

Marcadores bioeléctricos del TDAH: potenciación del análisis directo del EEG

Ramón Martín-Brufau¹, Manuel Nombela Gómez²

¹ Métodos de Investigación y Diagnóstico en Educación. Universidad de Murcia, Murcia.

² Servicio de Apoyo a la Investigación. Universidad de Murcia, Murcia.

España

Correspondencia: Ramón Martín-Brufau Dpto. MIDE. Facultad de Educación. Campus de Espinardo. Murcia. España. E-mail: r.martinbrufau@um.es

© Education & Psychology I+D+i and *Ilustre Colegio Oficial de la Psicología de Andalucía Oriental* (Spain)

Resumen

Introducción. Hasta el momento se habían propuesto métodos de diagnóstico del TDAH fundamentados en la descomposición EEG por el método FFT y el hallazgo de la relación entre distintas bandas de frecuencia, siendo la más aclaratoria la tasa TBR en las regiones prefrontales. Este procedimiento exige un aparataje complejo por lo que se evaluaron las ventajas de un método sencillo basado en la inspección visual del trazado EEG presentado de forma *ad hoc*.

Método. Mediante el cálculo de las curvas ROC, se comparó la precisión de tres métodos diagnósticos de TDAH, frente a trazados de individuos normales, basados en EEG: a) el método TBR tras descomposición FFT; b) el índice delta+theta/alpha obtenido por descomposición visual por el método de Verley; c) los análisis directos del EEG con montajes específicos realizado por individuos no entrenados en interpretación EEG.

Resultado. Los individuos con TDAH fueron diagnosticados correctamente mediante los procedimientos automáticos estudiados (capacidad discriminatoria del 92,9% según método TBR y 91,7% según método visual de Verley). Además, un 55,5% de los individuos no entrenados consiguieron distinguir los casos TDAH y los normales con una precisión diagnóstica similar a los métodos automáticos (índice de discriminación del 86,8%).

Conclusión: El TDAH tiene un patrón de EEG propio que puede ser fácilmente reconocible mediante los montajes EEG propuestos. Dichos montajes permiten resaltar las riquezas Theta/Beta de las regiones seleccionadas con un coste bajo y una precisión diagnóstica adecuada, incluso para sujetos sin entrenamiento previo en la interpretación del trazado EEG. Este hecho apoya el uso del EEG en la detección temprana del TDAH.

Palabras Clave: TDAH, EEG, Diagnóstico, Educación

Recibido: 15.02.16

Aceptación Inicial: 21.10.16

Aceptación final: 07.02.17

Abstract

Introduction. So far some methods to help diagnosis of ADHD grounded in EEG decomposition by the FFT method and the discovery of the relationship between different frequency bands, the most clarifying the TBR rate in the prefrontal regions, have been proposed. This procedure requires a complex gadgetry so we evaluate the advantages of a simple model based on the visual inspection of the EEG tracing presented in an ad hoc method.

Method. In order to compare the accuracy of three diagnostic methods of detection of ADHD against normal individuals based on EEG, the ROC curves were calculated. Three methods were compared: a) the Theta/Beta Ratio (TBR) method after decomposition with the Fast Fourier Transformation (FFT), b) the Delta + Theta / Alpha index obtained by visual position decomposition-Verley method and c) the direct analysis of EEG specific montages performed by untrained individuals in EEG interpretation.

Result. Individuals with ADHD were diagnosed correctly using automatic procedures studied (92.9% of discriminatory capacity by TBR method and 91.7% by the Verley visual method). In addition, 55.5% of not trained individuals were able to discriminate the ADHD from normal cases with a diagnostic accuracy similar to the automated methods (discrimination index 86.8%).

Conclusion. ADHD has a specific EEG pattern that can be easily recognized by the proposed EEG montages. These preparations allow to highlight the richness of Theta and Beta frequencies in the selected regions with a low cost and an adequate diagnostic accuracy, even for subjects without prior training in interpreting the EEG tracing. This fact supports the use of the EEG as a complementary measure in the early diagnostic of ADHD.

Key words: ADHD, EEG, Diagnostic, Education.

Reception: 16.02.15

Initial acceptance: 16.10.21

Final acceptance: 17.02.07

Introducción

El TDAH es un síndrome originado, según las pruebas disponibles, por defecto de maduración de la corteza basal del lóbulo frontal (Sarnthein, Morel, Von Stein, y Jeanmonod, 2005; Saunders y Westmoreland, 1979). Tiene una prevalencia del 5-7% en la infancia (Willcutt, 2012) y produce alteraciones del comportamiento y aprendizaje que interfieren con la vida normal de los individuos que lo padecen. Los profesores tienen dificultades para el manejo de los alumnos con TDAH, ya que su dificultad para inhibir la propia conducta y mantener la atención en un estímulo externo, exigencia que predomina en las tareas en las aulas, obliga al alumno a un enorme esfuerzo de adaptación, que no siempre es exitoso. Este problema también suele ocurrir en casa y dificulta el proceso normal de socialización y adopción de normas sociales. En definitiva tanto las exigencias académicas como interpersonales pueden verse alteradas. Algo a lo que los maestros y padres no son ajenos. Por lo que un diagnóstico rápido y barato, facilitaría el tratamiento desde los momentos iniciales del proceso. Se sabe que si se les medica desde un momento cercano al comienzo del síndrome, disminuye en un 60-70 % la probabilidad de caer en el alcohol o las drogas y conductas antisociales (Sweeney, 2009). En el caso de los TDAH adultos, la falta de atención, su fatigabilidad y falta de constancia, les hace difícil aprender bien ningún trabajo y les obliga a estar continuamente cambiando del mismo, lo que dificulta, además de problemas académicos, su socialización y su arraigo. Es frecuente su comportamiento antisocial y su paso a formas psiquiátricas más graves, sobre todo, en relación con el consumo de drogas.

Una dificultad añadida a la correcta identificación de los pacientes de TDAH, estriba en la falta de fiabilidad y validez de los instrumentos de valoración que normalmente se usan para la orientación escolar y el diagnóstico clínico. Además, no son métodos enteramente objetivos y que sean específicos para la detección de la patología orgánica del sistema nervioso central. Estas son dificultades con las que se encuentra el centro educativo y los padres y la sociedad en general. Hasta el momento el diagnóstico era clínico y la *Food and Drug Administration* (FDA) y Asociación Norteamericana de Neurología recomendaba que fuera realizado por un equipo multidisciplinar, compuesto por Neuropediatra, Psicólogo y Psiquiatra infantil, dado que puede ser originado por múltiples causas y solaparse con sintomatologías semejantes originadas por otras patologías, lo que hacía el proceso caro en tiempo y dinero. En esta búsqueda, algunos estudiosos del problema han propuesto utilizar el electroencefalograma (EEG) para el diagnóstico del TDAH ya que reúne ciertas características para hacerlo

un medidor fiable de la actividad cerebral, dada su relación con el funcionamiento cortical y las oscilaciones del campo eléctrico creado por las poblaciones sinápticas (Epstein, Bej, y Foldvary-Schaefer, 2006; Moore y Puri, 2012; Snyder, Rugino, Hornig, y Stein, 2015).

Recientemente, se han propuesto *marcadores bioeléctricos* extraídos de forma automática del EEG para identificar y distinguir aquellos casos de TDAH de otros trastornos de sintomatología similar o solapada, los cuales presentan una alta capacidad discriminativa. Con el simple análisis de los contenidos del espectro de potencia de las bandas de frecuencia, medidos con FFT en todos los electrodos de registro simultáneo, Magee y cols (Magee, Clarke, Barry, McCarthy, y Selikowitz, 2005), mediante el uso de procedimientos estadísticos complejos (clúster y análisis de regresión), obtuvieron una sensibilidad diagnóstica del 89%, con una especificidad del 79.6%. Poil, con un procedimiento del mismo tipo, consiguió, en adultos, una capacidad diagnóstica del 67 %, con una fiabilidad del 83% (Poil et al., 2014). Otros autores han propuesto el cociente Theta/Beta, Theta Beta Ratio (TBR), de las regiones frontopolares y de la línea media frontal, que aumenta en los casos de TDAH y es bastante menor de uno en los casos normales, como señalan Rudo-Hutt (Rudo-Hutt, 2015) y Snyder (Snyder et al., 2015), por lo que hoy se considera este cociente como un biomarcador para el diagnóstico rápido del síndrome en los niños que presentan sintomatología compatible. Con los datos del TBR y de la coherencia se elaboran algoritmos que alcanzan un grado de resolución del 76% en la separación de EEG normales y EEG de pacientes TDAH y del 81% si añadimos la edad, según Helgadóttir y colaboradores (Helgadóttir et al., 2015).

Objetivos e hipótesis

Sin embargo, estos procedimientos, a diferencia del análisis visual directo del EEG, exigen un equipamiento altamente sofisticado del que habitualmente no se dispone en los servicios normales de neurofisiología clínica. Según nuestras observaciones, una adecuada forma de presentación de los trazados EEG permite la identificación rápida y sencilla, si se utilizan montajes bipolares seleccionados con no más de 5-10 canales por época. El objetivo de este trabajo es comparar este sistema rápido con los sistemas basados en EEG automáticos.

Método

Participantes

Este estudio cuenta con dos muestras de sujetos. La primera muestra de sujetos conforma el material objeto de estudio, constituido por 50 trazados EEG de individuos entre los 6 y los 15 años, igualados en sexo, 30 con sintomatología típica TDAH y 20 sin sintomatología TDAH normales, recogidos entre 2005 y 2010 en el Servicio de Neurofisiología del Hospital general Universitario Santa M^a del Rosell de Cartagena (Spain). En la muestra no se especifica el subtipo del síndrome (inatento vs hiperactivo). Primero, porque se trata de un estudio retrospectivo y muchos de los casos no tenían la diferenciación en el diagnóstico. Segundo, porque la intención del estudio era cribar los posibles casos de TDAH de aquellos que no lo son de una forma rápida y solo entonces hacer estudios posteriores que permitieran filiar mejor los subtipos ya que, según nuestro conocimiento, por el momento no se ha utilizado el EEG para tal diferenciación.

La segunda muestra, fue formada para comparar el tercer método de diagnóstico, que se detalla más adelante. Para este método hacían falta sujetos sin ningún conocimiento previo en la interpretación o diagnóstico electroencefalográfico ni experiencia en la clínica con TDAH. Un total de 21 alumnos de primero de grado de logopedia se presetaron voluntariamente a la prueba. Los datos demográficos de esa segunda muestra se encuentran en la tabla 1.

Tabla 1. *Características descriptivas de los sujetos de la muestra de probandos*

	Media (rango) / frecuencia (%)
<i>N</i>	21
<i>Edad</i>	34,3 años (25-71)
<i>Sexo</i>	
Hombres	14 (66,7%)
Mujeres	7 (33,3%)
<i>Profesión</i>	
Trabajos técnicos no cualificados	5 (23,8%)
Ingenierías	3 (14,7%)
Educación/docencia	2 (9,5%)
Economía/Empresa	7 (33,0%)
Administración/oficina	4 (19,0%)

Instrumentos

Los trazados de EEG tienen una duración de 20 segundos, pasabanda de 1-32 Hz y las utilizadas para descomposición en serie eran de 1-40 Hz, con slope inferior a 40 Hz y con una frecuencia de muestreo de 250 Hz. Ninguno de estos casos presentaba grafoelementos expresivos de potencialidad epileptógena. Estos trazados fueron obtenidos en reposo, con ojos cerrados y libres de artefactos y analizados por los autores utilizando dos métodos de descomposición de frecuencias y por un conjunto de sujetos sin experiencia en la lectura del EEG mediante el reconocimiento visual directo de los mismos trazados con montajes ad hoc.

Procedimiento

Los tres métodos se detallan a continuación:

a) *Descomposición en serie de Fourier* de cada una de las bandas clásicas de frecuencia EEG (delta, theta, alfa y beta) en cada uno de los casos analizados y cálculo la tasa entre ritmo theta y beta (TBR).

b) *Descomposición visual de la riqueza de frecuencias de los trazados* mediante el método visual propuesto por Verley (Verley, 1967) y el cálculo del cociente Delta+Theta/Alpha en las derivaciones frontales de los mismos.

c) Con el fin de evaluar la capacidad expresiva de los trazados EEG bipolares, propuesto por los autores, pedimos a una muestra de sujetos sin ninguna experiencia previa en la interpretación de trazado EEG que visualizaran, en el ordenador, 10 segundos de trazado de 10 individuos con sintomatología TDAH y 10 trazados de sujetos normales. Se presentaron aleatoriamente, mediante un montaje bipolar de ocho canales, que mostraba las regiones anteriores y posteriores del cuero cabelludo del sujeto de estudio (en las imágenes 1 y 2 se presentan los montajes en un individuo con TDAH y otro normal). A estos probandos se les preguntó a qué se dedicaban y si tenían experiencia previa en la lectura del EEG. Cinco sujetos fueron descartados debido a que las respuestas eran incompletas y esto impedía calcular la tasa de acierto. Ninguno de ellos tenía experiencia en EEG según se desprende de sus respectivas ocupaciones.

Las repuestas se computaron automáticamente mediante una aplicación informatizada de un formulario web en donde se presentaban las imágenes de los trazados y se les pedía que seleccionasen si se trataba de un caso normal o TDAH. Los sujetos visualizaron previamente dos ejemplos de trazados normales y dos ejemplos de trazados con TDAH, en imágenes simi-

lares a las que aparecen en las figuras 1 y 2. Posteriormente y tras aceptar su consentimiento expreso, comenzó la presentación. Además, exclusivamente durante los primeros cinco trazados, los sujetos recibieron la opción correcta tras su selección con el fin de ofrecer feedback sobre su respuesta. Cuando los sujetos terminaron de identificar los trazados se les informó, a través de la aplicación, de la finalización de la prueba. Además, se incluyó al final de la prueba una escala de 1 a 10 para que el probando indicara la dificultad subjetiva de la tarea. Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética del Hospital.

Análisis estadístico

Para comparación de medias entre los porcentajes de las distintas bandas de frecuencia obtenidas con los dos primeros procedimientos (automático y visual, Verley) y los índices TBR y Delta+Theta/Alfa para EEG para sujetos TDAH y normales, se utilizaron métodos de análisis no paramétricos utilizando la prueba Kruskal-Wallis para muestras independientes, considerando significativa la $p < .05$. Para el cálculo de la precisión diagnóstica se obtuvieron las curvas ROC para sensibilidad y especificidad de cada uno de los métodos. Se extrajeron los tipos de respuesta y se calculó la Sensibilidad/Susceptibilidad $S = VP / (VP + FN)$ y la Especificidad $E = VN / (FP + VN)$ (Pepe, 2003). Para ello se utilizó el recuento de los valores presentes en la Tabla 2. La capacidad discriminativa, siguiendo el análisis de curva ROC de cada procedimiento, se calculó mediante la fórmula: Sensibilidad – (1-Especificidad) (ver revisión de Pepe, 2003). Para estos análisis se utilizó SPSS v.21.

Tabla 2. Tipos de respuesta posible a la hora de discriminar un caso de TDAH y un no caso.

Respuesta	TDAH	Normal
Es TDAH (Afirmativa)	Verdadero Positivo (VP)	Falso Positivo (FP)
No es TDAH (Negativa)	Falso Negativo (FN)	Verdadero Negativo (VN)

Resultados

Los sujetos con TDAH presentaron un mayor cociente Theta/Beta que los casos normales (Tabla 3). Las diferencias de la riqueza theta en las regiones fronto-prefrontales de los casos de TDAH y los casos normales presentó una diferencia del tamaño del efecto (d de Cohen) de $d = 2.00$. Lo cual indica un tamaño del efecto elevado en la riqueza theta en los casos de TDAH. Al comparar el índice TBR, el tamaño del efecto fue de magnitud alta (d de

Cohen=1.69) para el TBR en los TDAH (según los criterios de interpretación de Cohen (1969) un valor d de Cohen mayor de 0,8 es de magnitud alta).

Tabla 3. Descriptivos y diferencias de medias mediante la prueba K-W entre la riqueza de bandas de frecuencia obtenidas mediante descomposición en serie FFT y el cociente Theta/Beta para los sujetos con TDAH y los Normales

	TDAH X (d.t.)	Normal X (d.t.)	K-W	p
Delta	16,81 (3,25)	10,48 (1,76)	12,063	.001***
Theta	34,31 (5,98)	25,13 (2,45)	8,836	.003**
Alpha	23,51 (2,8)	27,98 (5,26)	2,727	.099
Beta	29,39 (3,59)	40,82 (5,73)	10,925	.001***
Theta/Beta	1,16 (0,26)	0,61 (0,38)	10,363	.001***

** $p < .01$; *** $p < .001$

Utilizando el TBR como indicador diagnóstico y utilizando como punto de corte el valor = 1, se obtuvieron dos grupos <1 para los normales y >1 para los TDAH. El coeficiente de discriminación resultó ser muy efectivo, separando los casos de TDAH de los Normales con un porcentaje de acierto del 92,9% (Coeficiente de discriminación =.929; $p < .003$).

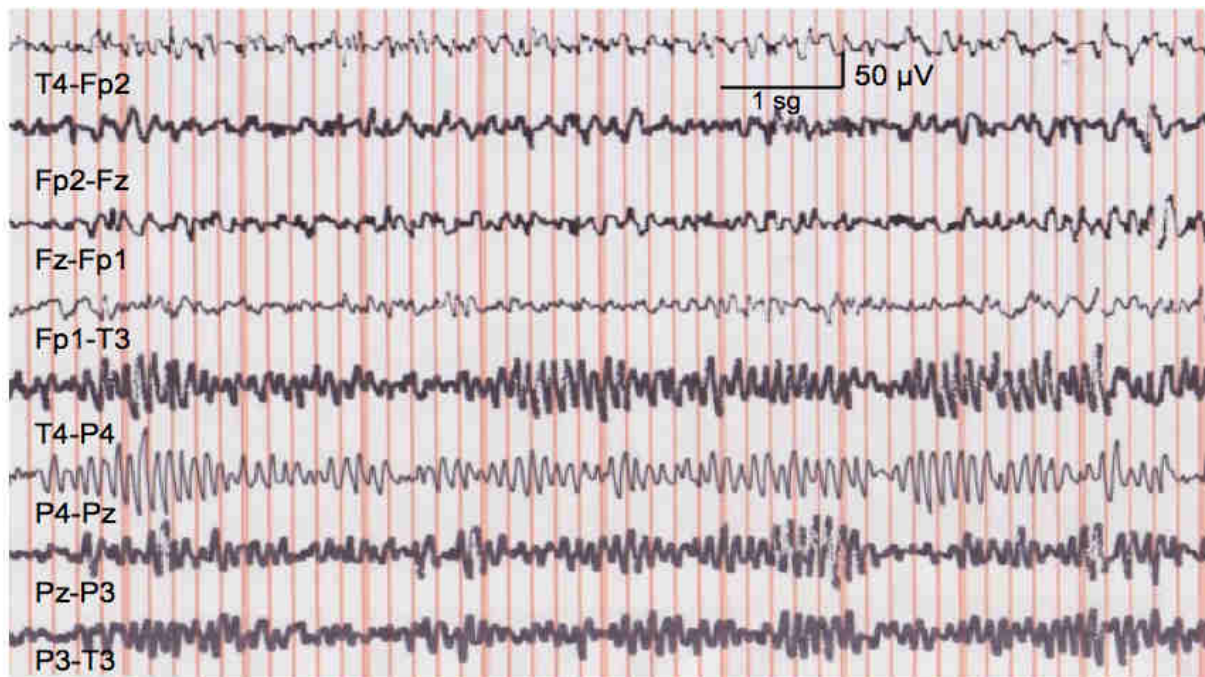


Figura 1. Trazado EEG de una paciente de TDAH de 9 años.

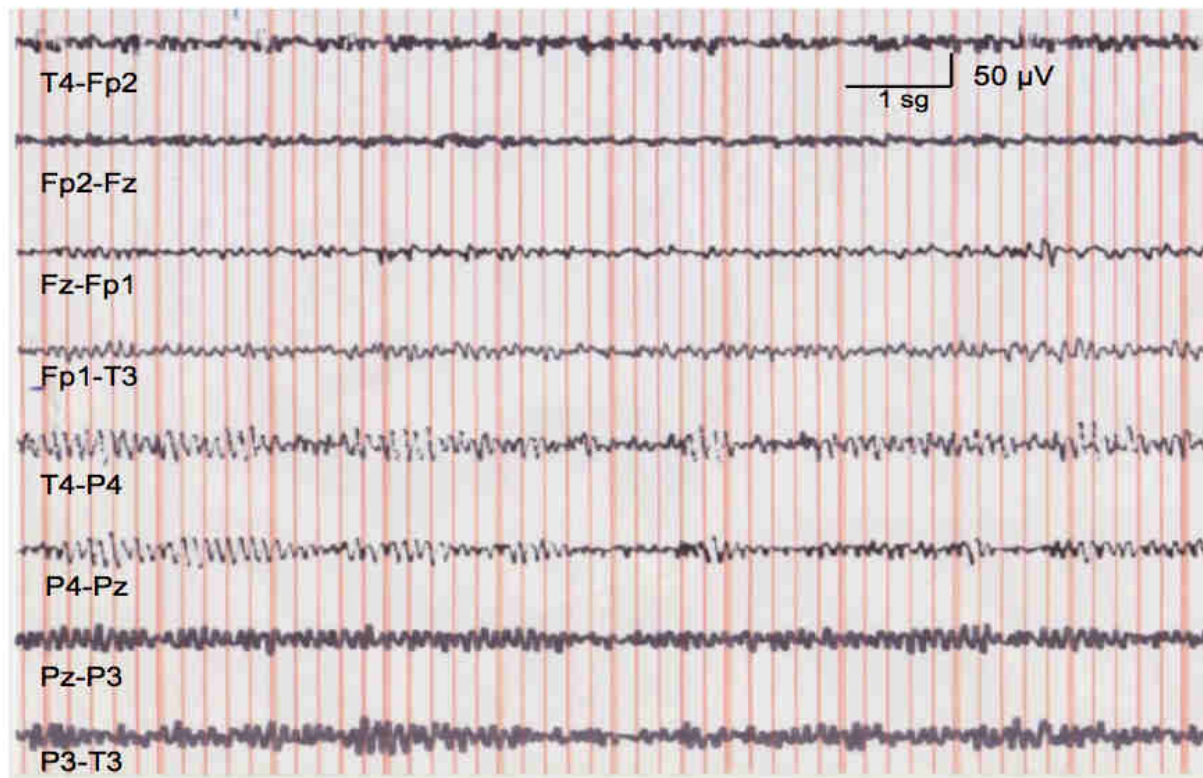


Figura 2. Trazado EEG de un varón Normal de 7 años.

En los trazados analizados por el procedimiento visual, según la técnica temporal de Verley, obtenemos los porcentajes de riqueza de las distintas bandas de frecuencia en las derivaciones fronto-polares (Tabla 4). El ritmo beta aparece tan escaso porque resultan muy difícil de identificar los tiempos en los que este es dominante, ya que generalmente aparece superpuesto a otras actividades más lentas que son las dominantes a simple vista. Al igual que en el procedimiento de discriminación TBR basado en FFT, mediante el análisis visual de Verley se observó que la riqueza de ondas lentas (delta+theta) en las regiones fronto-centrales fue muy superior en los casos de TDAH (d de Cohen=2.05). El cálculo mediante curva ROC de la riqueza de ritmo Alpha y Delta+Theta a través del cociente para la identificación de los casos de TDAH vs. Normales, arrojó una capacidad discriminatoria significativamente diferente al azar del 91,7% (Coeficiente de discriminación = 0.917; $p = .016$).

Tabla 4. *Descriptivos y diferencias de medias entre la riqueza de bandas de frecuencia. y el cociente Delta+Theta/Alfa para los sujetos con TDAH y los Normales obtenido por el método visual de Verley*

	TDAH X (d.t.)	Normal X (d.t.)	U M-W	p
Delta+Theta	56,8 (16,88)	26,58 (14,31)	2,402	.015*
Alpha	7 (4)	63,33 (15,12)	-2,934	.002**
Beta	14,2 (13,06)	10,08 (3,8)	0,242	ns
Delta+Theta/Alpha	8,11 (0,21)	0,42 (3,31)	-2,882	.002**

* $p < .05$; ** $p < .01$

Respecto a la capacidad discriminativa de la prueba visual global para los probandos sin experiencia previa encontramos resultados distintos en función de la dificultad percibida. El 55.5% de los probandos que manifestaron un nivel de dificultad baja a la hora de discriminar entre los casos/controles resultaron tener una precisión del 86,6% (Coeficiente de discriminación=0.868, $p=.01$). Mientras que el resto alcanzó un índice de discriminación de 0.726 que no resultó significativo ($p > .05$). En la Figura 4 se muestran las comparaciones de los índices de discriminación para los tres métodos. Se puede observar que la sensibilidad o susceptibilidad de detección de un caso de TDAH es mayor en la prueba visual global directa del trazado que con el procedimiento de cálculo automatizado del coeficiente Theta/Beta. Los procedimientos de análisis de bandas de frecuencia (tanto el FFT, como el visual) resultaron tener un perfil de discriminación más específico, mientras que el diagnóstico visual global de los sujetos sin experiencia fue más sensible a los casos de TDAH. En resumen, encontramos que los procedimientos visuales directos son susceptibles de permitir detectar los casos TDAH con clínica típica, incluso por un grupo de sujetos sin entrenamiento previo.

Discusión y conclusiones

En las aulas, maestros y orientados se encuentran con frecuencia a niños de los que sospechan alguna alteración psicoeducativa más allá de las dificultades normales. Diferenciar los casos que podrían mejorar con una intervención educativa de aquellos que precisan tratamiento complementario (psicológico, médico, etc...), supone una sobreexigencia para el educador, orientado a la enseñanza. Además, en el caso del TDAH, las dificultades diagnósticas,

tan patentes en la literatura, obligan a un cribado preciso y diferencial con otras alteraciones más manejables en el entorno educativo. Nuestros resultados ofrecen un método de cribado rápido, basado en EEG, prometedor que facilita la derivación a equipos multidisciplinares y que puede acortar el tiempo desde la detección del problema educativo hasta el tratamiento.

Tal como señalan Moore y Puri en su libro *Textbook Of Clinical Neuropsychiatry And Behavioral Neurosciences* (Moore y Puri, 2012), la interpretación de un EEG dista mucho de ser intuitiva. Mientras que un cierto conocimiento de la Neuroanatomía permite entender un MRI o CT scan con facilidad, la comprensión del EEG, lo mismo que la del EKG, exige un cierto grado de preparación, dado que, además, como señala Epstein, para que muestre los datos más útiles se precisa correcta realización y correcta presentación (C. Epstein et al., 2006). Estos hechos, más la comprobación de que con ciertas características de preparación visual era más fáciles para nosotros el reconocimiento de las anormalidades del ritmo que con otras, dependiendo de la región en la que aparecieran, y ello nos han hecho admitir la posible utilidad de nuestros montajes bipolares, con pocas derivaciones por montaje, para facilitar el reconocimiento visual global EEG en los casos de probable síndrome TDAH, de forma fácil y barata, ya que no precisa de más aparataje que el simple electroencefalógrafo. Esta idea viene apoyada por Snyder y su equipo, quienes concluyen en un trabajo publicado en *Braain and Behavior*, que, según sus hallazgos, el EEG puede ayudar de forma fácil y rápida en el diagnóstico del síndrome TDAH (Snyder et al., 2015).

El hecho de que lo hayan podido identificar un número tan importante de personas sin conocimiento previo de electroencefalografía y ni siquiera conocimientos médicos, con solo una discreta información sobre lo que se solicitaba y a través de Internet, muestra que los montajes presentados son claros y los casos de TDAH diferenciables de los normales. Pero, además, deja claro que el simple conocimiento de la manifestación bioeléctrica del síndrome es suficiente para poder sospechar su presencia en un sujeto, ya adolescente, ya adulto, dado que tiene una contextura concreta que se manifiesta por el exceso de actividad theta en regiones fronto-polares, sobre todo sagitales, y por defecto de ritmos rápidos en las mismas. Snyder y col. (Snyder et al., 2015) encuentran un aumento medio del 32% del ritmo theta frontal de los sujetos con TDAH frente a la actividad de los sujetos normales, y coincidiendo con nuestros datos, estos autores encuentran unas diferencias de magnitud alta (d de Cohen=1.53). En un estudio previo de revisión en el que se analiza un total de 1498 casos de TDAH, se encontró igualmente un aumento de los ritmos theta (d de Cohen entre 1.14-1.48) en los sujetos

TDAH comparados con los normales (Snyder Y Hall, 2006a). En nuestro caso encontramos diferencias de magnitud similar (d de Cohen=2.00) para el método TBR y para el método de descomposición visual del trazado EEG usando el índice Delta+Theta/Alpha (d de Cohen=2.05). Puede observarse que todos los resultados apuntan en la misma dirección.

Dado que, generalmente, la riqueza de actividad beta frontal suele ser más alta que la riqueza de actividad theta, en condiciones normales, el cociente TBR suele ser menor que uno, mientras que en el síndrome TDAH siempre es mayor que uno y cuanto más alto más significativo, por lo que se le considera un auténtico biomarcador. Los casos de clínica semejante, con cociente TBR superior a la media normal ($TBR < 0,7$) pero bajos con relación a los casos más significativos (límite de admisión como TDAH = 0.98) (media normal + 1.5 SD normal) (Monastra, Lubar, Y Linden, 2001), suelen tener una sintomatología clínica añadida a la típica del TDAH, que se explica mejor por otras patologías psiquiátricas o neurológicas (criterio E del DSM)(Daley, 2004; Mirsky Y Duncan, 2001; Snyder et al., 2015; Zametkin et al., 1990). Esto hace que los casos seleccionados por el método bioeléctrico deban ser reconocidos después por un equipo clínico multidisciplinar como el señalado en la introducción. Además, existe un grupo de síndromes clínicos TDAH que tiene EEG normal y solo manifiestan la clínica. Estos solo pueden ser diagnosticados por estudio clínico. En la actualidad, representan entre un 16 y un 18 % de los TDAH (Loo Y Makeig, 2012) y por esta causa continúa la investigación EEG en este síndrome a fin de encontrar algoritmos más rápidos y fiables que los actuales.

En nuestro caso, para niños con clínica típica, obtenemos un índice de discriminación mediante procedimiento automático TBR del 92%, similar a otros estudios revisados por Loo (Loo Y Makeig, 2012) que oscilan entre 63% y 97% y entre el 61 y el 88 %, según un meta-análisis (Snyder Y Hall, 2006b). Con el método de la descomposición visual directa (Verley) realizada por los autores obtenemos un índice de discriminación del 91.7% calculando el cociente entre la actividad lenta (delta+theta) y la actividad alpha. Esto parece indicar que el índice theta+delta/alpha procedente de la descomposición visual directa realizado por los autores es un método fiable para la selección de posibles casos de TDAH y no requiere ninguna aparatología distinta al simple electroencefalógrafo.

Como el tratamiento correcto es muy importante para tener éxito en la integración de estos pacientes en la sociedad y como a la hora de historiar a los pacientes de éste tipo suele haber grandes discrepancias entre las observaciones de padres y maestros, lo cual es totalmen-

te comprensible, se considera actualmente de gran utilidad disponer de un biomarcador. Es por ello, que en todas las sociedades occidentales, se está intentando encontrar un camino fácil, seguro y cómodo para diagnosticar y tratar a estos pacientes desde el momento más temprano posible. Como vemos, aunque es mejor disponer de descomposición en serie y cálculo del TBR de la región prefrontal, la prueba EEG puede ser valorada de forma directa si se realizan los montajes apropiados, agilizando la detección de los casos de TDAH.

Este estudio presenta algunas *limitaciones* que deben ser consideradas para la interpretación de los resultados. En primer lugar, no se registró ni analizó la división en subtipos de TDAH. Este estudio se centró en los defectos del lóbulo frontal, que según las investigaciones mencionadas previamente, forman el núcleo común que caracteriza el trastorno a estudio. Además, por el momento, se desconocen trabajos con la fiabilidad suficiente que demuestren que es posible una diferenciación en subtipos basados en EEG. Una segunda limitación, es que el cribado no se ha correlacionado con la información extraída de los tests neuropsicológicos normalmente utilizados para el diagnóstico. Sin embargo, no era esa la intención del estudio, sino la comparación entre diferentes procedimientos de diagnóstico basados en EEG, por lo que la correlación entre la actividad bioeléctrica y la función cognitiva, evaluada a través de dichos tests, deberá ser estudiada en futuros trabajos.

Asímismo, futuros trabajos deberían ir encaminados a aplicar este tipo de técnicas en la población escolar con el fin de identificar aquellos individuos con riesgo de sufrir TDAH. Pretendemos, siempre en colaboración con los educadores, organizar un sistema de detección de la posible existencia de TDAH, que consistiría primariamente en el reconocimiento de un defecto de aprendizaje y/o conducta contando con las observaciones padres y/o maestros y en segundo lugar, en el caso de ser positivo este primer cribado, permitiría la inspección rápida por parte del equipo orientador del centro y su derivación al servicio de neurofisiología para una precisión más exacta del diagnóstico, y la derivación, si procede a un equipo de tratamiento multidisciplinar para su tratamiento.

Referencias

Epstein, C., Bej, M. y Foldvary-Schaefer, N. (2006). Guideline 1: Minimum technical requirements for performing clinical electroencephalography. *Journal of Clinical Neurophysiology*: Official Publication of the American Electroencephalographic Society,

23(2), 86. <https://doi.org/10.1097/00004691-200604000-00002> CAMBIAR DE LUGAR

- Daley, K. C. (2004). Update on attention-deficit/hyperactivity disorder. *Current Opinion in Pediatrics*, 16(2), 217–226. <https://doi.org/10.1097/00008480-200404000-00020>
- Helgadóttir, H., Gudmundsson, Ó. Ó., Baldursson, G., Magnússon, P., Blin, N., Brynjólfssdóttir, B., ... others. (2015). Electroencephalography as a clinical tool for diagnosing and monitoring attention deficit hyperactivity disorder: a cross-sectional study. *BMJ Open*, 5(1), e005500. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2014-005500>
- Loo, S. K., Y Makeig, S. (2012). Clinical utility of EEG in attention-deficit/hyperactivity disorder: a research update. *Neurotherapeutics*, 9(3), 569–587. <https://doi.org/10.1007/s13311-012-0131-z>
- Magee, C. A., Clarke, A. R., Barry, R. J., McCarthy, R., Y Selikowitz, M. (2005). Examining the diagnostic utility of EEG power measures in children with attention deficit/hyperactivity disorder. *Clinical Neurophysiology*, 116(5), 1033–1040. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2004.12.007>
- Mirsky, A. F., Y Duncan, C. C. (2001). A nosology of disorders of attention. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 931(1), 17–32. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2001.tb05771.x>
- 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. <https://doi.org/10.1037//0894-4105.15.1.136>
- Moore, D. P., Y Puri, B. K. (2012). *Textbook of Clinical Neuropsychiatry and Behavioral Neuroscience 3E*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b13258>
- Pepe, M. S. (2003). *The statistical evaluation of medical tests for classification and prediction*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1002/sim.2185>
- Poil, S.-S., Bollmann, S., Ghisleni, C., O’Gorman, R. L., Klaver, P., Ball, J., ... Michels, L. (2014). Age dependent electroencephalographic changes in attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD). *Clinical Neurophysiology*, 125(8), 1626–1638. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.12.118>.
- Rudo-Hutt, A. S. (2015). Electroencephalography and externalizing behavior: A meta-analysis. *Biological Psychology*, 105, 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.12.005>.

- Sarnthein, J., Morel, A., Von Stein, A., Y Jeanmonod, D. (2005). Thalamocortical theta coherence in neurological patients at rest and during a working memory task. *International Journal of Psychophysiology*, 57(2), 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2005.03.015>.
- Saunders, M. G., Y Westmoreland, B. F. (1979). The EEG in evaluation of disorders affecting the brain diffusely. *Current Practice of Clinical Electroencephalography*, 370–371.
- Snyder, S. M., Y Hall, J. R. (2006a). A meta-analysis of quantitative EEG power associated with attention-deficit hyperactivity disorder. *Journal of Clinical Neurophysiology: Official Publication of the American Electroencephalographic Society*, 23(5), 440–455.
- Snyder, S. M., Y Hall, J. R. (2006b). A meta-analysis of quantitative EEG power associated with attention-deficit hyperactivity disorder. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 23(5), 441–456. <https://doi.org/10.1097/01.wnp.0000221363.12503.78>.
- Snyder, S. M., Rugino, T. A., Hornig, M., Y Stein, M. A. (2015). Integration of an EEG biomarker with a clinician's ADHD evaluation. *Brain and Behavior*, 5(4). Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/brb3.330/full>
- Sweeney, M. S. (2009). *Brain: The Complete Mind: how it Develops, how it Works, and how to Keep it Sharp*. National Geographic Books.
- Verley, R. (1967). Les secteurs d'activité électro-corticale. Leur développement post natal. Regional Develop. *Ent of the Brain in Early Life*. Blackwell, Oxford, 367–394.
- Willcutt, E. G. (2012). The prevalence of DSM-IV attention-deficit/hyperactivity disorder: a meta-analytic review. *Neurotherapeutics*, 9(3), 490–499. <https://doi.org/10.1007/s13311-012-0135-8>.
- Zametkin, A. J., Nordahl, T. E., Gross, M., King, A. C., Semple, W. E., Rumsey, J., ... Cohen, R. M. (1990). Cerebral glucose metabolism in adults with hyperactivity of childhood onset. *New England Journal of Medicine*, 323(20), 1361–1366. [https://doi.org/10.1016/0006-3223\(92\)90515-2](https://doi.org/10.1016/0006-3223(92)90515-2).