

Estudio experimental sobre el Neurobiofeedback: una mejora de la concentración en el TDAH a través del nirHEG y la fluidez sanguínea

Marisol Cueli, Celestino Rodríguez, Trinidad García, Débora Areces y Paloma González-Castro
Universidad de Oviedo, España

Resumen

El Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad (TDAH) se relaciona con una baja activación cortical principalmente en el área prefrontal. Por ello, una intervención eficaz pasa por un incremento de este tipo de activación. Para alcanzar este objetivo el tratamiento de primera elección ha sido hasta el momento el apoyo farmacológico, sin embargo, en los últimos tiempos el entrenamiento en neurobiofeedback (NF) ha venido mostrando grandes beneficios. El objetivo de este trabajo fue analizar los beneficios del entrenamiento en NF utilizando como instrumento el hemoencefalograma nir-HEG cuya finalidad es evaluar e intervenir sobre la activación cortical a través de la valoración de la oxigenación sanguínea en zonas expresamente seleccionadas. Para ello, se trabajó con 25 estudiantes con TDAH. Todos ellos realizaron una evaluación pretest y posttest en las que se estudió la activación cortical medida con el EEG cuantificado Q-EEG y el nir-HEG y el control ejecutivo medido con el TOVA. Tras el entrenamiento durante 12 sesiones en la zona prefrontal central izquierda (Fp1), utilizando el nir-HEG, los resultados mostraron una evolución favorable en las medidas de activación cortical y control ejecutivo con diferencias estadísticamente significativas en la activación cortical central (Cz) y en todas las medidas recogidas del TOVA. Se concluyó que el entrenamiento con el nir-HEG aporta grandes beneficios, sobre todo, a nivel ejecutivo que conviene continuar estudiando en futuros trabajos.

Palabras clave: TDAH, nir-HEG, Q-EEG, activación cortical, Neurobiofeedback.

Abstract

Experimental study on neurobiofeedback: improved ADHD concentration through nirHEG and blood fluidity. Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) is related to low cortical activation, particularly in the prefrontal area. In this sense, an effective intervention should imply an increase in the levels of this type of activation. Though in the last few years the first-choice treatment has been the pharmacological support, recent researches have affirmed that neurofeedback training (NF) has also generated great benefits in children with ADHD. Therefore, the aim of this study was to analyze the benefits of NF using the hemoencephalography nir-HEG whose aim is the assessment and intervention of blood oxygenation levels in certain areas. This study worked with 25 students with ADHD. All patients received a pretest and posttest assessment in which cortical activation has been measured with the EEG quantified (Q-EEG), the nir-HEG and the executive control (TOVA test). After the intervention (12 sessions) in the middle left prefrontal area (Fp1) using the nir-HEG, the results showed a favorable trend in measures of cortical activation and executive control, with statistically significant differences in the central cortical activation (Cz) and all measures covered by the TOVA. In this way, this research concluded that training with nir-HEG provides great benefits, that it should be studied in future researches.

Keywords: ADHD, nir-HEG, Q-EEG, cortical activation, Neurobiofeedback.

El Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad (TDAH) esta categorizado, siguiendo el DSM-5 (APA, 2013), como un trastorno del neurodesarrollo cuya sintomatología puede manifestarse en

función de tres tipos de presentación (inatenta, hiperactiva/impulsiva o combinada). El origen de este problema se ha asociado principalmente con diferentes factores neurológicos (Congdon et al., 2014;

Correspondencia:

Celestino Rodríguez.

Facultad de Psicología, Despacho 225. Universidad de Oviedo.

Plaza Feijoo s/n, C.P. 33003 Oviedo, España.

E.mail: rodriguezcelestino@uniovi.es

Rubia et al., 2011; Tsujimoto, 2013). Las investigaciones apuntan a un retraso en los procesos de mielinización durante el desarrollo cerebral (De Bellis et al., 2001; Sowell et al., 2002), a reducciones de la sustancia blanca en el lóbulo frontal (Mostofsky, Cooper, Kates, Denckla y Kaufman, 2002; Overmayer et al., 2001) o a una disfunción temprana de las funciones ejecutivas, relacionadas con circuitos fronto-talámicos (Narbona y Sánchez-Carpintero, 1999), que repercuten sobre los niveles de activación cortical (Álvarez, González-Castro, Núñez, González-Pianda y Bernardo, 2008; Lubar, Swartwood, Swartwood y O'Donnell, 1995; Orinstein y Stevens, 2014). En definitiva, el TDAH se ha asociado a una disfunción en el sistema nervioso central caracterizada por un retraso madurativo e hipoactivación cortical (Bledsoe, Semrud-Clikeman y Pliszka, 2011) que sería la base de los déficits a nivel inhibitorio y atencional (Cubillo et al., 2012).

Esta hipoactivación o retraso madurativo, se refleja en las funciones ejecutivas entendidas como la capacidad de control inhibitorio y la capacidad atencional, que requieren para su puesta en marcha de la activación de determinadas áreas cerebrales (González-Castro, Rodríguez, López, Cueli y Álvarez, 2013), lo cual, depende principalmente del aporte de oxígeno y la glucosa (Negoro et al., 2010) que son distribuidas a los módulos activos a través del flujo de sangre. Esta falta de activación en estudiantes con TDAH, les impide ejecutar eficazmente ambas capacidades.

Conocido este déficit y en base a estas características, el tratamiento en el TDAH, en líneas generales, se basaría en incrementar la actividad cortical. Históricamente, los apoyos farmacológicos han sido considerados el único tratamiento eficaz, desde que Charles Bradley, en 1937, descubrió de forma accidental la eficacia de los psicoestimulantes en la reducción de la sintomatología del trastorno (Brown, 2006). Sin embargo, en los últimos tiempos, diferentes estudios han mostrado la efectividad del entrenamiento con técnicas como el Neurofeedback (NF) ya que al aumentar los niveles de activación cortical, disminuyen los síntomas de inatención, impulsividad e hiperactividad (Arns, De Ridder, Strehl, Breteler y Coenen, 2009; Fuchs, Birbaumer, Lutzenberger, Gruzelier y Kaiser, 2003; Kropotov et al., 2007; Lubar, Swartwood, Swartwood y O'Donnell, 1995a; Monastra, Monastra y George, 2002). Por ejemplo, tras el entrenamiento en neurofeedback dirigido a aumentar la activación cortical prefrontal, Thompson y Thompson (1998), observaron mejoras significativas en 111 niños y adultos con TDAH, tanto en la activación cortical medida a través del EEG cuantificado (Q-EEG) como en la sintomatología observable o manifiesta medida a través de un test de ejecución continua (*Test of Variables of Attention* -TOVA-; Greenberg y Waldman, 1993). Otros trabajos también han constatado que, al aumentar la activación cortical con técnicas de entrenamiento en NF o con apoyo farmacológico (Fuchs et al., 2003; Othmer, Othmer y Kaiser, 2000; Rossiter, 2004), los estudiantes con TDAH mejoraban significativamente su ejecución en las tareas como consecuencia de la disminución de la sintomatología del trastorno.

Este tipo de entrenamiento en NF, se inició aproximadamente hace unos treinta años (Bakhshayesh, Hänsch, Wyszkon, Java-Rezai y Esser, 2011) y está dirigido a estimular la activación cortical (Alexander-Logemann et al., 2010) en todos aquellos trastornos que precisan, para su evolución positiva, aumentar la capacidad de concentración, autorregulación y control (Monastra, Lynn, Linden, Lubar y Gruzelier, 2005). El objetivo es que el niño o adulto sea consciente de su propia activación (a través del feedback inmediato auditivo y visual) y que aprenda a modificar la amplitud y frecuencia de su electrofisiología cerebral, mediante la identificación de los cambios específicos de activación, así como, de la manera de modificarlos de forma voluntaria a

través de un protocolo estandarizado de intervención (Vernon, Frick y Gruzelier, 2004). Los estudios justifican el aumento de la activación a través del entrenamiento con NF, no solo por el feedback inmediato que proporciona el instrumento y que permite al sujeto hacer consciente su propio nivel de activación, reconocerlo y aumentarlo (Vernon et al., 2004), sino también, por el establecimiento de nuevas vías neuronales (Schulenburg, 1999), o lo que es lo mismo, un aumento del nivel de sinaptogénesis (Toomin et al., 2005). Aprender a hacer frente a difíciles problemas favorece este proceso (el desarrollo de nuevas sinapsis y mejora de los existentes) mientras que tareas repetitivas simples que son fácilmente adquiridas contribuyen principalmente, pero no exclusivamente, a la angiogénesis, es decir, al desarrollo de una mayor densidad capilar en el cerebro.

Con el fin de llevar a cabo este tipo de intervenciones, existe una gran variedad de instrumentos. Concretamente, en los últimos años aparece una nueva herramienta de evaluación e intervención en el TDAH, la hemoencefalografía infraroja (nir-HEG; *Hemoencephalography Near Infrared Spectroscopy*) desarrollada por el Doctor Hershel Toomin et al. (2005). El nir-HEG pretende conocer el flujo de sangre oxigenada en el cerebro a través de la evaluación del color de tejido cerebral teniendo en cuenta que la sangre oxigenada arterial es roja, mientras que la sangre desoxigenada venosa es azul (Rodríguez, Fernández-Cueli, González-Castro, Álvarez y Álvarez-García, 2011). Un aumento de la demanda en la nutrición de determinadas áreas, provoca un flujo de sangre más rápido y denso y, por tanto, mayor cantidad de sangre roja (oxigenada) en los tejidos. Teniendo en cuenta esta relación, se puede conocer la activación cerebral de una parte del cerebro.

Hershel Toomin se interesó por esta tecnología mientras investigaba los efectos fisiológicos del neurofeedback. En 1994, mientras estudiaba el desarrollo de un dispositivo para registrar los cambios en el flujo de sangre, descubrió que además de esa evaluación, podía cambiar su propio nivel de hemoglobina oxigenada en la región prefrontal seleccionada y además, hacerlo en unos pocos minutos. Así, nació el dispositivo que se ha denominado nir-HEG y que utiliza determinadas propiedades de la luz para medir el flujo de sangre oxigenada en áreas corticales. La técnica fue validada en un estudio instruccional sobre el control voluntario del flujo sanguíneo cerebral realizado por Yoo y Jolesz (2002) con estudiantes universitarios, apareciendo entonces el entrenamiento con *Neurobiofeedback* (NBF). Sus resultados mostraron una mejora del flujo sanguíneo y la funcionalidad de determinadas áreas del cerebro tras la intervención con el nir-HEG. También, Toomin et al. (2005) realizó un estudio con un grupo de 26 niños y adultos con diversos diagnósticos neurológicos. La mayoría (14) habían sido diagnosticados con TDAH. Cada participante fue sometido a una evaluación de 10 sesiones, con tres periodos de 10 minutos en cada una de ellas. En cada período, el sujeto recibía entrenamiento NBF con nir-HEG en tres zonas del cortex: prefrontal izquierdo (Fp1), prefrontal central (Fpz) y prefrontal derecho (Fp2). Los participantes en el grupo experimental, mostraron una ganancia de casi una desviación típica en el *Test of Variables of Attention* (TOVA). Posteriormente, tres de los participantes de este estudio fueron evaluados mediante tomografía computarizada por emisión de positrones antes y después de su tratamiento con el nir-HEG. Los tres mostraron un aumento en el flujo sanguíneo cerebral después de 10 sesiones, tanto en los módulos estudiados (Fp1, Fpz y Fp2), como también en zonas cerebrales anatómicamente distantes (Toomin et al., 2005). También, Mize (2004) en un estudio de caso con un estudiante de 12 años con TDAH que recibía apoyo farmacológico, observó tras la intervención con el nir-HEG, beneficios similares de la técnica NBF.

Otro de los estudios de intervención más conocidos basándose

en el método de caso, fue el realizado por Sherrill (2005) con un estudiante de quince años de edad, quien presentaba un historial de problemas leves de articulación del habla, problemas de escritura y de ortografía. Se le administraron veinte sesiones con el nir-HEG. Cada sesión tenía una duración de 3 ensayos de 10 minutos cada uno, colocando la medición nir-HEG en Fp1, Fpz y Fp2 respectivamente. Los cambios en los niveles de ratio nir-HEG fueron calculados para cada ensayo, así como la ratio beta/theta del electroencefalograma Q-EEG. Los resultados indicaron una evolución positiva en el control voluntario sobre el flujo sanguíneo cerebral, que, además, se reflejaba en que a medida que transcurrían las sesiones se incrementaba la ratio HEG progresivamente en los tres puntos del córtex prefrontal.

Teniendo en cuenta los beneficios descritos en los citados trabajos, los cuales, muestran que estudiantes con TDAH tras la intervención con nir-HEG mejoran significativamente su ejecución en pruebas como el TOVA (Toomin et al., 2005; Toomin y Jeffrey, 2009) y, estudiantes con dificultades asociadas, mejoran su activación medida con el Q-EEG (Sherrill, 2005); el objetivo de este estudio fue analizar los beneficios en 25 estudiantes con TDAH después de 12 sesiones de intervención con NBF (en la zona prefrontal izquierda) tanto en las variables aportadas por el TOVA como en la activación medida a través del Q-EEG. La hipótesis planteada es que los estudiantes con TDAH presentarán una mejora estadísticamente significativa en las variables analizadas.

Método

Participantes

Participan en este estudio 25 estudiantes con TDAH, 7 niñas y 18 niños, de entre 7 y 13 años de edad ($M = 9.83$; $DT = 1.68$). Los 25 estudiantes trabajaron durante tres meses con el instrumento nir-HEG. Todos ellos presentaban un CI igual o superior a 80 ($M = 98.56$, $DT = 12.09$), evaluado por el equipo de orientación de su centro educativo con el WISC-IV (Wechsler, 2005). Los participantes asistían a diferentes colegios públicos y concertados del Principado de Asturias (España) y ya habían sido diagnosticados por su pediatra o neuropediatra de referencia. Con el fin de contrastar el diagnóstico previo, se aplicó la escala de Evaluación del Déficit de Atención con Hiperactividad (EDAH) de Farré y Narbona (2013) a sus padres. Los estudiantes recibieron este tipo de tratamiento en base a la elección y preferencias de los padres.

Instrumentos

Inicialmente, se realizó la evaluación de la sintomatología con el fin de confirmar el diagnóstico, utilizando la escala EDAH. A continuación, todos los estudiantes realizaron en dos momentos (pretest y postest), la evaluación a dos niveles, evaluación de la ejecución (TOVA) y evaluación de la activación cortical (Q-EEG y nir-HEG). Finalmente, para la intervención en NBF se utilizó el nir-HEG.

Escala de evaluación del déficit de atención con hiperactividad (EDAH). La evaluación de la sintomatología del TDAH se llevó a cabo con la escala EDAH (Farré y Narbona, 2013) para padres, la cual, está formada por 20 ítems que nos aportan información acerca del déficit de atención, de la hiperactividad y de la impulsividad, permitiéndonos también distinguir entre TDAH predominantemente hiperactivo-impulsivo o inatento. Se considera que existe déficit de atención y/o hiperactividad-impulsividad cuando la puntuación en una de las subescalas es superior al 90%.

Test of variables of attention (TOVA). La evaluación de la ejecución se llevó a cabo con un test de ejecución continua (Continuous Performance Test -CPT-), en este caso, el TOVA. Esta prueba presenta en la pantalla de un ordenador, durante una media de 22.5 minutos, dos estímulos. El primero ante el que el niño debe pulsar un botón (o pulsador), es la aparición de un cuadro negro en el borde superior de la pantalla. El segundo, ante el que el estudiante no debe realizar ninguna acción (no target), es la aparición de un cuadro negro en el borde inferior. El estudiante utiliza el pulsador con la mano que emplea para escribir. El TOVA controla las omisiones, comisiones, tiempo de respuesta y variabilidad. Un indicador de déficit de atención es la obtención de una desviación estándar por debajo de la media en omisiones y tiempo de respuesta, se trataría de impulsividad si la desviación estándar se produce en las comisiones y, finalmente, se hablaría de hiperactividad cuando la desviación se da en la variabilidad. Otros indicadores a tener en cuenta en el TOVA son el valor D prima y el Índice General de Control Ejecutivo (IGCE). D prima se obtiene de la ejecución del sujeto a lo largo de la prueba, de manera que a mayor número de errores mayor será este índice (más negativo), asimilable a hiperactividad. El índice general de control ejecutivo (IGCE) es resultado de la suma del tiempo de respuesta de la primera mitad, D' de la segunda mitad y la variabilidad total. Si el IGCE es inferior a -1.80 es indicativo de un déficit en el control ejecutivo. (Álvarez et al., 2008).

El EEG Cuantificado, Q-EEG adaptado por Toomin (Rodríguez et al., 2011), proporciona los niveles de activación cortical a través de la ratio beta/theta. Mide la atención en general, independientemente de la tarea a realizar. Para ello, se le coloca al sujeto un electrodo para registrar la ratio beta/theta en la zona cortical correspondiente (Cz, Fp1) y otros dos electrodos de control en las orejas, en el lóbulo izquierdo-derecho respectivo. Finalmente, el equipo lleva un sistema EMG (antebrazo derecho) para identificar el grado de movimiento. Una vez colocados los electrodos en los lugares indicados, se le pide que permanezca relajado, sin moverse, con un ritmo de respiración lento y pausado, fijándose exclusivamente en la pantalla del ordenador en la que se van sucediendo las ondas theta y beta que él mismo emite. Finalizada la evaluación, se interpretan los resultados obtenidos. Cuando la ratio beta/theta es inferior al 50% en Cz, estaríamos ante un claro déficit de atención sostenida y si, además, la ratio fuese inferior en Fp1, entonces el déficit de atención iría asociado a una falta de control ejecutivo, asimilable a hiperactividad.

nir-HEG (Hemoencefalografía). El nir-HEG permite la evaluación e intervención sobre la oxigenación sanguínea. Para ello, utiliza la propiedad translúcida del tejido biológico, las luces de color rojo de baja frecuencia y de infrarrojos a través de diodos emisores de luz (optodos LED). Está formado por una sonda óptica cerca del HEG infrarrojo que se dispersa por la luz de la piel y el cráneo para registrar el color del tejido cerebral. Así, el instrumento nos permite evaluar la oxigenación sanguínea e intervenir sobre esta medida con el fin de aumentar la activación cortical. La evaluación, se realizó en este estudio en dos puntos corticales, Fp1 (zona prefrontal central izquierda, encima del lagrimal izquierdo) y Cz (zona prefrontal central) relacionadas con la capacidad de autocontrol y con la capacidad atencional respectivamente. El instrumento aporta como medida la ratio nir-HEG, la cual, se calcula comparando la luz roja (660 nm. de longitud de onda) que es menos absorbida por la hemoglobina oxigenada, con la luz infrarroja (850 nm. de longitud de onda), poco afectada por la oxigenación. Para ello, la luz es emitida alternativamente en la superficie de la piel, penetra en los tejidos y se dispersa, refractada y reflejada. Una cantidad de luz modificada por la absorción de la longitud de onda del tejido sensible, se devuelve a la

superficie y se mide (Toomin et al., 2005). Por lo tanto, matemáticamente la fórmula de la ratio HEG, sería la siguiente:

$$\text{Ratio HEG} = \frac{\text{Luz roja (variable)}}{\text{Luz infrarroja (poco afectada por la oxigenación)}}$$

La ratio o proporción nir-HEG de las ondas recibidas en rojo con la luz infrarroja tiene una propiedad útil, es decir, el numerador y denominador de la relación están influenciados de la misma manera por la atenuación de la piel, el cráneo y la longitud del camino. En esta relación, por lo tanto, estas variables se desestiman. Para la interpretación de esta variable, se debe tener en cuenta como base normalizada Media 100 y Desviación Típica 20 (Toomin et al., 2005).

Diseño y análisis de los datos

Con el fin de desarrollar los objetivos del presente trabajo, se llevó a cabo un diseño cuasi-experimental. Además del estudio de los estadísticos descriptivos, se optó por llevar a cabo la prueba *t* de Student para muestras relacionadas comparando las medidas pre y post para las dos variables de activación cortical aportadas por el Q-EEG (Cz y Fp1), las dos variables aportadas por el nir-HEG (Fpz y Fp1) y las seis variables aportadas por el TOVA (omisiones, comisiones, tiempo de respuesta, variabilidad, D prima e IGCE). Para el cálculo del tamaño de las diferencias y su valoración, se utilizó el criterio establecido en el trabajo clásico de Cohen (1988), en base al cual, el tamaño de las diferencias es pequeño cuando $d \geq 0.20$, es medio cuando $d \geq 0.50$ y es grande si $d \geq 0.80$.

Procedimiento

Una vez obtenido el consentimiento de los padres y confirmado el diagnóstico del TDAH, se inició la evaluación pre-test con el Q-EEG, el nir-HEG y el TOVA. Para realizar la valoración con el Q-EEG se indicó al sujeto que debía permanecer relajado, sin moverse, con los ojos abiertos y fijándose en la pantalla del ordenador. Esta evalua-

ción se realizó en los puntos corticales Fp1 (zona cortical prefrontal izquierda) y Cz (zona cortical central). La evaluación con el nir-HEG, se realizó en dos puntos corticales Fp1 (zona cortical prefrontal izquierda) y FpZ (zona cortical prefrontal central) durante 35 segundos en cada uno de los puntos. A continuación se aplicó el TOVA, tras darle a los estudiantes las siguientes instrucciones: "Durante los próximos minutos vas a ver una secuencia de figuras en la pantalla del ordenador y deberás oprimir el botón lo más rápido que puedas cuando veas el rectángulo con el cuadrado cercano a la parte superior pero no cuando la figura tenga el cuadrado cercano al borde inferior. Lo importante es que actúes lo más rápido que puedas, estando seguro de la respuesta y tratando de no equivocarte". Los sujetos realizaron primero una práctica de tres minutos con el fin de ser competentes en la ejecución de la prueba.

Una vez realizada la evaluación pre-test, se inició la fase de intervención, la cual, se pautó en sesiones de 10 minutos, tres días por semana, durante tres meses en la zona prefrontal izquierdo (Fp1). El entrenamiento se realizó con el juego llamado "run/correr" en el que el estudiante avanza hacia delante a medida que aumenta su activación cortical pero, retrocede hacia atrás cuando disminuye y, por tanto, se desconcentra. Durante los primeros 30 segundos, el instrumento toma la medida de línea base, sobre la cual, se inicia el entrenamiento. Pasados tres meses, se realizó la evaluación post-test con los instrumentos descritos, para así, poder valorar los efectos de la intervención.

Resultados

Los resultados se presentan para cada grupo de variables (en los dos momentos de evaluación pre y post): activación cortical medida con el nir-HEG y el Q-EEG y control ejecutivo medido con el TOVA. Previo al análisis de diferencias pretest-posttest, se examinó si las variables mostraban una distribución normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov junto con los valores de asimetría y curtosis indicaron que las variables del estudio se ajustaban a una distribución normal.

Tabla 1. Pruebas de asimetría, curtosis y normalidad para las medidas de activación cortical (nir-HEG y Q-EEG) y de control ejecutivo (TOVA).

	Pre-test			Post-test		
	Z de K-S (p)	Asimetría	Curtosis	Z de K-S (p)	Asimetría	Curtosis
nir-HEG Fp1	1.106 (.173)	1.810	5.223	.807 (.532)	0.281	1.068
nir-HEG FpZ	1.185 (.120)	0.665	1.096	.498 (.965)	0.745	1.187
Q-EEG Fp1	1.537 (.018)	2.178	5.561	.754 (.621)	1.053	2.252
Q-EEG Cz	0.466 (.981)	0.178	0.264	.704 (.704)	0.137	-0.576
Omisiones	1.037 (.232)	-1.027	0.392	1.004 (.266)	-1.360	1.601
Comisiones	.884 (.415)	0.348	-1.002	.639 (.809)	-0.722	1.054
TR	.627 (.827)	-0.479	-0.192	.909 (.380)	-0.031	0.3545
Variabilidad	.716 (.684)	-0.091	0.347	.355 (1.000)	-0.737	-0.593
D prima	.876 (.426)	1.444	2.820	1.501 (.022)	1.671	2.041
IGCE	.580 (.890)	0.299	-0.204	.938 (.342)	0.493	-0.138

Nota. Z de K-S = Z de Kolmogorov-Smirnov.

Evolución pretest-postest de la activación cortical

Para conocer la evolución pretest-postest de los 25 estudiantes en las variables de activación cortical medida a través del Q-EEG y el nir-HEG, se realizó la prueba *t* de student para muestras relacionadas. Los datos recogidos de este análisis se muestran en la Tabla

2. El análisis de las diferencias mostró diferencias estadísticamente significativas en la variable Cz con un tamaño del efecto grande. En todo caso, el análisis de tendencias reflejó que la evolución resultaba positiva en las cuatro variables del pretest al postest con una mejora en las medias alcanzadas.

Tabla 2. Comparación de medias pre y postratamiento y tamaño del efecto en la activación cortical medida a través del nir-HEG y del Q-EEG.

	nir-HEG				Q-EEG				
	<i>M (DT)</i> Pre	<i>M (DT)</i> Post	<i>t (p)</i>	<i>d</i>	<i>M (DT)</i> Pre	<i>M (DT)</i> Post	<i>T (p)</i>	<i>d</i>	
Fp1	79.43 (11.20)	82.21 (15.67)	-1.22 (.233)	0.35	Fp1	0.49 (0.25)	0.50 (0.06)	-0.17 (.867)	0.05
FpZ	79.39 (15.80)	81.08 (17.50)	-0.50 (.621)	0.14	Cz	0.42 (0.07)	0.46 (0.06)	-2.93 (.007)	0.85

Evolución pretest-postest del control ejecutivo

Para analizar la evolución pretest-postest en las variables de control ejecutivo medido a través del TOVA, se realizó la prueba *t* de student para muestras relacionadas. Los datos recogidos de este análisis se muestran en la Tabla 3. El análisis mostró diferencias estadísticamente

significativas en las seis variables evaluadas con tamaños de los efectos medios y grandes. Tras la intervención se incrementan las puntuaciones en las seis variables, mejorando el número de errores por omisión y comisión, el tiempo de respuesta, la variabilidad y de ahí que se den mejores puntuaciones en D prima e IGCE (ver Figura 1).

Tabla 3. Comparación de medias pre y postratamiento y tamaño del efecto en la medida de control ejecutivo evaluada a través del TOVA.

	<i>M (DT)</i> Pre	<i>M (DT)</i> Post	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Omisiones	77.68 (18.98)	86.92 (16.73)	-2.56	.017	0.74
Comisiones	92.20 (9.40)	101.04 (11.51)	-3.38	.002	0.98
TR	81.12 (10.89)	90.72 (14.06)	-3.27	.003	0.94
Variabilidad	77.32 (14.14)	85.40 (10.74)	-2.57	.017	0.74
D prima	-1.28 (1.14)	-0.54 (1.37)	-2.84	.009	0.82
IGCE	-3.62 (2.17)	-1.86 (1.74)	-3.74	.001	1.08

Discusión

El objetivo de este estudio fue comprobar la eficacia del entrenamiento con NF utilizando el nir-HEG en 25 estudiantes con TDAH. Para ello, se evaluó antes y después de la intervención durante 12 sesiones, tanto la activación cortical como el control ejecutivo. La hipótesis de partida fue que los estudiantes mejorarían significativamente en ambas medidas. Por lo tanto, registrarían una mayor activación cortical en las zonas Cz y Fp1 medidas con el Q-EEG y en las zonas Fpz y Fp1 medidas con el nir-HEG, así como, un menor número de omisiones, comisiones, mejor tiempo de respuesta y menos variabilidad en el TOVA (resultando un IGCE más cercano a puntuaciones normativas).

Efectivamente, los estudiantes con TDAH mostraron tras la intervención una mejora en la activación cortical medida con el nir-HEG que, sin embargo, no resultó estadísticamente significativa y, una mejora en la activación medida con el Q-EEG que resultó estadísticamente significativa en la variable Cz. El análisis de las diferencias en las cuatro variables (Cz, Fp1, Fpz, Fp1) indicó una evolución posi-

tiva mostrando un incremento progresivo de las medias de los estudiantes en las mismas. Estos resultados son acordes con los obtenidos por Sherrill (2005), quien después de 20 sesiones observó una mejora estadísticamente significativa, principalmente en Cz, al igual que en el presente trabajo. Sherrill observó también un incremento de la ratio beta/theta en Fp1, no obstante, cabe tener en cuenta que en el citado trabajo se realizó la intervención en tres puntos cerebrales (Fp1, Fpz y Fp2) durante diez minutos para cada uno de los puntos en cada sesión (lo que hacía un total de 30 minutos de entrenamiento en cada una de las 20 sesiones). Teniendo en cuenta la diferente metodología, la ausencia de diferencias significativas en este trabajo podría relacionarse con la duración de la intervención.

Con respecto al control ejecutivo, los estudiantes mostraron una mejora estadísticamente significativa en las seis variables evaluadas (omisiones, comisiones, tiempo de respuesta, variabilidad, D prima e IGCE) al igual que en los trabajos descritos anteriormente (Toomin et al., 2005; Toomin y Jeffrey, 2009). Además, la mejora resultó más llamativa en las variables omisiones y tiempo de respuesta, ambas relacionadas con la inatención. De ahí, se puede concluir que si bien

la mejora en la activación se dio de forma estadísticamente significativa en Cz, área cortical relacionada con la atención, esta mejora se reflejó además en un mayor control ejecutivo y, por tanto, mejor rendimiento en las variables relacionadas con esta capacidad (menor número de errores por omisión y mejor tiempo de respuesta). En cualquier caso, la mejora se produjo en las seis variables (omisiones, comisiones, tiempo de respuesta, variabilidad, D prima e IGCE) de ahí que el incremento en la activación quede patente en una mejora en el rendimiento y conducta observable.

Finalmente, cabe destacar como limitación de este trabajo, en primer lugar, la ausencia de un grupo comparativo. Resultaría por ello interesante como línea futura de trabajo analizar la mejora en comparación con un grupo de estudiantes que no reciban este tipo de entrenamiento e incluso con un grupo de estudiantes que reciban apoyo farmacológico o ambos (apoyo farmacológico y NF). Además, sería conveniente aumentar el número y duración de las sesiones teniendo en cuenta no sólo la intervención sobre Fp1, sino también al menos sobre Fp2, lo cual, podría aportar mayores beneficios.

Artículo recibido: 30/01/2015

Aceptado: 15/05/2015

Agradecimientos:

Este estudio ha sido financiado por la Conserjería de Economía y Empleo del Principado de Asturias (España). Ref: GRUPIN 13-053.

Referencias

- Alexander-Logemann, H.N., Lansbergen, M., Titus, W.D.P., Van Osd, Böcke, B.E. y Kenemans, J. (2010). The effectiveness of EEG-feedback on attention, impulsivity and EEG: A sham feedback controlled study. *Neuroscience Letters*, 479(1), 49-53. doi: 10.1016/j.neulet.2010.05.026
- Álvarez, L., González-Castro, P., Núñez, J.C., González-Pienda, J.A. y Bernardo, A. (2008). Evaluación y control de la activación cortical en los déficit de atención sostenida. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 8(2), 509-524.
- American Psychiatric Association, APA (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.)*. Washington, DC: Author.
- Arns, M., De Ridder, S., Strehl, U., Breteler, M. y Coenen, A. (2009). Efficacy of neurofeedback treatment in ADHD: the effects on inattention, impulsivity and hyperactivity: a meta-analysis. *Clinical EEG and neuroscience official journal of the EEG and Clinical Neuroscience Society ENCS*, 40(3), 180-189.
- Bakhshayesh, A.R., Hänsch, S., Wyszkon, A., Java-Rezai M. y Esser, G. (2011). Neurofeedback in ADHD: a single-blind randomized controlled trial. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 20(9), 481-491. doi: 10.1007/s00787-011-0208-y
- Bledsoe, J.C., Semrud-Clikeman, M. y Pliszka, S.R. (2011). Neuroanatomical and neuropsychological correlates of the cerebellum in children with attention-deficit/hyperactivity disorder-combined type. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 50(6), 593-601. doi: 10.1016/j.jaac.2011.02.014
- Brown, E. T. (2006). *Trastorno por déficit de atención: una mente desenfocada en niños y adultos*. Barcelona: Masson.
- Congdon, E., Altshuler, L.L., Mumford, J.A., Karlsgodt, K.H., Sabb, F.W., Ventura, J., ... Poldrack, R.A. (2014). Neural activation during response inhibition in adult attention-deficit/hyperactivity disorder: Preliminary findings on the effects of medication and symptom severity. *Psychiatry Research Neuroimaging*, 222(1), 17-28. doi: 10.1016/j.pscychresns.2014.02.002
- Cortese, S., Kelly, C., Chabernaud, C., Proal, E., DiMartino, A., Milham, M.P. y Castellanos, F.X. (2012). Toward systems neuroscience of ADHD: a meta-analysis of 55 fMRI studies. *American Journal of Psychiatry*, 169(10), 1038-1055. doi: 10.1176/appi.ajp.2012.11101521
- Cubillo, A., Halari, R., Smith, A., Taylor, E. y Rubia, K. (2012). Are view of fronto-striatal and fronto-cortical brain abnormalities in children and adults with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) and new evidence for dysfunction in adults with ADHD during motivation and attention. *Cortex*, 48(2), 194-215. doi: 10.1016/j.cortex.2011.04.007
- De Bellis, M.D., Keshavan, M.S., Beers, S.R., Hall, J., Frustaci, K., Maselehdam, A., Noll, J. y Boring, A.M. (2001). Sex differences in brain maturation during childhood and adolescence. *Cerebral Cortex*, 11(6), 552-557.
- Farré, A. y Narbona, J. (2013). *EDAH. Escalas para la evaluación del trastorno por déficit de atención con hiperactividad (séptima edición revisada)*. Madrid: TEA.
- Fuchs, T., Birbaumer, N., Lutzenberger, W., Gruzelier, J.H. y Kaiser, J. (2003). Neurofeedback treatment for attention-deficit/hyperactivity disorder in children: a comparison with methylphenidate. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 28(1), 1-12.
- Gevensleben, H., Holl, B., Albrecht, B., Schlamp, D., Kratz, O., Studer, P., Rothenberger, A., Moll, G.H. y Heinrich, H. (2010). Neurofeedback training in children with ADHD: 6-month follow-up of a randomised controlled trial. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 19(9), 715-24. doi: 10.1007/s00787-010-0109-5
- Greenberg, L.M. y Waldman, I.D. (1993). Developmental normative data on the Test of Variables of Attention (T.O.V.A.). *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 34(6), 1019-1030.
- González-Castro, P., Rodríguez, C., López, A., Cueli, M. y Álvarez, L. (2013). Attention Deficit Hyperactivity Disorder, differential diagnosis with blood oxygenation, beta/theta ratio, and attention measures. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 13(2), 101-109.
- Kropotov, D., Grin-Yatsenko, A., Ponomarev, A., Chutko, S., Yakovenko, A., y Nikishina, S. (2007). Changes in EEG Spectrograms, Event-Related Potentials and Event-Related Desynchronization Induced by Relative Beta Training in ADHD Children. *Journal of Neurotherapy: Investigations in Neuromodulation, Neurofeedback and Applied Neuroscience*, 11(2), 3-11.
- Lubar, J. F., Swartwod, M. O., Swartwood, J. N. y O'Donnell, P. (1995). Evaluation of the effectiveness of EEG neurofeedback training for ADHD in a clinical settings as measured by changes in TOVA scores, behavioral ratings, and WISK-R performance. *Biofeedback and Self-Regulation*, 20(1), 83-99.
- Martínez-León, N.C. (2006). Psicopatología del trastorno por déficit atencional e hiperactividad. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 6(2), 379-399.
- Mize, W. (2004). Hemoencephalography-A New Therapy for Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD): Case Report. *Journal of Neurotherapy*, 8(3), 77-97. doi: 10.1300/J184v08n03_06
- Monastra, V.J., Lynn, S., Linden, M., Lubar, J.F., Gruzelier, J. y LaVaque, T. J. (2005). Electroencephalographic biofeedback in the treatment of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Applied Psychophysiology and Biofeedback* 30(2), 95-114.
- Monastra, V.J., Monastra, D.M. y George, S. (2002). The effects of stimulant therapy, EEG biofeedback, and parenting style on the primary symptoms of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 27(4), 231-249.
- MTA Cooperative Group. (1999) A 14-month randomized clinical trial of treatment strategies for attention-deficit/hyperactivity disorder. *Archives of General Psychiatry* 56(12), 1073-1086.
- Narbona, J. y Sánchez-Carpintero, R. (1999). Neurobiología del trastorno de la atención e hipercinesia en el niño. *Revista de Neurología*, 28(2), 160-164.

- Negoro, H., Sawada, M., Iida, T., Tanaka, S. y Kishimoto, T. (2010). Prefrontal dysfunction in attention-deficit/hyperactivity disorder as measured by near infrared spectroscopy. *Child Psychiatry and Human Development*, 41(2), 133-155.
- Orinstein, A. J. y Stevens, M. C. (2014). Brain activity in predominantly-inattentive subtype attention-deficit/hyperactivity disorder during an auditory oddball attention task. *Psychiatry Research Neuroimaging*, 223(2), 121-128. doi: 10.1016/j.pscychresns.2014.05.012
- Othmer, S., Othmer, S. F. y Kaiser, D. A. (2000). EEG Biofeedback: An Emerging Model for its Global Efficacy. En J.R. Evans y A. Abarbanel (Eds.), *Introduction to Quantitative EEG and Neurofeedback* (pp. 244-310). San Diego: Academic Press.
- Overmayer, S., Bullmore, E. T., Suckling, J., Simmons, A., Williams, S. C., Santosh, P. J. y Taylor, E. (2001). Distributed grey and white matter deficit in hyperkinetic disorder: MIR evidence for anatomical abnormality in attentional network. *Psychological Medicine*, 31(8), 1425-1435.
- Rodríguez, C., Fernández-Cueli, M., González-Castro, P., Álvarez, L. y Álvarez-García, D. (2011). Diferencias en la fluidez sanguínea cortical en los subtipos de TDAH. Un estudio piloto. *Aula Abierta*, 39(1), 25-36.
- Rossiter, T. (2004). The effectiveness of neurofeedback and stimulant drugs in treating AD/HD: part II. Replication. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 29(4), 233-43.
- Rubia, K., Halari, R., Cubillo, A., Smith, A. B., Mohamed, A., Brammer, M. y Taylor, E. (2011). Methylphenidate normalizes fronto-striatal underactivation during interference inhibition in medication-naïve boys with attention-deficit hyperactivity disorder. *Neuropsychopharmacology*, 36(8), 1575-1586. doi: 10.1038/npp.2011.30
- Schulenburg, N. P. (1999). Neurofeedback Therapy for ADHD and Related Neurological Disorders. *Journal of Neurotherapy*, 3(2), 10-20.
- Sherrill, R. (2005). Effects of Hemoencephalographic (HEG) Training at Three Prefrontal Locations Upon EEG Ratios at Cz. *Journal of Neurotherapy*, 8(3), 63-76. Doi: 10.1300/J184v08n03_05
- Sowell, E., Rex, D., Kornsand, D., Tessner, K. D., Jeringan, T. L. y Toga, A. W. (2002). Mapping sulcal pattern asymmetry and local cortical surface grey matter distribution in vivo: Maturation in perisylvian cortices. *Cerebral Cortex*, 12(1), 17-26.
- Thompson, L. y Thompson, M. (1998). Neurofeedback combined with training in metacognitive strategies: effectiveness in students with ADD. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 23(4), 243-63.
- Toomim, H., Mize, W. yeekwong, P., Toomim, M., Marsh, H., Kozlowski, G. P., Kimball, M. y Rémond, A. (2005). Intentional increase of cerebral blood oxygenation using Hemoencephalography: An efficient brain exercise therapy. *Journal of Neurotherapy*, 8(3), 5-21.
- Toomin, H. y Jeffrey, C. (2009). Hemoencephalography: Photon-based blood flow neurofeedback. In Budzynski, T., Budzynski, H., Evans, J., Abarbanel, A. (Eds). *Introduction to Quantitative EEG and Neurofeedback: Advanced Theory and Applications, 2nd Edition*. (pp.169-194). New York, NY: Academic Press.
- Tsujimoto, S., yasumura, A., yamashita y., Torii, M., Kaga, M. y Inagaki, M. (2013). Increased prefrontal oxygenation related to distractor-resistant working memory in children with attention-deficity/hyperactivity disorder (ADHD). *Child Psychiatry and Human Development*, 44(5), 678-688. doi: 10.1007/s10578-013-0361-2
- Vernon, D., Frick, A. y Gruzelier, J. (2004). Neurofeedback as a Treatment for ADHD: A Methodological Review with Implications for Future Research. *Journal of Neurotherapy*, 8(2), 53-82. doi: 10.1300/J184v08n02_04
- Wechsler, D. (2005). *Escala de inteligencia Wechsler para niños-IV Edición (WISC-IV)*. Madrid: TEA.
- Yoo, S. S. y Jolesz, F. A. (2002). Functional MRI for neurofeedback: Feasibility study on a hy motor task. *Neuroreport*, 13(11), 1377-1381.

