negras) y durante la fotoestimulación (barras grises) de cada frecuencia y derivación. Los asteriscos indican diferencias significativas ($p = 0.01$).

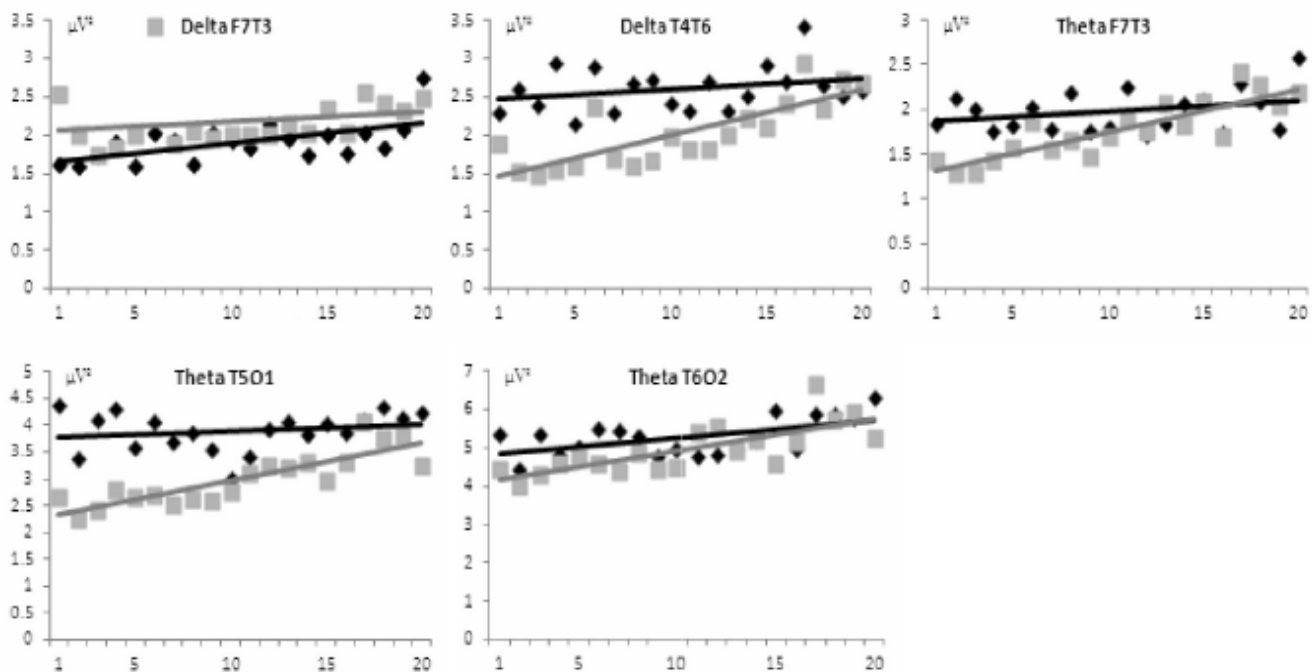


Figura 3. Cambios en el PPA de delta y theta durante el procedimiento de fotoestimulación. Se presentan las derivaciones cuyas pendientes fueron significativas ($p = 0.05$). Línea negra: condición previa. Línea gris: fotoestimulación.

F7T3 y T4T6 fueron significativas ($p = 0.05$). Las pendientes ascendentes del PPA previo (línea negra) y durante la fotoestimulación (línea gris) para θ en F7T3, T5O1 y T6O2 fueron significativas.

En la figura 4 se presentan los cambios en α , las pendientes del PPA previo (línea negra) y durante la fotoestimulación (línea gris) fueron significativas ($p = 0.05$) en todas las derivaciones estudiadas. Note en la condición previa la tendencia del PPA a la disminución, en contraposición con la tendencia al incremento conforme se repite la fotoestimulación. En todos los casos las primeras fotoestimulaciones produjeron disminución del PPA; sin embargo, este efecto disminuye conforme continúa el procedimiento e incluso se invierte en las fotoestimulaciones

finales (sincronización). Debido a que la pendiente es descendente en pre y ascendente en FR estas líneas se cruzan, lo cual ocurre primero en las derivaciones frontales y al último en las occipitales.

En la figura 5 se presentan los cambios en β antes y durante el procedimiento de fotoestimulación. Las pendientes del PPA previo (línea negra) y durante la fotoestimulación (línea gris) para beta fueron significativas ($p = 0.05$) en las derivaciones T3T5, T5O1, T4T6 y T6O2. Note la tendencia general del PPA a la disminución en la condición previa, en contraposición con la tendencia al incremento conforme se repite la fotoestimulación. En este caso las primeras fotoestimulaciones producen incremento en el PPA, que se mantiene en T3T5 y T4T6, en

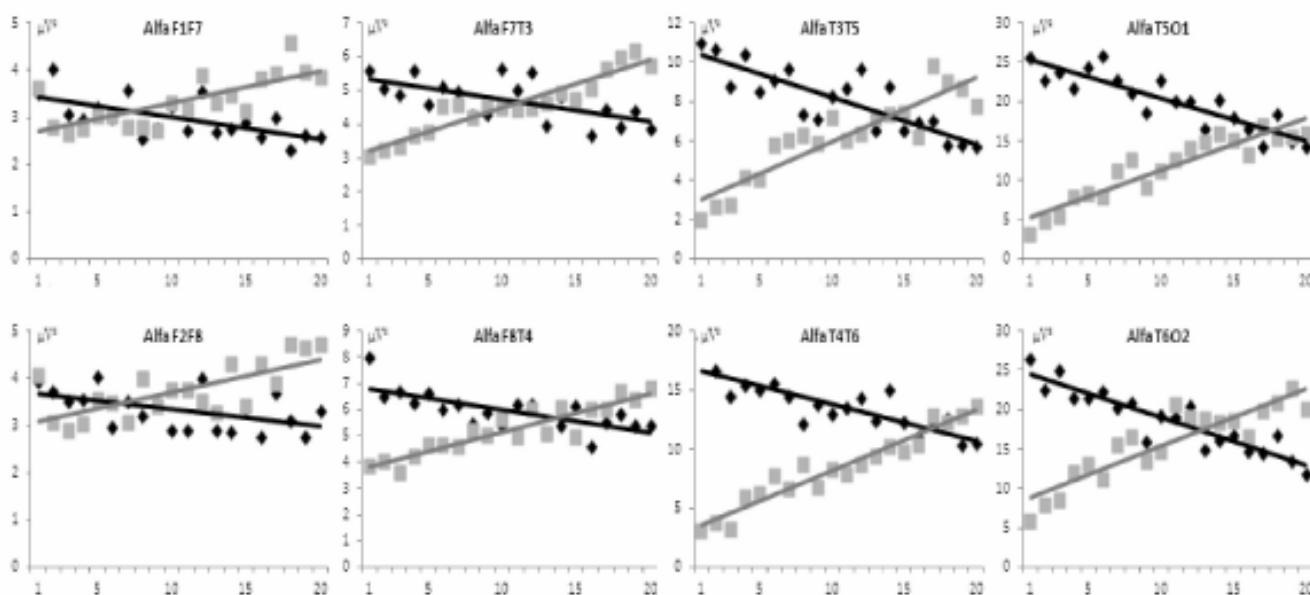


Figura 4. Cambios en el PPA de α durante el procedimiento de fotoestimulación. En esta frecuencia todas las pendientes fueron significativas, de desincronización α sincronización. Línea negra: condición previa. Línea gris: fotoestimulación.

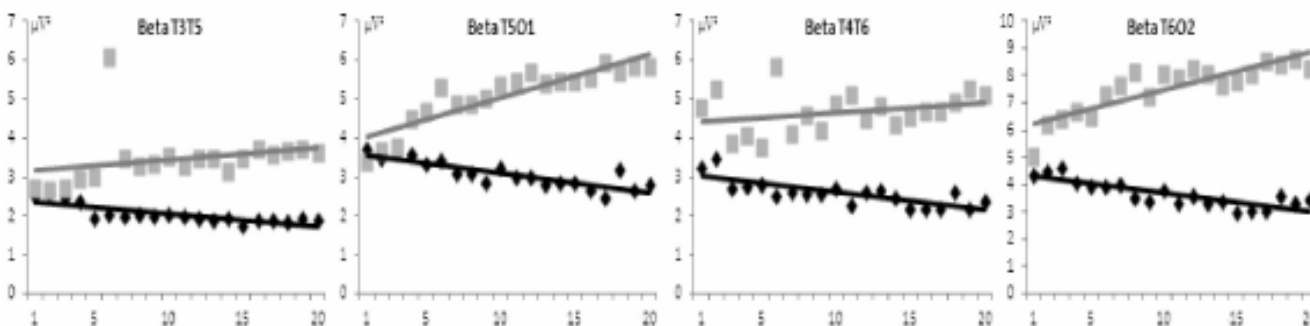


Figura 5. Cambios en el PPA de beta durante el procedimiento de fotoestimulación. Se presentan las derivaciones cuyas pendientes fueron significativas. Línea negra = condición previa, línea gris = fotoestimulación.

T5O1 y T6O2 aumenta y continúa aumentando hacia las últimas fotoestimulaciones. Es importante mencionar que en las derivaciones frontales la FR produce aumento con las primeras estimulaciones y se mantiene elevado durante las siguientes, por lo tanto no presentan una pendiente.

DISCUSIÓN

La magnitud de la PA de las diferentes oscilaciones, analizadas como ritmos de banda ancha, es una medida de la sincronización de los potenciales de los circuitos corticales con una particular distribución topográfica, datos que permiten establecer su localización e inferir la condición anátomo-funcional de sus componentes que difieren de una región a otra intra-hemisferio al igual que inter-hemisferios, lo que representa importantes asimetrías eléctricas y probablemente funcionales. Lo descrito en la condición basal confirma que se tiene un diferente electro-morfograma en las diversas regiones corticales que va a ser modificado por las estimulaciones sensoriales, lo cual se establece como perfil de la PA de cuando menos cuatro frecuencias en esas regiones.³⁰

Esos perfiles apoyan la posibilidad de que dichos ritmos participen en funciones diferentes como se ha propuesto, entre otros, por Kopell, *et al.*¹⁹ Por lo cual, es importante empezar por recapitular la modulación del ritmo delta con diferentes distribuciones topográficas e intensidades antes y durante la FR, lo que comprueba que los circuitos generadores de esa frecuencia reciben influencias excitadoras e inhibitoras de los circuitos tálamo-corticales, en proporciones diferentes, como lo describió Steriade.³¹ Existen pocas publicaciones de las posibles funciones del ritmo delta; sin embargo, se ha descrito que puede ser un importante integrador de la actividad cortical en varias áreas,³²⁻³⁴ lo que apoya los resultados del presente trabajo al proponer que su sincronización genera disminución de la excitabilidad, proceso necesario para que ocurra el aprendizaje por habituación.

Lo descrito para la PA de θ , en este trabajo, indica el mismo nivel de actividad eléctrica en las regiones frontales y temporales de los hemisferios y se incrementa significativamente durante la FR principalmente en regiones témporo-temporales y témporo-occipitales, lo cual indica que el ritmo θ se modifica por PPSE/PPSI de los núcleos talámicos y por circuitos de retroinformación córtico-talámicos,³⁵⁻³⁷ lo que se relaciona con procesos de identificación y memorización de la información, necesaria para disminuir las respuestas en el aprendizaje por habituación.

El ritmo α en condición basal muestra el perfil de incremento de la PA que comprueba el gradiente positivo fronto-occipital, con mayor intensidad en el HD (hemisferio aparentemente no dominante, excepto en un sujeto de esta muestra).

Una modificación del ritmo α que no se esperaba, pero que a *posteriori* resulta lógica, es la desincronización progresiva en los periodos de espera que se traduce en posible generación de trenes de potenciales de acción que facilitan a los circuitos descendentes que, por un lado, reactivan el sistema retículo-talámico y, por otro, los circuitos motores y vegetativos responsables del reflejo de orientación y activación simpática, lo que probablemente aumenta las respuestas a las estimulaciones sensoriales. Por lo tanto, las FR producen una importante desincronización a que, sin embargo, disminuye al repetirlas, manifestándose como una pendiente ascendente que se cruza con la descendente de los periodos previos, que suponemos que al continuar la condición de registro y de FR ambas pendientes alcancen una meseta, estableciendo la nueva condición de los electro-morfogramas. Entonces la habituación se representa por la disminución de la desincronización y se convierte en sincronización, proceso de sincronización que ocurre en las regiones fronto-temporales, témporo-temporales y témporo-occipitales. Este tipo de sincronización se correlaciona con la disminución de las descargas de potenciales de acción descrita en monos en procesos de aprendizaje;³⁸ lo que apoya la participación de alfa en funciones sensorio-motoras y cognitivas, cuando se logra cierto nivel de coherencia entre los diferentes ensambles neuronales o circuitos.^{18,33} Además la interacción de alfa/theta se ha descrito como parte importante en el reconocimiento de señales y en la memorización de las mismas.^{9,34,35,36} También en forma importante los ritmos delta y theta se sincronizaron en las condiciones previas lo que probablemente represente el mecanismo de regulación de la actividad en las regiones frontales y temporales.

Por último, en el caso de beta se conoce poco acerca de su distribución y funciones; por lo pronto, se describe la actividad de generadores en esa banda de frecuencia en las regiones de ambos hemisferios con predominio posterior y en el hemisferio derecho, que resulta el no dominante para la mayoría de los sujetos y que, al igual que Barry, *et al.*,³⁹ por ahora no es posible explicar su significado, pero con la base descriptiva establecida con este trabajo se apoya la hipótesis de que al sintonizarse en las diferentes regiones corticales coordina los procesos de atención, senso-percepción y funciones motoras, como se ha

propuesto,^{10,33,34} y que en este trabajo se interpreta como de sincronización que disminuye la excitabilidad de los ensambles neuronales necesario para el aprendizaje por habituación.

CONCLUSIÓN

El trabajo muestra la disminución progresiva de la desincronización alfa que al continuar la estimulación sin cambio de la homeostasis del organismo, finalmente se sincroniza, lo que probablemente resulta de la hiperpolarización de las membranas neuronales, produciéndose la habituación. Lo que se complementa con la sincronización en la mayoría de áreas corticales principalmente por el ritmo beta y en algunas áreas por los ritmos delta y theta.

REFERENCIAS

- Ricardo-Garcell J. Aportes del electroencefalograma convencional y el análisis de frecuencias para el estudio de trastornos por déficit de atención. *Primera Parte Salud Mental* 2004; 27: 22-7.
- Roy JE, Pritchep L, Easton P. Normative data banks and neuro-metrics: Basic concepts, methods and results of norms constructions. En Remond A (ed.). *Handbook of Electroencephalography and clinical neurophysiology*. Vol. III, Computer Analysis of the EEG and other neurophysiological signals. Elsevier; 1987, p. 449-95.
- Thatcher RW, Lubar JF. History of the scientific standards of qEEG normative databases. En: Budzinsky T, Budzinski H, Evans J, Abarbanel A (eds.). *Introduction to QEEG and neurofeedback: Advanced theory and applications*. Academic Press; 2008, p. 28-62.
- Buzsáki G, Draguhn A. Neuronal oscillations in cortical networks. *Science* 2004; 30: 1926-9.
- Sauseng P, Klimesch W. What does phase information of oscillatory brain activity tell us about cognitive processes? *Neurosci Biobehav Rev* 2008; 32: 1001-13.
- Buzsáki G. Neural syntax: cell assemblies, synapsembles, and readers. *Neuron* 2010; 68: 362-85.
- Buzsáki G. The structure of consciousness. *Nature* 2007; 446: 15.
- Varela F, Lachaux JP, Rodriguez E, Martinerie J. The brainweb: phase synchronization and large-scale integration. *Nat Rev Neurosci* 2001; 2: 229-39.
- Grossberg S. The link between brain learning, attention, and consciousness. *Conscious Cogn* 1999; 8: 1-44.
- Wyart V, Sergent C. The phase of ongoing EEG oscillations uncovers the fine temporal structure of conscious perception. *J Neurosci* 2009; 29: 12839-841.
- Tononi J. An information integration theory of consciousness. *BMC Neurosci* 2004; 5: 42-64.
- Pfurtscheller G. The cortical activation model (CAM). *Prog Brain Res* 2006; 159: 19-27.
- Pfurtscheller G. EEG event-related desynchronization (ERD) and event related synchronization (ERS) En: Niedermeyer E, Lopes da Silva F. *Electroencephalography basic principles, clinical applications, and related fields*. 4th Ed. Lippincott Williams & Wilkins; 1998, p. 958-67.
- Chelaru MI, Dragoi V. Efficient coding in heterogeneous neuronal populations. *Proc Nat Acad Sci USA* 2008; 105: 16344-9.
- Hummel F, Gerloff C. Larger interregional synchrony is associated with greater behavioral success in a complex sensory integration task in humans. *Cerebral Cortex* 2005; 15: 670-8.
- Engel AK, Fries P, Singer W. Dynamic predictions: oscillations and synchrony in top-down processing. *Nat Rev Neurosci* 2001; 2: 704-16.
- Ben-Simon EB, Podlipsky I, Arieli A, Zhdanov A, Hendler T. Never resting brain: simultaneous representation of two alpha related processes in humans. 2008, 3: 1-8. Disponible en: www.plosone.org.
- VanDijk H, Schoffelen J M, Oostenveld R, Jensen O. Prestimulus oscillatory in the alpha band predicts visual discrimination ability. *J Neurosci* 2008; 28: 1816-23.
- Kopell N, Kramer MA, Malerba P, Whittington MA. Are different rhythms good for different functions? *Front Hum Neurosci* 2010; 4: 187. Doi 10.3389/fnhum.2010.00187.
- Neuper C, Wörtz M, Pfurtscheller G. ERD/ERS patterns reflecting sensorimotor activation and deactivation. *Prog Brain Res* 2006; 159: 211-22.
- Wörtz M, Pfurtscheller G, Klimesch W. Alpha power dependent light stimulation: dynamics of event-related (de)synchronization in human electroencephalogram. *Cogn Brain Res* 2004; 20: 256-60.
- Landsness E, Bruno MA, Noirhomme Q, Riedner B, Gosseries O, Schnakers C, et al. Electro-physiological correlates of behavioural changes in vigilance in vegetative state and minimally conscious state. *Brain* 2011; 134: 2222-32.
- Sharpless S, Jasper H. Habituation of the arousal reaction. *Brain* 1956; 79: 357-88.
- Morrell LK. Some characteristics of stimulus-provoked alpha activity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 1966; 21: 552-61.
- Sokolov YN. Higher nervous functions: The orienting reflex. *Annu Rev Physiol* 1963; 25: 545-80.
- Brust-Carmona H. Los cambios de la percepción durante algunos procesos de aprendizaje. *Gac Med Méx* 1963; 93: 497-503.
- Brust-Carmona H, Ramírez-Aboytes F, Sánchez A, Martínez J, Rodríguez MA, Flores-Ávalos B, Yáñez-Suárez O. Cambios del EEG por habituación y condicionamiento en niños de tres a 15 años que acuden al Instituto Nacional de Rehabilitación (INR). *Salud Mental* 2009; 32: 459-67.
- Amochaev A, Salamy A, Alvarez W, Peeke H. Topographic mapping and habituation of event related EEG alpha band desynchronization. *Int J Neurosci* 1989; 49: 151-5.
- Thompson RF. Habituation: A History. *Neurobiol Learn Mem* 2009; 92: 127-34. Published online 2008 September 10. Doi: 10.1016/j.nlm.2008.07.011.
- Brust-Carmona H, Valadez G, Flores-Ávalos B, Martínez JA, Sánchez A, Rodríguez MA, Peñaloza Y, et al. Potencia absoluta de oscilaciones corticales y su distribución topográfica en una muestra de adultos jóvenes en vigilia inactiva y en atención inespecífica. *Rev Inv Clínica* 2013; 65(1): 52-64.
- Steriade M. Cellular substrates of brain rhythms. En: Niedermeyer E, Lopes da Silva F. *Electroencephalography Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*. 4th Ed. Lippincott Williams & Wilkins; 1998, p. 28-75.
- Harmony T, Fernández T, Silva J, Bernal J, Díaz-Comas L, Reyes A. EEG delta activity: an indicator of attention to internal processing during performance of mental tasks. *Int J Psychophysiol* 1996; 24: 161-71.
- Bruns A, Eckhorn R. Task-related coupling from high-to low-frequency signals among visual cortical areas in human subdural recordings. *Int J Psychophysiol* 2004; 51: 97-116.
- Womelsdorf T, Fries P. Neuronal coherence during selective attentional processing and sensory-motor integration. *J Physiol Paris* 2006; 100: 182-93.

35. Mölle M, Marshall L, Fehm HL, Born J. EEG theta synchronization conjoined with alpha desynchronization indicate intentional encoding. *Eur J Neurosci* 2002; 15: 923-8.
36. Basar E, Schurman M, Sakowitz O. The selectively distributed theta system: functions. *Int J Psychophysiology* 2009; 39: 197-212.
37. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance a review and analysis. *Brain Res Rev* 2009; 29: 169-95.
38. Haegens S, Nácher V, Luna R, Romo R, Jensen O. α -oscillations in the monkey sensorimotor network influence discrimination performance by rhythmical inhibition of neuronal spiking. *Proc Natl Acad Sci USA* 2011; 108(48): 19377-82. Doi: 10.1073/pnas.1117190108
39. Barry RJ, Johnstone SJ, Magee CA. EEG differences between eyes-closed and eyes-open resting conditions. *Clin Neurophysiology* 2007; 118: 2765-73.

Reimpresos:

Dr. Héctor Brust-Carmona

Laboratorio de Electroencefalografía
 Dirección de Investigación
 Instituto Nacional de Rehabilitación
 Antiguo Camino a Xochimilco, Núm. 289
 Col. Arenal Guadalupe
 14389, México, D.F.
 Correo electrónico: hbrust@inr.gob.mx,
 brusthector@att.net.mx

Recibido el 20 de septiembre 2012.

Aceptado el 5 de julio 2013.