

Perfil electroencefalográfico de niños con TDAH

Ana Ortiz-Pérez e Inmaculada Moreno-García

Departamento de Personalidad, Evaluación y Tratamiento Psicológicos. Universidad de Sevilla, España

Resumen

En este trabajo se analiza el perfil electroencefalográfico de niños con diagnóstico de TDAH. Han participado 56 menores con edades entre 7 y 14 años ($M=9.08$, $SD=1.88$), 49 niños (87.5%) y 7 niñas (12.57%). Han sido evaluados en Cz o FCz, (según el Sistema Internacional 10-20) y en cuatro condiciones: ojos abiertos, ojos cerrados, leyendo y dibujando. Se han diferenciado dos grupos según el criterio de ratio *theta/beta* y edad, (valor superior a 2.5 entre 7 y 11 años y superior a 2.1 para niños 12 y 14 años). Los resultados indican que el criterio adoptado es eficaz para confirmar el diagnóstico correspondiente al 64.29% de los participantes. Se ha identificado un perfil electroencefalográfico en los niños evaluados, que muestra aumento con respecto al grupo no TDAH, de las ondas *theta*, ($M=16.99$, $SD=3.16$), ($M=14.12$, $SD=3.13$), $F(1,54)=10.67$, $p=.002$, decremento de los ritmos *beta*, ($M=5.66$, $SD=0.81$), ($M=6.71$, $SD=1.22$), $F(1,54)=14.71$, $p=.000$; *beta alta* ($M=5.13$, $SD=0.87$), ($M=5.87$, $SD=0.75$), $F(1,54)=10.48$, $p=.0002$) y *gamma*, ($M=0.85$, $SD=0.17$), ($M=1.04$, $SD=0.23$), $F(1,54)=12.52$, $p=.001$). Esta diferenciación apoya la evaluación electroencefalográfica como instrumento útil para el diagnóstico del TDAH en individuos con edades similares a las estudiadas.

Palabras clave: TDAH, perfil EEG, ratio *theta/beta*.

Abstract

Electroencephalographic profile of children with attention deficit disorder with hyperactivity. In this work, the EEG profile of children diagnosed with ADHD is analyzed. They included children aged between 7 and 14 years ($M=9.08$, $SD=1.88$), 49 children (87.5%) and 7 girls (12.57%). They have been evaluated in Cz or FCz, (according to the International System 10-20) and in four conditions: eyes open, eyes closed, reading and drawing. They have differentiated two groups according to the criterion of ratio *theta/beta* and age (over 2.5 value between 7 and 11 years and above 2.1 for children 12 to 14 years). The results indicate that the approach adopted is effective to confirm the diagnosis corresponding to 64.29% of the participants. EEG has identified a profile in children evaluated, showing increased *theta* waves, with respect to the non-ADHD group ($M=16.99$, $SD=3.16$), ($M=14.12$, $SD=3.13$) ($F(1,54)=10.67$, $p=.002$), decreased *beta* rhythms ($M=5.66$, $SD=0.81$), ($M=6.71$, $SD=1.22$), ($F(1,54)=14.71$, $p=.000$); high *beta* ($M=5.13$, $SD=0.87$), ($M=5.87$, $SD=0.75$), ($F(1,54)=10.48$, $p=0.0002$) and *gamma* ($M=0.85$, $SD=0.17$), ($M=1.04$, $SD=0.23$), ($F(1,54)=12.52$, $p=.001$). This differentiation supports the electroencephalographic evaluation as useful for the diagnosis of ADHD in individuals with ages similar to those studied instrument).

Keywords: ADHD, profile, ratio, *beta* wave.

El Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad (en adelante TDAH) cuenta con amplia trayectoria investigadora por su alta prevalencia en la población general. En el metanálisis efectuado por Willkut (2012) que incluyó 86 estudios realizados con niños, adolescentes y adultos se halló una prevalencia de entre 5.9% y 7.1% en niños y adolescentes y 5% en adultos jóvenes. Además según el DSM-V (APA, 2013) su prevalencia (5.29%) representa entre el 20 y el 40% de las consultas de psiquiatría infanto-juvenil por las consecuencias asociadas en el funcionamiento social, académico y ocupacional de los afectados (Cunill y Castells, 2015).

Habitualmente, la evaluación de este trastorno en edades infantiles se fundamenta en las observaciones e informes de familiares y profesores, contribuyendo con frecuencia a incrementar el diagnóstico e identificar casos falsos positivos (Moreno, Lora y Sánchez 2011).

No obstante, en los últimos años, los avances asociados a los estudios de neuroimagen han contribuido al desarrollo de la evaluación electroencefalográfica en este trastorno, al incrementar significativamente el conocimiento sobre la neurobiología del TDAH, asociándolo a dismorfología, disfunción y baja conectividad de múltiples redes, fronto-estriatal, fronto-parietal y frontocerebelar, lo que refleja distintos dominios cognitivos afectados, entre ellos, inhibición, atención y percepción del tiempo. Por otro lado, existen distintas evidencias que relacionan retraso en la maduración cerebral, en regiones que maduran con la edad, sugiriendo un perfil inmaduro de activación funcional (Rodillo, 2015).

Históricamente, el EEG ha jugado un rol importante en la evaluación del funcionamiento neural en niños con TDAH, implicando exhaustivos análisis por la complejidad y heterogeneidad de las señales

Correspondencia:

Inmaculada Moreno-García.

Dpto. Personalidad, Evaluación y Tratamiento Psicológicos. Facultad de Psicología / Universidad de Sevilla.

C/Camilo José Cela, s/n. C.P. 41018 Sevilla.

E.mail: imgarcia@us.es

EEG de este trastorno (Lenartowicz y Loo, 2014). Dado que el TDAH está relacionado con una disfunción del sistema nervioso central y el electroencefalograma provee de una manera directa una medida del funcionamiento del cerebro, se ha considerado como una herramienta apropiada para evaluar TDAH (Barry, Clarke y Johnstone, 2002). Se trata de una técnica electrofisiológica no invasiva, poco sensible a artefactos causados por el movimiento y que ofrece una excelente resolución temporal (Loo y Barkley, 2005). En tal sentido, en el trabajo de Snyder, Rugino, Horning y Stein (2015), se propuso integrar el biomarcador electroencefalográfico (ratio *theta/beta*) con la evaluación clínica habitual como ayuda para detectar con exactitud los síntomas propios del TDAH. Por ello, Van-Wielink (2005) declaraba que la evaluación mediante el electroencefalograma (EEG) comenzaba a realizarse de manera más común, siendo el EEG cuantitativo, en la actualidad, una herramienta prometedora en el diagnóstico del TDAH, (Kim, Lee, Kim, Lee y Min, 2015).

Monastra *et al.* (1999) y Monastra, Lubar y Linden (2001) evidenciaron la utilidad del EEG cuantitativo (QEEG) para la evaluación del TDAH. Compararon 469 registros de QEEG a partir de la división de *theta* (4-8Hz) entre *beta* (13-21Hz), con mediadas comportamentales y neuropsicológicas. Los resultados mostraron que el 90% de los participantes con TDAH fueron identificados correctamente mediante QEEG, así como el 94% de los sujetos que formaban el grupo control. En otro estudio similar se halló a partir de EEG porcentajes de sensibilidad y especificidad de 87% y 94% respectivamente (Snyder, *et al.*, 2008).

El lugar más común para hacer la evaluación electroencefalográfica según el Sistema Internacional 10-20 (Cantor, 1999) es el punto central del cuero cabelludo, Cz, situando los sensores de referencia y tierra en las orejas (Thompson y Thompson, 2003). El Cz está menos influenciado por los artefactos, alejado de los ojos y boca. No obstante, estos mismos autores señalan que para los niños mayores de 11 años, el electrodo deberá ser colocado en FCz, (punto medio entre Cz y Fz), tal como proponen también Lubar (1995), Lubar, Swartwood, Swartwood y Timmermann (1996), Moreno, Lora y Sánchez (2011).

En estudios de QEEG, en los que se pretende comparar diferencias de actividad eléctrica cerebral en diversas muestras, se valora la "ratio", (cociente de dos magnitudes que están relacionadas). Este criterio, ratio entre potencias de diferentes bandas de frecuencia ha sido empleado para evaluar cambios en el EEG que ocurren por la maduración normal (Matousek y Petersen, 1973) y como una medida de activación cortical (Lubar, 1991). Barry, Clarke, McCarthy, Selikowitz y Rushby, (2005) indicaron que la ratio *theta/beta* era el sustrato de la activación, particularmente en tareas cognitivas y que exigían atención. En consecuencia, un valor elevado de esta variable se asocia a déficit en tareas atencionales y diagnóstico de TDAH. Demos (2005) concluyó que en individuos con TDAH y edades comprendidas entre 7 y 11 años se halló una ratio más alta de 2.5 o incluso, mayor de 3 (Thompson y Thompson, 2003). Además, al disminuir con la edad, los niños a partir de 12 años presentarán una ratio *theta/beta* mayor que 2.1.

Ciertas variables electroencefalográficas han sido consistentemente asociadas con el TDAH (Chabot, di Michele y Pritchep, 2005), observándose un patrón muy peculiar en las ondas cerebrales *beta* y *theta*, principalmente (Moreno y Lora, 2008). El estudio de Chabot y Serfontin (1996), halló que niños diagnosticados con TDAH presentaban mayor potencia de *theta*, ligeras elevaciones de *alpha* en el área frontal y disminución de la frecuencia de *beta*. El aumento en la potencia de *theta*, es el dato más consistente extraído de estudios semejantes, en los que se indicaba que la activación cortical hipoarousal era común en los mecanismos neuropatológicos de este trastorno.

Los resultados acerca de las otras dos bandas parecían contradictorios según investigaciones. Por ejemplo, Demos (2005) se basaba en el estudio de Lubar (1991), en el que evaluó mediante QEEG a 109 voluntarios con este trastorno, concluyendo que el punto de referencia para diagnosticar TDAH era la alteración en la banda *theta* (por la excesiva actividad) y en la banda *beta* (por la falta de actividad), sin mencionar la banda *alpha*.

El registro electroencefalográfico del TDAH varía con la edad. Investigaciones con población normal hallaron disminución de *theta* y aumento de *beta*, a medida que aumenta la edad y un inicial ascenso del *alpha* en la adolescencia, aunque ésta descendía al llegar a la adultez (Bresnahan y Barry, 2002). La ratio *theta/beta* también decrecía al aumentar la edad en esta población (Bresnahan, Anderson y Barry, 1999; Monastra, Lubar y Linden, 2001). Sin embargo, los individuos con TDAH, independientemente de la edad, mostraron mayores niveles de actividad *theta* y ratios *theta/beta* y menor actividad *beta* con respecto el grupo control (Snyder y Hall, 2006).

Distintos trabajos han realizado evaluación electroencefalográfica mientras el sujeto realizaba diversas tareas. Demos (2005), corroboraba los hallazgos de la investigación realizada por Lubar (1991) y demostraba que, durante los retos académicos, aumentaba la actividad lenta de *theta* (4-8 Hz) y disminuía la actividad *beta*. Lubar, *et al.* (1996) examinaron la relación entre TDAH y la ratio *theta/beta* realizando las siguientes tareas: ojos abiertos, ojos cerrados, leyendo en silencio, completando tareas viso motoras y escuchando. Sus hallazgos muestran excesivas ondas lentas en TDAH y corroboraron los lugares Cz y FCz como más significativos para la evaluación de este trastorno. De entre todas las tareas propuestas, Congredo y Lubar, (2003) consideran el registro EEG con ojos cerrados más exacto, debido a la menor interferencia de artefactos por movimientos de ojos. Anteriormente, Monastra *et al.* (1999), también realizaron registro EEG a través de cuatro condiciones: mirar un punto fijo, leer, escuchar y dibujar las figuras del Test de Bender-Gestalt. Sus resultados demostraron que la ratio *theta/beta*, en la tarea de dibujar, era más elevada en comparación con las demás condiciones. Estos resultados también han sido hallados por Lubar (1991).

En este contexto, se enmarca esta investigación, cuyos objetivos son los siguientes: a) Identificar a los niños con sospecha de TDAH de acuerdo con el criterio de ratio *theta/beta* teniendo en cuenta la edad, según lo establecido por Thompson y Thompson (2003). Es decir, ratio *theta/beta* superior a 2.5 para menores entre 7 y 11 años y superior a 2.1 para niños entre 12 y 14 años. b) Determinar el perfil electroencefalográfico de los niños agrupados según el criterio anterior y, posteriormente comparar tal perfil con el grupo de menores que no cumplen el criterio adoptado en esta investigación.

Método

Participantes

Han participado 56 individuos con edades comprendidas entre 7 y 14 años ($M=9.08$; $SD=1.88$), 46 niños (82.15%) y 10 niñas (17.85%) con diagnóstico de TDAH y derivados desde asistencia primaria. Los niños han sido seleccionados de acuerdo con los siguientes criterios de inclusión: a) Cumplir criterios diagnósticos del DSM-V (APA, 2013), b) Edad entre 7 y 14 años, c) No estar bajo tratamiento farmacológico en la fecha de evaluación, d) Contar con el consentimiento de padres o tutores legales. Han quedado excluidos los menores con sintomatología hiperactiva-atencional secundaria a otros trastornos o patologías médicas.

Instrumentos

Este trabajo se ha realizado con el equipo Atlantis II 2x2 Clinical System de BrainMaster, que utiliza un control de impedancia (por debajo de 5 Kohms) y controla automáticamente los artefactos (> 120 microvoltios). Tiene un diseño con dos canales de EEG y comunica en tiempo real la impedancia. El rango de frecuencias considerado es de 1-30Hz, con una tasa de muestreo de 256 mps. La clasificación de los rangos de frecuencias empleada en este estudio se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Tipos y Frecuencias de ritmos cerebrales estudiados.

Ondas	Frecuencias
Delta	1-3 Hz
Theta	4-7 Hz
Alpha	8-12 Hz
Ritmo Sensoriomotor	12-15 Hz
Beta	15-20 Hz
Beta alta	20-30 Hz
Gamma	38-42 Hz
Ratio Theta/Beta	4-7/15-20 Hz

La evaluación electroencefalográfica ha sido realizada con un montaje monopolar, por lo que para cada persona evaluada se ha requerido tres electrodos de oro planos, uno, colocado en el cuero cabelludo, y otros dos, con sistema de pinzas en las orejas. Se han utilizado diferentes gorras de medida con orificios según el Sistema Internacional 10-20, para una colocación exacta de los sensores. Además se han requerido diversos materiales de lápiz y papel (dibujos), textos de lectura adaptada según la edad de los niños, y figuras del Test Bender-Gestalt (Bender, 2009).

Procedimiento

La evaluación electroencefalográfica ha sido realizada en dependencias ajenas a ruido y posibles interferencias externas. Previamente se explicaba a los niños y sus padres el contenido y desarrollo de la sesión, una vez obtenido el consentimiento de los adultos, se iniciaba la evaluación. No obstante, las explicaciones sobre el procedimiento se mantuvieron durante el proceso de evaluación para atenuar la ansiedad experimentada por los menores. Tras conectar el electrodo activo, Cz, en menores de 11 años, y en FCz para mayores de 11 años, así como los sensores de las orejas, se comprobaba la impedancia menor que 2.5 ohmios para obtener lectura precisa de la actividad eléctrica cerebral. La evaluación EEG se efectuó mientras los niños ejecutaban las siguientes tareas durante tres minutos: a) mirar un punto fijo, (imagen con la cara impresa), b) leer, c) escuchar la información que transmite la evaluadora y, d) dibujar las figuras del Test Bender-Gestalt.

Resultados

El análisis estadístico se realizó mediante el programa estadístico SPSS v. 20. Se han efectuado análisis descriptivos del funcionamiento

global de la actividad electroencefalográfica, estimando la media de la actividad eléctrica cerebral de todas las tareas para cada niño/a. De este modo, se pretendía determinar por un lado, entre qué valores de microvoltios se situaba cada onda en los distintos casos estudiados, y por otro, analizar las posibles diferencias en dichos intervalos registrados en los niños con TDAH, con respecto a los participantes sin TDAH, según el criterio ratio *theta/beta* manejado en esta investigación. Para precisar las diferencias entre ambos grupos se ha realizado análisis de la varianza con un factor (ANOVA), considerando el nivel de significación $p < 0,05$.

De acuerdo con el primer objetivo planteado, se agruparon los participantes según la edad, diferenciándose dos grupos: a) niños con edad igual o inferior a 11 años ($n = 49$) y b) niños con edades entre 12 y 14 años ($n = 7$). A continuación, en cada grupo se consideró el criterio propuesto por los autores Thompson y Thompson (2003), es decir, ratio *theta/beta* superior a 2.5 cuando se trataba de menores entre 7 y 11 años y superior a 2.1 en el caso de participantes con edades entre 12 y 14 años.

Los resultados obtenidos indican que $n = 36$ niños (64.29%), presentaban sospecha de TDAH, según la variable estudiada. De éstos, $n = 31$ procedentes del primer grupo de edad, obtuvieron un valor ratio *theta/beta* igual o superior a 2.5 y, $n = 5$, cuentan con más de 11 años, pues superaron el punto de corte correspondiente a una puntuación ratio *theta/beta* de 2.1. Por otro lado, el 35.71% ($n = 20$) niños no cumplieron en criterio manejado, entre ellos, $n = 18$, tenían edad igual o inferior a 11 años y $n = 2$ tenían más de 11 años.

En relación al segundo objetivo, los resultados extraídos tras el Análisis de Varianza (ANOVA) muestran que existen diferencias significativas entre los dos grupos estudiados, en las ondas *theta*, *beta*, *beta alta* y *gamma*. (Tabla 2).

Respecto a los valores de *theta* (relacionada con actividades de creatividad, espontaneidad, distracción), el grupo que superaba el criterio establecido para ser considerado con TDAH, obtuvo puntuaciones más elevadas que el grupo sin sospecha de TDAH ($M = 16.99$, $SD = 3.16$), ($M = 14.12$, $SD = 3.13$). $F(1,54) = 10.67$, $p = .002$. En relación a la banda *beta*, (involucrada en con atención sostenida y el pensamiento), el grupo TDAH, según el criterio manejado, obtuvo una media inferior ($M = 5.66$, $SD = 0.81$) respecto al grupo que no superaba el criterio ($M = 6.71$, $SD = 1.22$), $F(1,54) = 14.71$, $p = .000$. Los valores más frecuentes de estos últimos se situaban entre 5.5 y 7 mv, mientras que en el grupo TDAH, los valores oscilaban entre 4.5 y 6.5, es decir, mostraban menor *beta* que los niños sin TDAH. Las puntuaciones de la banda *beta alta* (relacionada con el movimiento y la ansiedad), reflejaron también diferencias estadísticamente significativas entre los grupos. Los chicos/as con TDAH mostraron un nivel inferior de esta onda ($M = 5.13$, $SD = 0.87$) respecto al grupo sin TDAH ($M = 5.87$, $SD = 0.75$), $F(1,54) = 10.48$, $p = .0002$. Además la distribución de los datos en este último grupo fue más homogénea que en el grupo de niños con TDAH, pues en 15 de los 36 participantes obtuvieron valores que oscilaban entre 5 y 5.5 mv. Respecto a la banda *gamma*, (relacionado con el procesamiento cognitivo y el aprendizaje), se observa que las puntuaciones obtenidas por el grupo que no presenta TDAH resultan inferiores en comparación con los niños con TDAH ($M = 0.85$, $SD = 0.17$) ($M = 1.04$, $SD = 0.23$), $F(1,54) = 12.52$, $p = .001$. Además los valores se distribuyeron en un rango más amplio de 0.78 a 1.54 (Pc 10 y 90 respectivamente), a diferencia del grupo TDAH que se concentró entre 0.64 y 1.05.

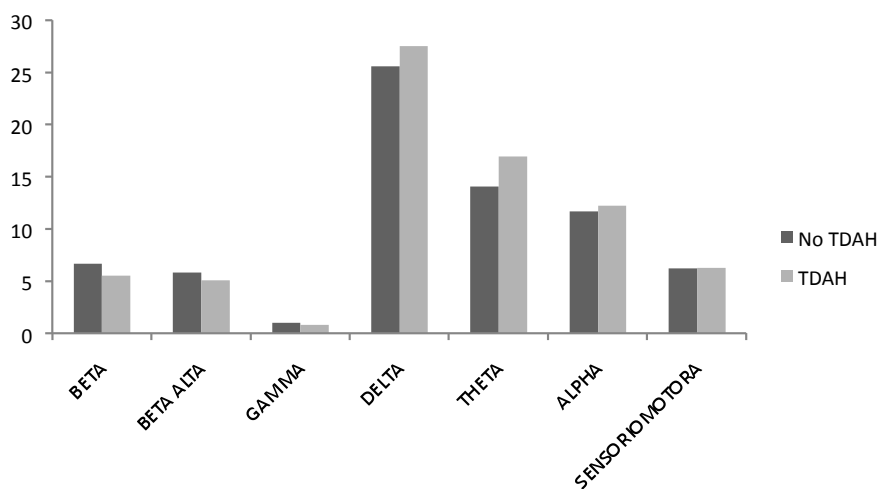
En los tres ritmos *delta* (relacionado con descanso y sueño profundo), *alpha* (involucrada en estados de relajación, atención y lectura) y *sensoriomotor* (resaltada con la alerta mental y la relajación física) no aparecieron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos estudiados (Tabla 2). Con respecto a la banda *delta*, los datos mostraron

Tabla 2. Perfil Electroencefalográfico de los grupos estudiados. Análisis de las diferencias entre grupos diferenciados según criterio ratio *theta/beta* (Thompson y Thompson, 2003).

Variable/Onda	TDAH		No TDAH		F	p
	SD	M	SD	M		
Delta	27.57	5.75	25.63	5.43	1.512	.224
Theta	16.99	3.16	14.12	3.13	10.67	.002**
Alpha	12.26	3.34	11.74	5.05	.213	.646
Ritmo Sensorio-motor	6.31	3.62	6.28	1.35	.001	.981
Beta	5.66	0.81	6.71	1.22	14.71	.000***
Beta alta	5.13	0.87	5.87	.75	10.48	.002**
Gamma	.85	.17	1.04	.23	12.52	.001**

* $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$.

Figura 1. Evaluación EEG. Comparación de los grupos diferenciados, TDAH y no TDAH según criterio ratio *theta/beta* (Thompson y Thompson, 2003).



cierta tendencia a resultar más elevados en el grupo TDAH ($M=27.57$, $SD=5.75$), ($M=25.63$, $SD=5.43$), $F(1,54)=1.512$, $p=.224$. Y prácticamente iguales entre ambos grupos en las bandas *alpha* ($M=12.26$, $SD=3.34$), ($M=11.74$, $SD=5.05$), $F(1,54)=.213$, $p=.646$; y *sensoriomotora* ($M=6.31$, $SD=3.62$), ($M=6.28$, $SD=1.35$), $F(1,54)=.001$, $p=.981$ (Figura 1)

Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación indican que la mayoría de los niños evaluados superaban el criterio considerado relativo a la ratio *theta/beta*. En tal sentido, numerosos estudios resaltan el EEG como buen detector de personas con TDAH, (Mann, *et al.* 1992; Lubar, 1995; Monastra *et al.*, 1999; Monastra, Lubar y Linden,

2001). De acuerdo con estos autores, la integración de la información que aporta la evaluación electroencefalográfica con los resultados de la evaluación clínica habitual, podría mejorar la precisión diagnóstica entre un 61 y 88%, (Snyder, Rugino, Horning y Stein, 2015). Por otro lado, los resultados extraídos no permiten subtipos de TDAH, teniendo en cuenta como indican Delgado-Mejía, Palencia-Avedaño, Mogollón-Rincón y Etchepareborda (2014) que aún no hay constancia de perfiles electroencefalográficos específicos para cada subtipo.

Asimismo, los resultados extraídos coinciden con los hallazgos de Barry, Clarke y Johnstone (2002) al observar aumento de la banda *theta* y decremento de las bandas *alpha*, *sensoriomotora*, *beta* y *beta alta* en los niños con TDAH. También resultan coincidentes con los hallazgos de El-Sayed, Larsson, Persson y Rydelius (2002) quienes confirmaron disminución de *alpha* en los niños TDAH. Esto implica

que en la actividad eléctrica cerebral de chicos con TDAH abundan los ritmos de frecuencias bajas, es decir, el cerebro parece estar menos activado que en chicos de su misma edad.

Dichos datos también concuerdan con los hallazgos de Toomin (2002), quien estableció que las ondas *beta* y *theta* eran las que mejor identificaban los niveles de activación cortical, teniendo en cuenta que los incrementos de *theta* van acompañados de descensos del fluido sanguíneo y del metabolismo de la glucosa, por lo que correlacionarían con áreas cerebrales poco activas. En términos similares se analizaban el descenso de la actividad *beta*. Por tal motivo, se consideraba la ratio *theta/beta* como mejor indicador de la actividad cerebral en comparación con la estimación de cada onda por separado. En consonancia con tal planteamiento y coincidiendo con el trabajo de Toomin (2002), en esta investigación queda de manifiesto la validez de la variable ratio *theta/beta* para diferenciar deficiencias atencionales en los niños con sospecha de TDAH, observándose diferencias significativas en ambas bandas en la dirección que mostraban los resultados del trabajo antes citado.

Por tanto, los individuos diagnosticados con TDAH que presentan altos niveles de ondas *delta* y *theta*, muestran un estado de ensoñación diurna y ensimismamiento, como si se encontraran desconectados con el exterior. Esta lentitud eléctrica que inunda el cerebro TDAH implica que las ondas rápidas como *beta*, *beta alta* y *gamma* muestren una activación inferior. Tal circunstancia conlleva deficiencias atencionales y dificultades en la resolución de problemas así como en la ejecución de actividades cognitivas.

Por otra parte, los hallazgos obtenidos confirman que los pacientes con TDAH muestran un perfil electroencefalográfico específico, contribuyendo, de este modo, a los planteamientos de Jeste, Frohlich y Loo (2015) al indicar que los conocimientos obtenidos por los estudios con EEG pueden contribuir a comprender mejor este trastorno, teniendo en cuenta que el desarrollo de biomarcadores apoyará el diagnóstico preciso del TDAH, así como su intervención. En tal sentido, los hallazgos de la evaluación EEG fundamentan la aplicación del neurofeedback cuyo objetivo principal es regular la actividad eléctrica cerebral de la persona en tratamiento (Zuberer, Branderis y Drechsler, 2015).

Finalmente, resulta de interés indicar ciertas limitaciones de este trabajo, referidas a la distribución de la muestra según la variable género. Teniendo en cuenta que la incidencia del TDAH es mayor entre niños, la selección de los participantes no ha considerado una distribución homogénea según tal variable, circunstancia que ha limitado un análisis preciso. En todo caso, queda pendiente para el futuro nuevos trabajos con muestras más homogéneas respecto a la variable sexo, a fin de analizar diferencialmente la actividad electroencefalográfica en niños y niñas con TDAH. También se plantea como línea de investigación en el futuro nuevos estudios comparativos de la actividad EEG entre niños diagnosticados con este trastorno y población sana. En tal sentido, será conveniente contrastar los resultados ahora obtenidos con un grupo control para verificar el patrón electroencefalográfico específico y confirmar la validación del EEG como procedimiento fiable para detectar personas con sintomatología hiperactiva-atencional.

Artículo recibido: 12/12/2014

Aceptado: 10/03/2015

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Plan Nacional i+d+i (PSI2008-06008-C02-01).

Referencias

- American Psychiatric Association, APA. (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM 5)*. Arlington, VA: APA.
- Barry, R. J., Clarke, A. R. y Johnstone, S. J., (2002). A review of electrophysiology in attention-deficit/hyperactivity disorder: I. Qualitative and quantitative electroencephalography. *Clinical Neurophysiology*, 114, 171–183.
- Barry, R. J., Clarke, A. R., McCarthy, R., Selikowitz, M. y Rushby, J. A. (2005). Arousal and Activation in a Continuous Performance Task: An Exploration of State Effects in Normal Children. *Journal of Psychophysiology*, 19(2), 91-99.
- Bender, L. (2009). *Test Guestráltico Visomotor: usos y aplicaciones clínicas (B.G.) Lauretta Bender; introducción y apéndice por Jaime Bernstein*. Barcelona: Paidós Iberoamérica.
- Bresnahan, S. M., Anderson, J. W. y Barry, R. J. (1999). Age-related changes in quantitative EEG in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological Psychiatry*, 46, 1690–1697.
- Bresnahan, S. M. y Barry, R. J. (2002). Specificity of quantitative EEG analysis in adults with attention deficit hyperactivity disorder. *Psychiatry Research*, 112(2), 133–144.
- Cantor, D. S. (1999). An Overview of Quantitative EEG and its Applications to Neurofeedback. En Evans, J. R. y Abarbanel, A. (Eds.), *Introduction to quantitative EEG and Neurofeedback*, 3-27. Editorial: Elsevier Inc. Internet.
- Chabot, R. A. y Serfontein, G. (1996). Quantitative electroencephalographic profiles of children with attention deficit disorder. *Biological Psychiatry*, 40, 951-963.
- Chabot, R.J., di Michele, F. y Prichep, L., (2005). The role of quantitative electroencephalography in child and adolescent psychiatric disorders. *Child and Adolescent Psychiatric Clinics of North America*, 14, 21–53.
- Congredo, M. y Lubar, J. F. (2003). Parametric and non-parametric analysis of QEEG: Normative database comparisons in electroencephalography, a simulation study on accuracy. *Journal of Neurotherapy*, 7(3-4), 1-29.
- Cunill, R. y Castells, X. (2015). Trastorno por déficit de atención con hiperactividad. *Medicina Clínica*, 144(8), 370-375.
- Delgado-Mejías, I.D., Palencia, Avendaño, M.L., Mogollón-Rincón, C. y Etchepareborda, M.C. (2014). Cociente *theta/beta* (NEBA) en el diagnóstico del trastorno por déficit de atención/hiperactividad. *Revista de Neurología*, 58 (Suppl.1), S57-S63.
- Demos J. N. (2005). *Getting Started with Neurofeedback*. Nueva York - Londres: W. W. Norton y Company
- Jeste, S.S., Frohlich, J. y Loo, S. K. (2015). Electrophysiological biomarkers of diagnosis and outcome in neurodevelopment disorders. *Current Opinion in Neurology*, 28(2), 110-116.
- Kim, J. W., Lee, J., Kim, H. J., Lee, Y. S. y Min, K. J. (2015). Relationship between *theta*-phase *gamma*-amplitude coupling and attention deficit/hyperactivity behavior in children. *Neuroscience Letters*, 590, 12-17.
- Lenartowicz, A. y Loo, S. K. (2014). Use of EEG to Diagnose ADHD. *Current Psychiatry Reports*, 16(11), 1-11.
- Loo, S. K. y Barkley, R. A., (2005). Clinical Utility of EEG in Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *Applied Neuropsychology*, 12(2), 64-76.
- Lubar, J. F. (1991). Discourse on the development of EEG diagnostics and biofeedback for attention-deficit/hyperactivity disorders. *Biofeedback and Self-Regulation*, 16, 201–225.
- Lubar, J. F. (1995). Neurofeedback for the management of attention deficit hyperactivity disorders. En M. S. Schwartz (Ed.), *Biofeedback: A practitioners guide* (pp. 493-522). New York: Guilford Press.

- Lubar, J. R., Swartwood, M. O., Swartwood, J. N. y Timmermann, D. L. (1996). Quantitative EEG and auditory event-related potentials in the evaluation of attention-deficit/hyperactivity disorder: Effects of methylphenidate and implications for neurofeedback training. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 1, 143-160.
- Mann, C., Lubar, J., Zimmerman, A., Miller, C. y Muenchen, R. (1992). Quantitative analysis of EEG in boys with attention deficit-hyperactivity disorder: Controlled study with clinical implications. *Pediatric Neurology*, 8, 30-36.
- Matousek, M. y Petersen, I. (1973). Frequency analysis of the EEG in normal children and normal adolescents. En P. Kellaway e I. Petersen (Eds.), *Automation of clinical electroencephalography*. New York: Raven Press (pp. 75-102).
- Monastra, V. J., Lubar, J. F. y Linden, M. (2001). The Development of a Quantitative Electroencephalographic Scanning Process for Attention Deficit-Hyperactivity Disorder: Reliability and Validity Studies. *Neuropsychology*, 15(1), 136-144.
- Monastra, V. J., Lubar, J. F., Linden, M., VanDeusen, P., Green, G., Wing, W.,... Fenger, T. N. (1999). Assessing attention deficit hyperactivity disorder via quantitative electroencephalography: An initial validation study. *Neuropsychology*, 13(3), 424-443.
- Moreno, G. I. y Lora, J. A. (2008). Investigación actual sobre el trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad. En I. Moreno (coord.): *Hiperactividad infantil. Guía de actuación* (pp. 167-185). Madrid: Pirámide.
- Moreno, G. I., Lora, M. J. A. y Sánchez, B. J. (2011). Validez de la evaluación electroencefalográfica en la identificación del Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad. *Apuntes de Psicología*, 29(2), 227-242.
- Rodillo, E. B. (2015). Trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) en adolescentes. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 26(1), 52-59.
- Snyder, S. M., Quintana, H., Sexson, S. B., Knott, P., Haque, A. F. M. y Reynolds, D. A. (2008). Blinded, multi-center validation of EEG and rating scales in identifying ADHD within a clinical sample. *Psychiatry Research*, 159, 346-358.
- Snyder, S. M. y Hall, J. R. (2006). A Meta-analysis of Quantitative EEG Power Associated with Attention-Deficit Hyperactivity Disorder. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 23(5), 441-456.
- Snyder, S. M., Rugino, T. A., Horning, M. y Stein, M. A. (2015). Integration of an EEG biomarker with a clinician's ADHD evaluation. *Brain and Behavior*, 5(4), 1-17.
- Thompson, M. y Thompson, L. (2003). *The Neurofeedback Book. An Introduction to Basic Concepts in Applied Psychophysiology*. Wheat Ridge, Colorado USA: The Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback
- Toomin, H. (2002). Neurofeedback with hemoencephalography. *Explore for the Professional*, 11, 19-21.
- Van-Wielink, G. (2005). *Déficit de Atención con Hiperactividad. Estrategias, habilidades, diagnóstico y tratamiento*. Alcalá de Guadaíra (Sevilla): Trillas
- Willcutt E. (2012). The Prevalence of DSM IV Attention- Deficit/Hyperactivity Disorder: A meta-analytic review. *Neurotherapeutics*, 9, 490-499.
- Zuberer, A., Branderis, D. y Drechsler, R. (2015). Are treatment effects of neurofeedback training in children with ADHD related to the successful regulation of brain activity? A review on the learning of regulation of brain activity and a contribution to the discussion on specificity. *Frontiers in Human Neuroscience*. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4376076/>