

Efectos de un entrenamiento con neuroretroalimentación en los niveles de cortisol en saliva

Effects of neurofeedback training in salivary cortisol levels

Jose Andrés Morales Muñoz, Jaime Alberto Murra Rodríguez, Fernando Alcaraz Mendoza y Claudia Vega Michel¹

RESUMEN

Existen diversas técnicas para el manejo del estrés, siendo una de ellas la neuroretroalimentación. Esta técnica consiste en hacer perceptibles las ondas cerebrales por medio de imágenes y sonidos con la finalidad de aprender a evocarlas. Por otro lado, los eventos estresores incrementan los niveles de la hormona cortisol. Con base en lo anterior, se exploró la relación entre la segregación de la hormona cortisol, un entrenamiento con neuroretroalimentación en alfa 2 y la actividad EEG asociada con tensión muscular. Para esto, participaron diez hombres de entre 20 y 30 años en veinte sesiones de neuroretroalimentación de 20 minutos de duración. Se tomaron muestras de saliva antes y después de cada sesión para medir los niveles de cortisol en esta. Los resultados indicaron una disminución significativa de la concentración del cortisol en el grupo EEG, mas no en el grupo alfa 2. El primero obtuvo una correlación negativa entre el cortisol post y el porcentaje obtenido de alfa 2, mientras que este no obtuvo una correlación entre estas variables. Aunque no se encontraron diferencias en la producción de alfa 2 entre los grupos, pareciera que un entrenamiento con esta técnica no tiene efectos sobre el eje neuroendocrino relacionado con la hormona cortisol.

Palabras clave: Neuroretroalimentación; Cortisol en saliva; Estrés; Relajación; Ondas alfa.

ABSTRACT

Neurofeedback has been used as part of a vast spectrum of stress management techniques. This technique transforms brain waves into perceptible images and sounds, so that participants can learn to control them. On the other hand, several studies have shown increased levels of cortisol before stressors. The present study explored the relationship between alpha 2 EEG training, activity associated with muscular tension, and the effects of neurofeedback, and secretion of cortisol. Participants were ten men aged 20 to 30 years, who were tested along twenty 20-minute neurofeedback sessions. Saliva samples were taken before and after each session in order to measure cortisol. Results showed a significant decrease in cortisol in the EEG group but not in the Alfa 2 group. The EEG group showed a negative correlation between posttest cortisol and the comparable percentage obtained by the Alfa 2 group, with the latter one not showing such correlation. Thus, results show no significant relationship between the training in both groups and cortisol levels. Although there was no difference in alpha activity enhancing among the two groups, it seems that alpha enhancing with neurofeedback does not influence the neuroendocrine stress-related axis affecting cortisol secretion.

Key words: Neurofeedback; Salivary cortisol; Stress; Relaxation; Alpha waves.

¹ Laboratorio de Psiconeuroinmunología del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), Periférico Sur Manuel Gómez Morín 8585, 45604 Tlaquepaque, Jal., México, tel. (33)36-69-34-34, ext. 3894, correo electrónico: moralesjandres@gmail.com. Artículo recibido el 18 de mayo de 2010 y aceptado el 9 de septiembre de 2011.

INTRODUCCIÓN

Se ha propuesto que los sistemas nervioso e inmune, en conjunto con el endocrino, son los involucrados en el mantenimiento de la homeostasis, mecanismos integrados que contribuyen a la adaptación de los individuos de distintas especies (Ader y Cohen, 1993). Al presentarse un estímulo estresante, el organismo activa diferentes mecanismos de defensa que generan respuestas de afrontamiento de dicho estímulo; estas respuestas son moduladas por ejes que se van activando a lo largo de la presentación del estímulo estresante, lo que da como resultado una modulación conductual, o aprendizaje. Pero cuando estas respuestas no son efectivas, puede que ocurra un daño en el organismo. La activación de estos ejes (eje neurológico, eje neuroendocrinológico y eje endocrinológico) dependerá, en parte, del juicio personal ante el estímulo estresante y de la capacidad de los órganos implicados en la respuesta al estrés. Los efectos que estos ejes producen en el organismo pueden consistir en un aumento de la producción de glucosa, irritación gástrica, liberación de ácidos grasos en la sangre, supresión de mecanismos inmunológicos y depresión (Everly y Rosenfeld, 1981).

El cortisol es una hormona sintetizada del colesterol mediante una serie de pasos mediados enzimáticamente. Es el glucocorticoide que más se produce en el organismo y que se sintetiza a través de un eje que involucra el hipotálamo, la glándula pituitaria y la médula adrenal (eje HPA) (Kirschbaum y Hellhammer, 1989). Se ha reportado que diversas influencias psicológicas que se encuentran entre los estímulos naturales estresantes afectan la actividad del cortisol (Kirschbaum y Hellhammer, 1999; Mason, 1968). Tales consecuencias provocadas por el estrés provocan una alteración crónica en la segregación de las hormonas corticotropina (CRH), adeno-corticotropina (ACTH) y cortisol. Se ha demostrado, asimismo, que esta alteración crónica puede tener efectos perjudiciales para el bienestar físico y cognoscitivo (Raison y Miller, 2003; Seeman, McEwen, Rowe y Singer 2001).

En adición, el aumento de la secreción de glucocorticoides está relacionado con la reducción de la respuesta inmunológica. El estar sometido a los efectos del estrés reduce el número de células que

dan origen al sistema inmunológico, y las restantes disminuyen su capacidad para destruir las células extrañas al organismo, lo que a su vez deteriora la resistencia a las infecciones y al desarrollo de tumores (Evans, Lercher, Meis, Ising y Kofler, 2001; Mason, 1968; Miller y Cohen, 2005; Selander, Bluhm, Theorell y cols., 2009; Steptoe y Brydon, 2005).

La neuroretroalimentación es una técnica que ayuda a las personas a adquirir control sobre su actividad eléctrica cerebral. Esta técnica transforma las señales eléctricas cerebrales en imágenes y sonidos con la finalidad de aprender a evocarlas (Schwartz, 1995). Existe una gran variedad de desórdenes que pueden ser tratados con neuroretroalimentación, que es una alternativa a los métodos más tradicionales y el uso de fármacos; dichos trastornos son depresión, déficit de atención, migrañas, desórdenes del sueño, ataques de pánico, ansiedad, algunas formas de dolor crónico, epilepsia, infarto, desórdenes conductuales, desórdenes bipolares, fatiga crónica y disfunción autoinmune (Lingenfelter, 2001). Con esta técnica se pueden medir las distintas ondas cerebrales producto del efecto constante e irregular de los impulsos eléctricos del cerebro, las que pueden ser lentas o rápidas; entre las ondas lentas se encuentran delta, alfa y teta, y entre las rápidas, beta, SMR y gama. La onda de frecuencias alfa está relacionada con estados mentales producidos por la meditación y la relajación profunda y se produce automáticamente cuando se está con los ojos cerrados.

La potencia de alfa en estado de reposo aumenta bajo condiciones asociadas a una elevada capacidad de procesamiento cognoscitivo, o en situaciones donde los participantes tratan de incrementar su potencia (por ejemplo, bajo estados de atención elevada en jóvenes, en comparación con adultos mayores), como fue observado en un estudio de Hanslmayr, Sauseng, Doppelmayr, Schabus y Klimesch (2005), donde hubo un aumento en el rendimiento cognoscitivo en aquellos que respondieron a un entrenamiento en alfa 2; además, los sujetos participantes ejecutaron de una mejor manera una prueba de rotación mental, obteniendo puntajes mucho mayores después de un entrenamiento en ocho sesiones.

Alfa puede ser dividida en dos: alfa 1 (8-10 Hz) y alfa 2 (10-12 Hz). Cada sección de la onda ha mos-

trado tener distintas funciones, así, alfa 1 está relacionada con estados de calma y relajación, pero cuando se produce esta frecuencia de onda por lo general no se tiene conocimiento de lo que ocurre alrededor debido al efecto de somnolencia y adormecimiento que produce; en cambio, alfa 2 está más relacionada con un estado mental de conciencia abierta, teniendo el sujeto la capacidad de responder a un amplio rango de cambios en el ambiente (Thompson y Thompson, 2003). Además, se ha observado que alfa 1 está relacionada de forma inversa con procesos de atención, y alfa 2 con el procesamiento semántico de memoria. Un incremento en la coherencia hemisférica en alfa 2 se observó durante la ejecución de problemas que requerían los mayores niveles de creatividad (Jausovec y Jausovec, 2000). Por otra parte, el incremento en la banda de alfa 1 se ha asociado a la relajación en el entrenamiento con neuroretroalimentación (Thompson y Thompson, 2003), mientras que el mismo tipo de entrenamiento en la banda de alfa 2 se ha vinculado a un aumento en el rendimiento cognoscitivo (Hanslmayr y cols., 2005).

Por otra parte, buscando examinar el efecto que tendría una técnica de relajación (*Abbreviated progressive muscle relaxation*) basada en la técnica de Jacobson (1938), se realizó un estudio utilizando como variable dependiente la ansiedad medida en un test, el ritmo cardíaco, la inmunoglobulina A (IgA) y el cortisol en saliva, encontrándose diferencias significativas después de la intervención en la variable de la ansiedad: una reducción significativa del cortisol y un aumento de IgA, ambos comparados con la línea base y con el grupo control, y asimismo una reducción significativa en el ritmo cardíaco (Pawlow y Jones, 2005).

De acuerdo con estos antecedentes, el objetivo principal de este estudio exploratorio con una metodología cuasiexperimental, bajo un diseño ABA (Castro, 1975), fue explorar la relación entre un entrenamiento con neuroretroalimentación en alfa 2 (10-12 Hz), la actividad EEG asociada con tensión muscular (52-58 Hz) y los niveles de cortisol en saliva. La importancia de conocer dicha relación es de gran ayuda para crear terapias de relajación más efectivas y contrarrestar el efecto del estrés que se vive hoy día, así como también para brin-

dar nueva información y metodologías para conocer los posibles efectos fisiológicos que puedan ser provocados por distintos comportamientos.

MÉTODO

Participantes

Participaron 10 sujetos varones de entre 20 y 30 años de edad, sin antecedentes de enfermedades neurológicas o psiquiátricas y que no se encontraran bajo los efectos de algún tipo de droga ilegal. El consumo de otras sustancias que pudiesen alterar los resultados del estudio (café, alcohol, medicamentos) se mantuvo controlado, solicitando a los participantes que no consumieran estas sustancias por lo menos en las 24 horas previas al estudio.

Los criterios de exclusión fueron, a saber, faltar por más de cuatro sesiones seguidas al tratamiento o no terminar el experimento, presentar un gran número de artefactos en el registro electrofisiológico, consumir algún tipo de fármaco que pudiera interferir con los niveles de cortisol (como por ejemplo metilfenidato, el cual se ha demostrado que los incrementa [Kariyawasam, Zaw y Handley, 2002]) y que no lograran el control de las variables, reducir la actividad EEG asociada con tensión muscular o incrementar la potencia de alfa 2, según el grupo asignado. Todos los participantes firmaron una carta de consentimiento previa a la participación en el estudio

Instrumentos

Los instrumentos utilizados fueron los siguientes: tubos de polipropileno para recolectar las muestras de saliva, instrumentos para la realización de la prueba de laboratorio ELISA (*Enzyme-Linked Immunosorbent Assay for Hormones*), un kit comercial para el análisis del cortisol salival (EIA DSL 10-67100i), equipo de neuroretroalimentación Procomp Infinity y software BioGraph Infinity 5.0, electrodos de oro, pasta conductiva EEG Ten20, alcohol y gel NUPREP EEG para el registro de la actividad eléctrica cerebral, y una computadora Laptop Toshiba.

Procedimiento

Con la finalidad de habitar a los participantes con la técnica antes de comenzar el entrenamiento, y para que pudieran aprender a distinguir los posibles artefactos que se pudieran presentar durante el registro electrofisiológico, creado por la actividad muscular, todos ellos comenzaron con tres sesiones de retroalimentación en actividad eléctrica cerebral asociada a actividad eléctrica muscular en la derivación Cz, de acuerdo con el sistema internacional 10/20 (Jasper, 1958), lo cual se hizo tomando una línea base de un minuto, obteniendo la potencia generada entre los 52-58 Hz y colocando en el monitor de una computadora una barra que oscilaba analógicamente a la potencia generada entre los 52-58 Hz, con un umbral al nivel de la línea base mencionada, para posteriormente retroalimentar.

Los participantes fueron divididos aleatoriamente en dos grupos (EEG y Alfa 2). Se obtuvo una línea base pre y post de tres días de ambos grupos, donde a cada participante se le tomaron dos muestras de saliva diarias con un intervalo de media hora entre ellas. Todas las muestras se tomaron por la tarde o por lo menos tres horas después de que los participantes hubieran despertado a fin de que no se interfiriera el ciclo circadiano de cortisol.

Después, ambos grupos fueron sometidos a veinte sesiones de neuroretroalimentación, donde el grupo EEG fue retroalimentado con un electrodo colocado en Cz para reducir la actividad EEG asociada con la tensión muscular (52-58 Hz), y el grupo Alfa 2 para incrementar la potencia de la frecuencia de 11-12 Hz.

Para las veinte sesiones de neuroretroalimentación se utilizó un equipo Procomp Infinity de ocho canales y con una velocidad muestreo de 256 muestras por segundo; los filtros pasa-altas y pasa-bajas en este equipo son automáticos y se encuentran situados a frecuencias de 0.5 Hz y 61 Hz; correspondientemente, se colocó un filtro notch electrónico a 60 Hz.

Para la retroalimentación se utilizaron los siguientes filtros electrónicos: 4-7 Hz, 11-12 Hz y 52-58 Hz. Se utilizaron electrodos de oro, colocados con la pasta conductiva EEG Ten20, y también se utilizó alcohol y el gel NUPREP EEG y ECG

Skin Prepping para limpiar la zona donde el electrodo fue colocado.

Al inicio de cada una de las sesiones experimentales se hizo a cada participante una medición general de las ondas cerebrales (registro electrofisiológico), mediante el cual se estableció un umbral medido en potencia (μV). Los umbrales eran calculados aplicando una disminución de 15% a la medición obtenida en electromiografía para el grupo retroalimentado en EEG (52-58 Hz); para el retroalimentado en Alfa 2 se disminuyó 15% de la medición obtenida de la potencia de alfa 2 (11-12 Hz) y teta (4-7 Hz). Ajustado el umbral a cada participante, comenzaba la sesión de retroalimentación, conformada de cuatro lapsos con duración de cinco minutos cada uno, aproximadamente veinte minutos por cada sesión experimental.

Dependiendo de su grupo, los participantes debían cumplir con ciertos criterios para cumplir con la condición experimental del estudio, los que se explican a continuación. La condición a cumplir de los participantes que fueron retroalimentados en alfa 2 era aumentar la producción de alfa 2 por encima del umbral establecido y disminuir 15% la producción de teta por debajo de dicho umbral; por cada 2.5 segundos que esta condición se cumpliera se otorgaba un punto. En el grupo retroalimentado en EEG la condición experimental a cumplir era la de reducir 15% la actividad eléctrica asociada a la tensión muscular por debajo del umbral y, al igual que con el otro grupo, a los 2.5 segundos que se estuviese cumpliendo la condición se otorgaba un punto.

Durante todas las sesiones de neuroretroalimentación también se tomaron medidas sobre el porcentaje de producción de alfa 2 en ambos grupos, además de los puntos generados por cada 2.5 segundos de cumplir todas las condiciones que permitían obtener el reforzador.

A los dos grupos se les recolectaron muestras de saliva antes y después de cada sesión con el objetivo de conocer las concentraciones de cortisol de cada participante en ese momento. Las muestras de saliva fueron recolectadas en tubos de polipropileno para ser analizadas después con la prueba ELISA, que detecta el complejo anticuerpo y el antígeno pigmentado con peroxidasa (Gould y Stephano, 2005).

Análisis de datos

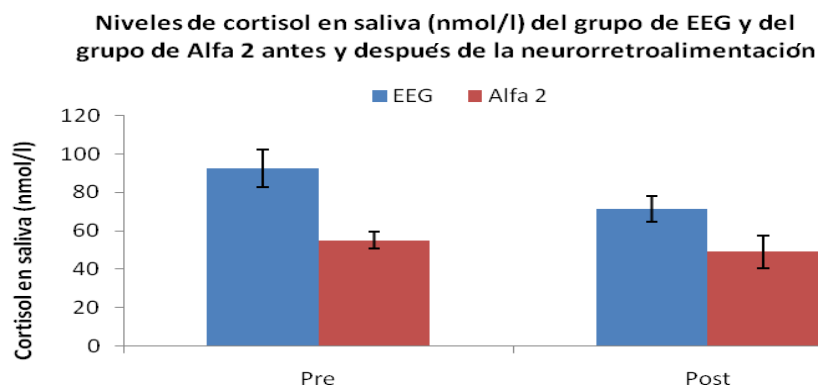
Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza, y también se correlacionaron los resultados de las variables del experimento (Cortisol Pre, Cortisol Post, % Alfa y Puntos) de cada grupo (EEG y Alfa 2).

RESULTADOS

Cortisol

La Figura 1 muestra los resultados de los niveles de cortisol en saliva de ambos grupos antes y después de las veinte sesiones de neuroretroalimentación. El grupo retroalimentado en EEG muestra concentraciones significativamente mayores que el retroalimentado en alfa 2 a lo largo de las sesiones.

Figura 1. Niveles de cortisol en saliva antes y después de cada sesión de neuroretroalimentación del grupo retroalimentado en alfa 2 (11-12 Hz) y EEG (52-58 Hz). ($F[1,29] = 7.36$; $p < 0.01$). El grupo retroalimentado en EEG reportó niveles de cortisol superiores a los reportados en el grupo retroalimentado en alfa 2. Se encontraron diferencias significativas entre los grupos, mas no entre las fases del estudio.

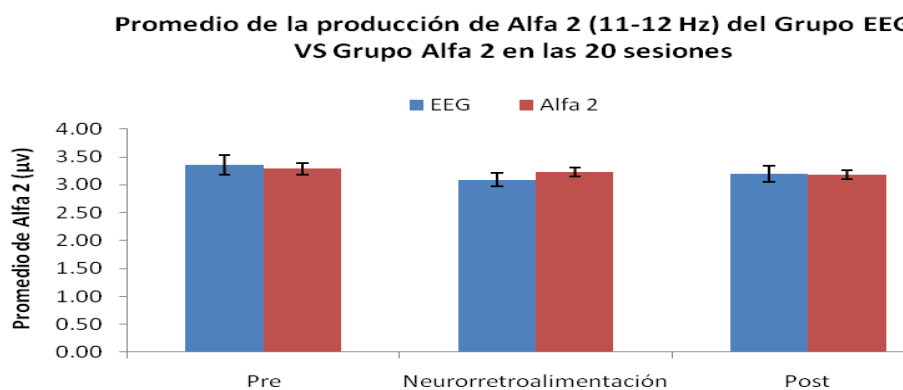


Alfa 2

La Figura 2 muestra el promedio de la producción de alfa 2 en ambos grupos antes, durante y después de las veinte sesiones de neuroretroalimentación.

Como se puede observar, el grupo retroalimentado en EEG en las fases pre y post del estudio mantuvo la producción de alfa 2 mayor que el grupo retroalimentado en alfa 2.

Figura 2. Promedio de la potencia de alfa 2 (μv) de ambos grupos en las fases del estudio. El grupo retroalimentado en EEG obtuvo una producción mayor de alfa 2 en las fases pre y post del estudio que el grupo retroalimentado en alfa 2. No se encontraron diferencias significativas entre las fases del estudio o entre los grupos.



Los resultados del promedio de porcentaje de tiempo de la producción de alfa 2 y EEG, respectivamente en cada uno de los grupos, se puede observar en la Figura 3. El grupo retroalimentado en EEG tuvo un mayor porcentaje de tiempo reduciendo

la actividad eléctrica muscular que el grupo retroalimentado en alfa; al parecer, resultó más fácil reducir la actividad eléctrica muscular que producir alfa 2.

Figura 3. Promedio del porcentaje de tiempo de producción de alfa 2 y EEG, respectivamente. El grupo retroalimentado en EEG mantuvo un porcentaje de tiempo de producción de alfa 2 mucho mayor que el porcentaje de tiempo mantenido por el grupo retroalimentado en alfa 2. Se encontraron diferencias significativas entre los grupos, mas no entre las fases del estudio ($p > 0.05$).

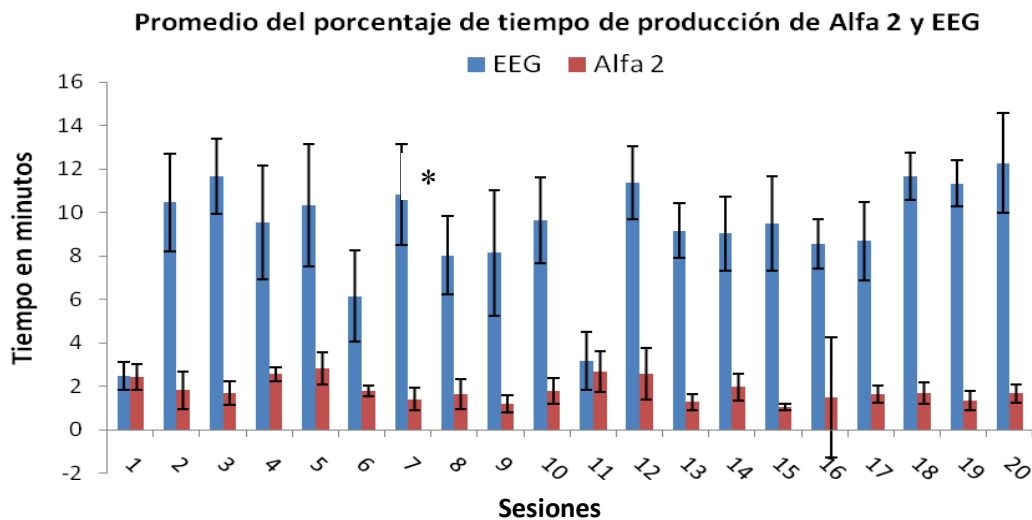


Tabla 1. Correlaciones en el grupo EEG.

	Cortisol Pre	Cortisol Post	% Alfa	Puntos
Cortisol Pre		0.28	0.08	0.22
Cortisol Post	0.28		-0.89*	-0.84
% Alfa	0.08	-0.89		0.98*
Puntos	0.22	-0.84	0.98	

* $p < 0.05$

En el grupo retroalimentado en EEG se obtuvo una correlación negativa ($p < 0.05$), entre los niveles de cortisol después de las sesiones experimentales y el porcentaje de alfa 2 producido, lo que indica que

a mayores niveles de cortisol, menor porcentaje de la banda producido (Tabla 1). También se observó una correlación positiva ($p < 0.05$) entre el porcentaje de alfa producido y los puntos (Tabla 2).

Tabla 2. Correlaciones en el grupo Alfa 2.

	Cortisol Pre	Cortisol Post	% Alfa	Puntos
Cortisol Pre		0.54	0.26	0.002
Cortisol Post	0.540		0.83	0.670
% Alfa	0.260	0.83		0.950*
Puntos	0.002	0.67	0.95*	

* $p < 0.05$

En las correlaciones entre las variables del grupo retroalimentado en alfa 2 únicamente se halló una correlación positiva ($p < 0.05$) entre el porcentaje de alfa 2 producido y los puntos.

DISCUSIÓN

Se exploró la relación entre un entrenamiento con neuroretroalimentación en alfa 2 (11-12 Hz) y en la actividad EEG asociada con tensión muscular (52-58 Hz) en los niveles de cortisol. La importancia de conocer dicha relación entre estas variables puede proporcionar información importante para crear técnicas avanzadas de relajación cuyo propósito es disminuir el estrés en las personas.

Una vez procesados los resultados del estudio, se pudo encontrar una relación entre el puntaje obtenido en las sesiones de neuroretroalimentación con el porcentaje de la producción de la potencia de alfa y, asimismo, diferencias en los niveles de cortisol entre los grupos.

En los resultados no se hallaron diferencias significativas en las concentraciones de cortisol en saliva a lo largo de las fases del estudio; lo esperado era que disminuyeran significativamente entre las fases del estudio, mostrando el punto más bajo en la línea base post, tal como ocurrió en el estudio de Nomura, Tanaka y Nagashima (2006), en el que se sometió a varios participantes a treinta minutos de operaciones matemáticas simples, y después fueron expuestos a siete minutos de música, ruido o silencio. Los niveles de cortisol en saliva de los participantes, tras someterse a la fase de música y de ruido, fueron significativamente menores que los alcanzados antes de esa condición.

Las concentraciones de cortisol en ambos grupos parecen inversamente proporcionales: en la línea base pre, fueron menores en el grupo retroalimentado en alfa 2, mientras que en la línea base post fueron más altas; a diferencia de lo anterior, en la línea base pre del grupo retroalimentado en EEG fueron mayores que en la línea base post, donde bajaron, aunque no de un modo importante.

Aunque no se hallaron diferencias significativas entre las fases del estudio, sí las hubo entre los grupos en cuanto a los niveles de cortisol. Esto pudiera deberse a que ambos grupos iniciaron el estudio en diferentes fechas y que la mayoría de

los participantes fueron estudiantes universitarios; así, es posible que las citadas diferencias fueran causadas por eventos estresantes ocurridos en ese periodo de su vida (periodo final de exámenes, graduación, búsqueda de empleo, etc.). También se sabe que existe una gran diversidad de sustancias y productos comerciales que afectan los niveles de segregación del cortisol, como la nicotina o el alcohol; algunos hábitos alimenticios, y la actividad física (Kirschbaum y Hellhammer, 1989; Kirschbaum, Scherer y Strasburger, 1994). Los niveles de cortisol en los participantes retroalimentados en EEG iniciaron siendo más altos que los del grupo retroalimentado en alfa 2, aun habiendo sido elegidos los participantes aleatoriamente.

El cortisol también tiene un ciclo circadiano, por el cual las concentraciones más altas de la hormona ocurren en la mañana (en saliva, el pico más alto del cortisol se ve a los treinta minutos de haber despertado), siendo las de la tarde y noche más bajas (Kirschbaum y Hellhammer, 1989). En el presente estudio, la mayoría de los participantes fueron retroalimentados en la mañana, por lo menos tres horas después de despertar para evitar las variaciones en los niveles de cortisol por la respuesta circadiana.

Todo ello afecta los niveles de cortisol en el organismo y su segregación natural (Kirschbaum y Hellhammer, 1989). La segregación de cortisol también varía significativamente entre individuos, y los ritmos circadianos tienden a ser diferentes en la población. En otros estudios se han controlado otras variables más que pueden alterar los ritmos naturales de segregación del cortisol mediante autorreportes más específicos (Smyth, Ockenfels, Goring y cols., 1997).

Los niveles más elevados de cortisol fueron del grupo reatrolimentado en EEG, incluso más altos que los reportados en otros trabajos. Lo anterior también puede deberse a las diferencias en la recolección de la saliva. En la mayoría de los estudios que reportan análisis de cortisol se utilizó Salivette's Sartstedt Inc. (Bartels, de Geus, Kirschbaum, Sluyter y Boomsma, 2003; Stone, Schwartz, Smyth y cols., 2001). Dicho dispositivo consta de un algodón que los participantes mastican constantemente para recolectar la saliva y que después se deposita en un recipiente. Debe recordarse que el cortisol es un lípido y que, debido a sus propie-

dades, puede adherirse al algodón, registrando por lo tanto menores niveles (Cook, Read, Walker, Harris y Riad-Fahmy, 1992). En este estudio se utilizaron tubos de polipropileno que absorben menos de 5% de hormonas lipídicas (IBL-America, 2006).

En lo que respecta a la producción de la potencia de alfa 2 en ambos grupos, no se encontraron diferencias significativas antes, después o durante el entrenamiento (Figura 1), aun siendo que el grupo EEG no tuvo como objetivo incrementar la potencia de alfa 2; al parecer, reducir la actividad eléctrica asociada con la tensión muscular puede producir un efecto doble y verse reflejada en la producción automática de alfa 2 debido al posible estado de relajación muscular que los participantes de este grupo experimentaron para poder reducir dicha actividad EEG.

Por otro lado, el grupo retroalimentado en EEG mantuvo en un nivel mucho mayor la condición experimental para reducir adecuadamente la actividad eléctrica asociada a la tensión muscular que el grupo retroalimentado en alfa 2. Al parecer, le resultó mucho más fácil a aquel reducir tal actividad eléctrica, que al grupo retroalimentado en alfa 2 aumentar la potencia de esta banda.

Puede haber ocurrido un efecto de producción indirecto, y también es posible que el incremento en la actividad alfa 2 se haya visto reflejado en otra área del cerebro que no se haya estado monitoreando, pues en un estudio de Angelakis, Sthathopoulos, Frymiare y cols. (2007) en el que se retroalimentaba alfa y alfa *peak frequency* se observó un notable incremento en otras áreas, como las frontales. Otro estudio reporta que la actividad alfa es más alta en las áreas parietales (Hanslmayr y cols., 2005).

En el protocolo utilizado en el presente estudio también se retroalimentó la supresión de teta de manera directa, pues era una de las condiciones a cumplir en las sesiones experimentales, lo que pudo causar que alguna otra onda se reflejara, contrarrestando la producción de alfa 2, tal y como ocurrió en un estudio de Egner y Gruzelier (2004), en el que se retroalimentó a varios participantes sanos bajo el protocolo alfa/teta, observándose importantes incrementos de la actividad teta durante el proceso.

Por otro lado, la condición a cumplir en el estudio pudo haber sido muy complicada para los participantes, reduciendo así un entrenamiento efectivo (motivación del participante, variables extrañas, control del estudio, etc.). En el estudio ya citado de Egner y Gruzelier (2004), la condición a cumplir era sostener la producción de onda por encima del umbral (entre un mínimo de 30% y un máximo de 65%) en los 15 minutos que duraba la sesión. En el estudio que aquí se reporta los participantes debían obtener la mayor cantidad de puntos (un punto era igual a 2.5 segundos consecutivos de producción de la onda representada gráficamente en un foco que se encendía), y probablemente esta condición resultó ser demasiado complicada para los participantes, por lo que se requiere de un sistema distinto de reforzamiento.

En fin, el objetivo de este estudio fue explorar una relación entre un entrenamiento en alfa 2 (10-12 Hz) y en la actividad EEG asociada con tensión muscular (52-58 Hz) en los niveles de cortisol en saliva. Se esperaba obtener una disminución significativa en estos últimos a lo largo de un entrenamiento en alfa 2. En los resultados finales del estudio no se halló ninguna relación entre tales variables.

Según parece, un entrenamiento con neuroretroalimentación en alfa 2 no promueve la disminución de la concentración de cortisol en una población universitaria de 20 a 30 años. Dicho argumento se debe, por un lado, a un pobre aprendizaje de producción de la onda alfa 2 por parte de los participantes debido a la dificultad para cumplir las condiciones experimentales del estudio y, por otro, a las variaciones encontradas de la hormona cortisol entre los individuos participantes, variaciones que se ven alteradas por sus hábitos de vida.

Futuras investigaciones deberán enfocarse en el estudio de la respuesta endócrina del estrés y la activación de respuestas fisiológicas como las ondas cerebrales, tomando en cuenta y controlando las posibles variables que podrían afectar el estudio.

REFERENCIAS

- Ader, R. y Cohen, N. (1993). Psychoneuroimmunology: conditioning and stress. *Annual Review of Psychology*, 44, 53-85.
- Angelakis, E., Sthathopoulos, S., Frymiare, J., Green, D., Lubar, J. y Kounios, J. (2007). EEG Neurofeedback: A brief overview and an example of peak alpha frequency training for cognitive enhancement in the elderly. *The Clinical Neurophysiologist*, 21, 110-129.
- Bartels, M., de Geus, E.J., Kirschbaum, C., Sluyter, F. y Boomsma, D.I. (2003). Heritability of daytime cortisol levels in children. *Behavior Genetics*, 33(4), 421-433.
- Castro, L. (1975). *Diseño experimental sin estadística*. México: Trillas.
- Cook, N.J., Read, G.F., Walker, R.F., Harris, B. y Riad-Fahmy, D. (1992). Salivary cortisol and testosterone as markers of stress in normal subjects in abnormal situations. En C. Kirschbaum, G. F. Read y D. Hellhammer (Eds.): *Assessment of hormones and drugs in saliva in biobehavioral research* (pp. 147-162). Seattle, WA: Hogrefe & Huber.
- Egner, T. y Gruzelier, J.H. (2004). EEG biofeedback of low beta band components: frequency-specific effects on variables of attention and event-related brain potentials. *Clinical Neurophysiology*, 115(1), 131-139.
- Evans, G., Lercher, P., Meis, M., Ising, H. y Kofler, W. (2001). Community noise exposure and stress in children. *Journal of the Acoustic American Society*, 109(3), 1023-1027.
- Everly, S. y Rosenfeld, R. (1981). *The nature and the treatment of stress response*. New York: Plenum.
- Gould, M. y Stephano, J.L. (2005). *Biochemical techniques. A laboratory manual*. San Diego, CA: University Readers.
- Hanslmayr, S., Sauseng, P., Doppelmayr, M., Schabus, M. y Klimesch, W. (2005). Increasing individual upper Alpha power by neurofeedback improves cognitive performance in human subjects. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 30(1), 1-10.
- IBL-America (2006). The saliva sampling device. *Salivary diagnostics. A discussion of hormone assessment in saliva samples*, 8-9.
- Jacobson, E. (1938). *Progressive relaxation*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Jasper, H. (1958). Progress and problems in brain research. *Journal of the Mont Sinai Hospital, New York*, 25(3), 244-253.
- Jausovec, N. y Jausovec, K. (2000). EEG activity during the performance of complex mental problems. *International Journal of Psychophysiology*, 36(1), 73-88.
- Kariyawasam, H.S., Zaw, F. y Handley, S.L. (2002). Reduced salivary cortisol in children with comorbid attention deficit hyperactivity disorder and oppositional defiant disorder. *Neuroendocrinology Letters*, 23, 45-48.
- Kirschbaum, C. y Hellhammer, D. (1989). Salivary cortisol in psychobiological research: an overview. *Neuropsychobiology*, 22, 150-169.
- Kirschbaum, C. y Hellhammer, D. (1999). Noise and stress-salivary cortisol as a non-invasive measure of allostatic load. *Noise and Health*, 4, 54-65.
- Kirschbaum, C., Scherer, G. y Strasburger, C.J. (1994). Pituitary and adrenal hormone responses to pharmacological, physical, and psychological stimulation in habitual smokers and nonsmokers. *Clinical Investigator*, 72(10), 804-810.
- Lingenfelter, J.E. (2001). Review of the literature regarding the efficacy of neurofeedback in the treatment of attention deficit hyperactivity disorder. Doctoral Dissertation. *Journal of Neurotherapy*, 4.
- Mason, J. (1968). A review of psychoenocrine research on the pituitary-adrenal-cortical system. *Psychosomatic Medicine*, 30, 576-607.
- Miller, E.K. y Cohen, J.D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 167-202.
- Nomura, S., Tanaka, H., y Nagashima, T. (2006). Case study of salivary cortisol as a stress and relaxation marker. *The 5th International Conference of the Cognitive Science*. Disponible en línea: <http://csjarchive.cogsci.rpi.edu/proceedings/2006/iccs/p167.pdf> (Recuperado el 17 de noviembre de 2009).
- Pawlow, L. y Jones, G. (2005). The impact of abbreviated progressive muscle relaxation on salivary cortisol and salivary immunoglobulin. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 30(4), 375-387.
- Raison, C.L. y Miller, A.H. (2003). When not enough is too much: The role of insufficient glucocorticoid signaling in the pathophysiology of stress-related disorders. *American Journal of Psychiatrist*, 160, 1554-1565.
- Schwartz, M.S. (1995). *Biofeedback a practitioner's guide* (2nd ed.). New York: Guilford Press.
- Seeman, T.E., McEwen, B.S., Rowe, J.W. y Singer, B.H., (2001). Allostatic load as a marker of cumulative biological risk: McArthur studies of successful aging. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, 98, 4770-4775.
- Selander, J., Bluhm, G., Theorell, T., Pershagen, G., Babisch, W., Seiffert, I., Houthuijs, D., Breugelmans, O., Vigna-Taglianti, F., Antonioti, M., Velonakis, E., Davou, E., Dudley, M. y Järup, L. (2009). Saliva cortisol and exposure to aircraft noise in six European countries. *Environmental Health Perspectives*, 117, 1713-1717.

- Smyth, J., Ockenfels, M., Gorin, A., Catley, D., Porter, L., Kirschbaum, C., Hellhammer, D. y Stone, A. (1997). Individual differences in the diurnal cycle of cortisol. *Psychoneuroendocrinology*, 22(2), 89-105.
- Stephens, A. y Brydon, L. (2005). Psychoneuroimmunology and coronary heart disease in K. Vedhara y M. Irwin (Eds.): *Human psychoneuroimmunology*. New York: Oxford University Press.
- Stone, A.A., Schwartz, J.E., Smyth, J., Kirschbaum, C., Cohen, S., Hellhammer, D. y Grossman, S. (2001). Individual differences in the diurnal cycle of salivary free cortisol: a replication of flattened cycles for some individuals. *Psychoneuroendocrinology*, 26(3), 295-306.
- Thompson, M. y Thompson, L. (2003). *The Neurofeedback Book: An introduction to basic concepts in applied psychophysiology*. Toronto: AAPB.