

Empleo del electroencefalograma de un solo electrodo en la evaluación del trastorno por déficit de atención/hiperactividad

Inmaculada Moreno-García, Mateu Servera, Susana Meneres-Sancho, José A. Lora-Muñoz

Facultad de Psicología; Universidad de Sevilla; Sevilla (I. Moreno-García, S. Meneres-Sancho, J.A. Lora-Muñoz). Facultad de Psicología; Universitat de les Illes Balears; Palma de Mallorca, España (M. Servera).

Correspondencia:

Dra. Inmaculada Moreno García. Facultad de Psicología. Universidad de Sevilla. Camilo José Cela, s/n. E-41018 Sevilla.

E-mail:

imgarcia@us.es

Financiación:

Ministerio de Ciencia e Innovación, Plan Nacional I+d+i (PSI 2008-06008-C02-01).

Aceptado tras revisión externa:

05.12.19.

Cómo citar este artículo:

Moreno-García I, Servera M, Meneres-Sancho S, Lora-Muñoz JA. Empleo del electroencefalograma de un solo electrodo en la evaluación del trastorno por déficit de atención/hiperactividad. Rev Neurol 2020; 70: 84-92. doi: 10.33588/rn.7003.2019265.

© 2020 Revista de Neurología

Introducción. El trastorno por déficit de atención/hiperactividad (TDAH) mantiene un diagnóstico basado en datos conductuales a pesar de su implicación en modelos neuropsicofisiológicos. El registro del electroencefalograma (EEG) monopolar centrado en diferenciar a los niños con TDAH frente a los controles en función de una mayor *ratio* theta/beta se ha propuesto desde hace tiempo como una alternativa para objetivar el diagnóstico y guiar la intervención basada en *neurofeedback*, pero sus resultados han resultado controvertidos.

Objetivo. Analizar la viabilidad de un único electrodo para detectar diferencias en los principales ritmos cerebrales, y especialmente en la *ratio* theta/beta, en niños con diagnóstico de TDAH, analizando las diferencias por subtipo, edad, sexo y tarea.

Pacientes y métodos. Se evaluó a 92 niños (rango: 7-13 años) con diagnóstico de TDAH en un registro de EEG monopolar sobre cuatro tareas (reposo, lectura, escucha activa y copiar una figura). Se obtuvieron siete medidas basadas en ritmos EEG lentos y rápidos, más la *ratio* theta/beta.

Resultados. No hubo diferencias por subtipos de TDAH. La tarea de mayor demanda cognitiva obtuvo en general las amplitudes de onda más elevadas. Los participantes más pequeños y los varones presentaron en general una *ratio* theta/beta y amplitudes en las ondas lentas más elevadas en todas las tareas investigadas, y mostraron una mayor tendencia a problemas de regulación atencional.

Conclusión. El registro monopolar y la *ratio* theta/beta son una alternativa viable en el ámbito clínico, al menos para complementar la evaluación del TDAH.

Palabras clave. Adolescentes. Diagnóstico. EEG monopolar. Lectura. Niños. Reposo. TDAH. Trastorno por déficit de atención/hiperactividad.

Introducción

El trastorno por déficit de atención/hiperactividad (TDAH) es un trastorno del neurodesarrollo que causa malestar clínicamente significativo e interfiere en el rendimiento y desarrollo del niño; su prevalencia se estima en el 5% de la población escolar [1].

El diagnóstico del trastorno sigue siendo motivo de polémica, dado su carácter clínico, a pesar de los avances en medidas más objetivas. El electroencefalograma (EEG) se ha propuesto como una herramienta útil en la práctica clínica [2] para evaluar a pacientes con diagnóstico de TDAH y edades comprendidas entre 4 y 14 años [3], ya que estos menores difieren en determinados ritmos cerebrales al compararlos con niños controles sin diagnóstico.

El análisis de estas diferencias desde el punto de vista experimental se lleva a cabo con complejos sistemas de EEG que usan múltiples electrodos [4]. Sin embargo, existe una tradición, desarrollada en el ámbito profesional, para evaluar y mejorar los ritmos cerebrales basada en una única localización.

Thompson y Thompson [5] recomiendan la localización Cz (menos sensible a posibles artefactos) y, en caso de niños mayores de 11 años, FCz. Años atrás, Monastra et al, usando un solo electrodo, ya habían mostrado que la *ratio* theta/beta más elevada podía ser un marcador específico del TDAH [6].

En 2013, la Food and Drug Administration estadounidense aprobó el primer sistema de EEG para el diagnóstico del TDAH basado en un único electrodo y en la *ratio* theta/beta [7]. La evaluación monopolar en Cz y FCz, de acuerdo con la edad de los participantes, se ha utilizado para evaluar los efectos del *neurofeedback*, del tratamiento farmacológico [8] y de estos tratamientos junto con la terapia conductual [9]. Las evidencias relacionadas con la utilidad de la *ratio* theta/beta como marcador del TDAH han quedado de manifiesto a partir de los hallazgos obtenidos por distintas investigaciones que contemplan el análisis de dicha *ratio* en ciertas localizaciones, con montajes monopolares [10,11]. Sin embargo, los datos no parecen concluyentes; en la investigación realizada por Ogrim et al [12], que

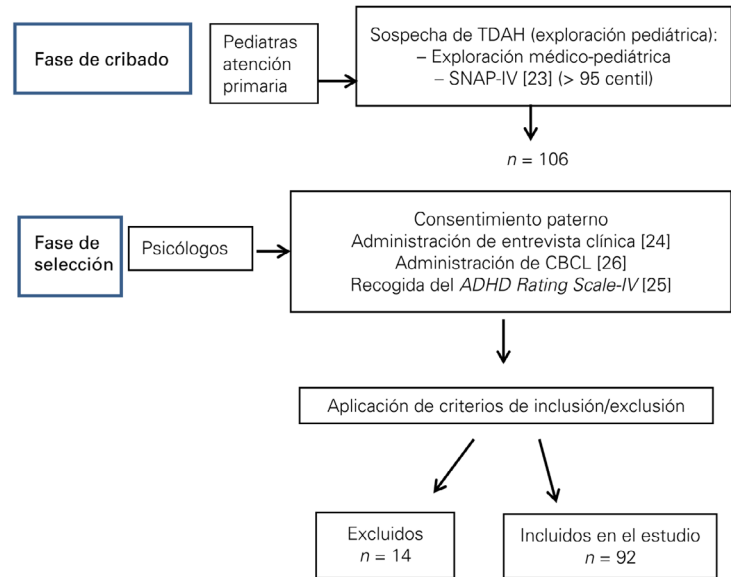
emplearon un solo electrodo en Cz, no se observaron diferencias significativas en la *ratio* theta/beta cuando se comparó a individuos con TDAH y a controles, si bien un subgrupo de pacientes pudo ser caracterizado con una theta más elevada. Liechti et al [13] tampoco hallaron relación entre la *ratio* theta/beta y otros marcadores biológicos con el diagnóstico y los subtipos del TDAH, y concluyeron que tales hallazgos se relacionaban con la heterogeneidad que caracteriza a este trastorno.

En el metaanálisis realizado por Arns et al [14] se seleccionan nueve estudios que, entre otros requisitos, debían disponer de grupo control y registro con ojos abiertos. Los autores concluyeron que los tamaños del efecto de la *ratio* theta/beta para diferenciar niños con TDAH son de 0,75 entre los 6 y los 13 años, y de 0,62 entre los 6 y los 18 años, pero consideraron que están sobreestimados, dada la gran heterogeneidad de los datos. Concretamente descubrieron una tendencia que señala que, con el tiempo, los grandes tamaños del efecto descubiertos en los primeros años han disminuido. En este sentido, Clarke et al [15] habían encontrado un incremento de la *ratio* en el 80% de los pacientes con TDAH, que descendió al 35% diez años después [16].

La edad y el sexo son dos variables a tener en cuenta en el registro del EEG para detectar a niños con TDAH. Clarke et al [15] observaron una disminución de theta y un aumento de beta con la edad, aunque el incremento de beta en los adultos no ha sido corroborado en otros casos [13]. Poil et al [17] hallaron una disminución en delta y theta y aumento en alfa y beta. Clarke et al [16] mostraron una disminución de alfa en sujetos con TDAH cuando aumentaba la edad. Los datos resultan más consistentes respecto a la *ratio* theta/beta, disminuyendo en individuos mayores, un resultado obtenido en registros amplios [16] y monopulares [18]. Respecto al sexo, se han encontrado diferencias en la maduración del EEG entre niños y niñas. Clarke et al [19] observaron, en población normal, diferencias en la maduración del EEG según el sexo: las chicas mostraron una maduración más tardía, efecto que tendía a desaparecer en la adolescencia. Estos hallazgos fueron corroborados posteriormente por Barry y Clarke [20].

En resumen, el uso de los ritmos cerebrales, especialmente con montaje monopolar para ayudar al diagnóstico de niños con TDAH, resulta controvertido, a pesar de los prometedores datos de los estudios pioneros. Por tanto, el objetivo de este trabajo es analizar la viabilidad en entornos clínicos del uso de un único electrodo para detectar diferencias en los ritmos cerebrales del EEG, y especialmente en la

Figura. Procedimiento de selección de participantes.



ratio theta/beta, en una muestra de niños con TDAH sobre tareas con distinta demanda de esfuerzo cognitivo [21,22] y controlando las variables subtipo de TDAH, edad y sexo.

Pacientes y métodos

Participantes

En el presente estudio han participado 92 niños de 7-13 años seleccionados a partir del procedimiento, estructurado en dos fases (Figura). El protocolo de esta investigación fue aprobado por el comité de ética de la Universidad de Sevilla. Los padres o tutores de los participantes fueron informados previamente y firmaron en todos los casos el consentimiento informado.

Ningún participante ha tomado medicación durante la investigación. La fase de cribado empezó en un servicio público de atención pediátrica utilizando la exploración médica y la escala SNAP-IV [23] para niños con sospecha de TDAH. Quedaron excluidos los menores que estaban tomando cualquier fármaco para tratar el TDAH. Posteriormente, en fase de selección (Figura), se informó a los padres de las condiciones de participación de sus hijos y se les indicó expresamente que, durante la investigación, el niño no podría recibir ningún tipo de in-

Tabla I. Características sociodemográficas y familiares de los participantes ($n = 92$).

| | | <i>n</i> | % |
|----------------------------|---------------------------------|----------|----|
| Sexo | Niños | 78 | 85 |
| | Niñas | 14 | 15 |
| Edad | 7 años | 26 | 28 |
| | 8 años | 22 | 24 |
| | 9 años | 13 | 14 |
| | 10 años | 13 | 14 |
| | 11 años | 7 | 8 |
| | 12 años | 8 | 9 |
| | 13 años | 3 | 3 |
| Subtipos | Hiperactivo-impulsivo | 9 | 10 |
| | Déficit atencional | 37 | 40 |
| | Combinado | 46 | 50 |
| Orden de nacimiento | Primero | 46 | 50 |
| | Segundo | 38 | 41 |
| | Tercero | 6 | 7 |
| | Cuarto | 1 | 1 |
| | Quinto | 1 | 1 |
| Estado civil de los padres | Casados | 79 | 86 |
| | Separados | 13 | 14 |
| Profesión del padre | Profesión cualificada | 7 | 7 |
| | Trabajador especializado | 45 | 49 |
| | Trabajador no especializado | 29 | 32 |
| | Inactivo, pensionista, retirado | 8 | 9 |
| | Otra | 3 | 3 |
| Profesión de la madre | Profesión cualificada | 5 | 5 |
| | Trabajadora especializada | 14 | 15 |
| | Trabajadora no especializada | 22 | 24 |
| | Inactiva, pensionista, retirada | 49 | 53 |
| | Otra | 2 | 2 |

intervención farmacológica ni participar en programas psicoeducativos o de otra índole para el TDAH.

Tras esta primera etapa, se derivó para estudio a 106 niños (Figura). En la segunda fase, y tras otorgar sus padres o tutores legales el consentimiento informado para su incorporación a la investigación, se seleccionó a los niños que cumplían con los siguientes criterios de inclusión:

- Edad entre 7 y 13 años.
- Cumplir los criterios diagnósticos del TDAH, según el *Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales, quinta edición (DSM-5)*, en función de una entrevista clínica [24], y las *ADHD Rating Scales-IV* para padres y maestros [25].
- No presentar trastornos comórbidos en función de la *Child Behavior Checklist (CBCL)* para padres [26].
- Pacientes sin antecedentes de enfermedad médica, enfermedad crónica o enfermedad actual.

En la tabla I pueden consultarse las características sociodemográficas de los 92 niños que formaron la muestra definitiva.

Procedimiento

Todos los participantes fueron evaluados mediante un registro electroencefalográfico realizado con el equipo Atlantis II 2x2 Clinical System, con *software* Brainmaster, y un montaje monopolar localizado, según la edad de los participantes, en Cz para el grupo de menor edad (7-10 años) y en FCz para el de mayor edad (11-13 años), con referencia en los lóbulos de la oreja. Se estableció una tasa de muestreo de 256 mps, con un rango de frecuencias de 1-50 Hz, controlando la impedancia por debajo de 5 k Ω en todos los electrodos y un control automático de los artefactos (> 120 μ V). Las bandas de frecuencia consideradas fueron delta (1-4 Hz), theta (4-7 Hz), alfa (8-12 Hz), *low* beta (12-15 Hz), beta (15-20 Hz), *high* beta (20-30 Hz) y gamma (30-50 Hz). Además, se calculó la *ratio* theta/beta. Por tanto, se obtuvieron ocho medidas basadas en el EEG.

El registro electroencefalográfico se realizó sobre cuatro tareas experimentales: T1, en reposo (observando un punto fijo en la pantalla del ordenador); T2, lectura (leer de modo silencioso un texto adaptado a la edad de cada niño); T3, escucha activa (prestar atención a un texto que leía el experimentador sobre el cual hacía unas preguntas al final); y T4, copia de figuras del test de Bender. Todas las tareas se aplicaron siempre en esta secuencia.

La evaluación de la actividad del EEG de todos los participantes se desarrolló en cuatro sesiones de

tres minutos de duración cada una, correspondientes a las tareas T1, T2, T3 y T4. Estas sesiones fueron precedidas por una línea base de 10 segundos. En todos los casos, el registro electroencefalográfico tuvo una duración de 12 minutos y 10 segundos, si bien a este período de evaluación se añadió una fase de descanso entre tareas, de duración variable (2-3 minutos), dependiendo de la edad de los niños. Por tanto, el registro de la actividad electroencefalográfica de cada participante tuvo una duración de 15-20 minutos, dependiendo del tiempo de descanso según la edad de los niños.

Diseño y análisis de datos

El análisis de datos se basó en dos diseños factoriales. En primer lugar, se llevó a cabo un diseño intersujetos en el cual se realizó un análisis multivariante de la varianza (MANOVA) con tres factores: subtipo de TDAH (inatento, combinado e hiperactivo/impulsivo), grupo de edad (7-10 años y 11-13 años) y sexo, comparando las ocho medidas del EEG promediadas entre las cuatro tareas investigadas. El objetivo principal era analizar las diferencias en función de las interacciones entre los factores, pero, si éstas no resultaron significativas, se llevaron a cabo otros MANOVA independientes para cada factor. Todas las comparaciones *post hoc* se basaron en las medias estimadas ajustadas por Bonferroni.

En segundo lugar, se llevó a cabo un MANOVA de medidas repetidas, en el cual se analizaron las diferencias entre las cuatro tareas investigadas para cada una de las medidas del EEG. El objetivo era determinar si las medidas del EEG variaban en función de las exigencias de cada tarea. A continuación, se llevó a cabo un diseño factorial de medidas repetidas (*split-plot*), en el cual se analizaba el factor intrasujetos 'tarea' en función de los tres factores intersujetos antes definidos. El objetivo era analizar las diferencias en las medidas del EEG en función de la interacción entre los factores, pero si éstas no resultaron significativas, se llevaron a cabo análisis univariados de medidas repetidas con cada factor intersujetos por separado. En caso de no cumplirse la condición de esfericidad por el test de esfericidad de Mauchly, se aplicó la corrección de Greenhouse-Geisser y todas las comparaciones *post hoc* se basaron en las medias estimadas ajustadas por Bonferroni.

Resultados

En el diseño factorial intersujetos no se observó ninguna interacción significativa entre los factores sub-

Tabla II. Diferencias en las medias estimadas de las medidas electroencefalográficas entre las tareas experimentales.

| | Tareas | DM | DE | p | d |
|------------------|----------------|--------|------|-------|------|
| Delta | T1 frente a T3 | -2,12 | 0,75 | 0,035 | 0,43 |
| | T1 frente a T4 | -10,03 | 1,05 | 0,000 | 1,46 |
| | T2 frente a T4 | -8,64 | 1,02 | 0,000 | 1,29 |
| | T3 frente a T4 | -7,91 | 0,92 | 0,000 | 1,31 |
| Theta | T1 frente a T2 | -0,84 | 0,17 | 0,000 | 0,76 |
| | T1 frente a T4 | -2,53 | 0,29 | 0,000 | 1,31 |
| | T2 frente a T4 | -1,69 | 0,28 | 0,000 | 0,92 |
| Low beta | T3 frente a T4 | -2,06 | 0,31 | 0,000 | 1,02 |
| | T1 frente a T4 | -0,78 | 0,12 | 0,000 | 0,97 |
| | T2 frente a T4 | -0,61 | 0,11 | 0,000 | 0,88 |
| Beta | T3 frente a T4 | -0,53 | 0,12 | 0,000 | 0,70 |
| | T1 frente a T4 | -0,67 | 0,13 | 0,000 | 0,78 |
| | T2 frente a T4 | -0,60 | 0,12 | 0,000 | 0,78 |
| High beta | T3 frente a T4 | -0,41 | 0,13 | 0,009 | 0,50 |
| | T1 frente a T4 | -0,99 | 0,15 | 0,000 | 0,99 |
| | T2 frente a T4 | -0,94 | 0,13 | 0,000 | 1,14 |
| Gamma | T3 frente a T4 | -0,77 | 0,14 | 0,000 | 0,84 |
| | T1 frente a T3 | -0,09 | 0,03 | 0,025 | 0,45 |
| | T1 frente a T4 | -0,35 | 0,04 | 0,000 | 1,30 |
| | T2 frente a T3 | -0,10 | 0,03 | 0,028 | 0,44 |
| Ratio theta/beta | T2 frente a T4 | -0,36 | 0,03 | 0,000 | 1,66 |
| | T3 frente a T4 | -0,26 | 0,04 | 0,000 | 0,96 |
| | T2 frente a T3 | 0,17 | 0,05 | 0,002 | 0,58 |
| | T3 frente a T4 | -0,14 | 0,05 | 0,030 | 0,44 |

DE: desviación estándar; DM: diferencia de medias; T1: reposo; T2: leer; T3: escucha activa; T4: copiar figuras.

tipo de TDAH, grupo de edad y sexo. Por tanto, se procedió a los análisis por separado.

No hubo diferencias estadísticamente significativas entre los subtipos de TDAH en ninguna de las medidas. No hubo diferencias estadísticamente sig-

Tabla III. Comparaciones en las medias estimadas de las medidas electroencefalográficas entre los dos grupos de edad en las tareas experimentales.

| | Tarea | 7-10 años (media) | 11-13 años (media) | DE | <i>t</i> | <i>p</i> | <i>d</i> |
|---------------------|-------|----------------------|-----------------------|------|----------|----------|----------|
| Delta | T3 | 28,28 | 23,51 | 2,06 | 2,32 | 0,023 | 0,62 |
| | T4 | 37,14 | 27,78 | 2,46 | 3,81 | 0,000 | 1,02 |
| Theta | T1 | 15,66 | 12,76 | 0,80 | 3,60 | 0,001 | 0,97 |
| | T2 | 16,55 | 13,38 | 0,77 | 4,12 | 0,000 | 1,11 |
| | T3 | 16,13 | 13,18 | 0,92 | 3,22 | 0,002 | 0,87 |
| | T4 | 18,42 | 14,36 | 0,96 | 4,25 | 0,000 | 1,14 |
| Alfa | T4 | 12,37 | 9,84 | 0,86 | 2,93 | 0,004 | 0,79 |
| Ratio theta/beta | T1 | 2,85 | 2,26 | 0,19 | 3,03 | 0,003 | 0,81 |
| | T2 | 2,94 | 2,36 | 0,19 | 3,04 | 0,003 | 0,82 |
| | T3 | 2,75 | 2,28 | 0,16 | 3,04 | 0,003 | 0,82 |
| | T4 | 2,87 | 2,47 | 0,15 | 2,73 | 0,008 | 0,73 |

DE: desviación estándar; T1: reposo; T2: leer; T3: escucha activa; T4: copiar figuras.

nificativas entre los tres subtipos de niños diagnosticados con TDAH en ninguna de las medidas globales del EEG. Las medias \pm desviación estándar en cada onda, según el subtipo analizado (inatento, combinado e hiperactivo/impulsivo respectivamente), son las siguientes: delta ($28,81 \pm 6,02$; $27,61 \pm 6,83$; $28,77 \pm 9,28$), theta ($16,23 \pm 2,94$; $15,69 \pm 3,52$; $16,35 \pm 3,35$), alfa ($11,92 \pm 2,89$; $10,87 \pm 3,77$; $12,85 \pm 5,31$), low beta ($5,75 \pm 1,17$; $5,54 \pm 1,24$; $6,27 \pm 1,08$), high beta ($6,10 \pm 1,40$; $5,76 \pm 1,33$; $6,48 \pm 0,90$), beta ($5,79 \pm 2,00$; $5,41 \pm 1,58$; $6,41 \pm 2,11$), gamma ($1,05 \pm 0,47$; $0,98 \pm 0,37$; $1,13 \pm 0,49$) y ratio theta/beta ($2,73 \pm 0,50$; $2,81 \pm 0,73$; $2,55 \pm 0,55$).

En cambio, hubo diferencias significativas entre los dos grupos de edad en las ondas lentas delta ($t_{(90)} = 2,91$; $p = 0,005$; $d = 0,78$), theta ($t_{(90)} = 3,99$; $p = 0,005$; $d = 1,07$) y la ratio theta/beta ($t_{(90)} = 3,33$; $p = 0,001$; $d = 0,90$). El grupo de menor edad presentó una mayor potencia en las dos ondas y una ratio más elevada. Las diferencias estadísticamente significativas en función del sexo se observaron en estas medidas: delta ($t_{(90)} = 2,13$; $p = 0,036$; $d = 0,60$), gamma ($t_{(90)} = -2,30$; $p = 0,024$; $d = 0,65$) y ratio theta/beta ($t_{(90)} = 3,03$; $p = 0,003$; $d = 0,86$). Los niños presentaron mayor potencia en delta y en la ra-

tio theta/beta, y en cambio las niñas lo hicieron en las ondas rápidas gamma.

En relación con los resultados hallados con el diseño de medidas repetidas para analizar las diferencias entre las cuatro tareas investigadas, estas diferencias resultaron estadísticamente significativas en todas las medidas del EEG, excepto en la onda alfa. En la tabla II aparecen las comparaciones dos a dos que resultaron estadísticamente significativas, junto con los tamaños del efecto.

El resultado más destacado es que en todas las medidas, excepto la ratio theta/beta, la tarea 4 (copiar una figura) se diferenció de las otras tres tareas, con un tamaño del efecto promedio de 1,03 (grande). La tendencia es siempre la misma: la potencia de onda en la tarea 4 es superior tanto en las ondas lentas como en las rápidas. En el caso de delta aparece una diferencia entre la tarea 1 y la 3, pero con un tamaño del efecto pequeño. En theta aparece otra diferencia entre T1 y T2, con un tamaño del efecto mediano, y en gamma se evidencian diferencias también entre T1 y T3, y T2 y T3, pero son efectos pequeños. Finalmente, en la ratio theta/beta aparecen dos diferencias significativas: T2 frente a T3, con un tamaño del efecto mediano, y T3 frente a T4, con un tamaño del efecto pequeño.

A continuación, se analizaron las diferencias entre las distintas tareas para cada medida del EEG en función de los subtipos de TDAH, el grupo de edad y el sexo. Los MANOVA de medidas repetidas no mostraron ninguna diferencia significativa en la interacción. Por tanto, se optó por analizar las diferencias a través del procedimiento univariado. En este caso tampoco se hallaron diferencias en función del subtipo de TDAH, pero se hallaron algunas en función de los factores grupo de edad y sexo. En la tabla III se destacan las que hacen referencia al grupo de edad.

En la medida theta y en la ratio theta/beta hay diferencias entre los dos grupos de edad en las cuatro tareas investigadas, siempre con tamaños del efecto iguales o superiores a 0,73. En las medidas delta y alfa también aparecen diferencias significativas entre los dos grupos de edad en la tarea 4 con tamaños del efecto grandes. Finalmente, en delta aparece una diferencia significativa en la tarea 3 con un tamaño del efecto mediano. En todas las diferencias, la tendencia es la misma: el grupo de edad de menor edad presenta mayor potencia en las ondas o una ratio theta/beta más elevada.

Las comparaciones *post hoc* univariadas en función del factor sexo detectaron las diferencias estadísticamente significativas que pueden apreciarse en la tabla IV.

Las diferencias estadísticamente significativas entre varones y niñas se han hecho evidentes en la *ratio* theta/beta, con una potencia más elevada para los niños en las cuatro tareas, y un tamaño del efecto promedio grande de 0,81. En *high* beta ha habido diferencias en las tareas 2 y 4, esta vez con mayor potencia para las niñas y un tamaño del efecto mediano (alrededor de 0,65). Finalmente, aparece una última diferencia significativa en el ritmo delta, pero sólo en la tarea 3, en la cual la potencia es superior para los niños, con un efecto mediano (0,63).

Discusión

El EEG se ha propuesto tanto para la investigación como para la evaluación y el diagnóstico del TDAH. En el entorno clínico prevalece el empleo de un único electrodo para evaluar la actividad cerebral de los pacientes, debido a su facilidad de colocación, rapidez y escaso nivel de complejidad; sin embargo, a pesar de los buenos resultados generales, prevalecen dudas sobre su utilidad [14]. En este trabajo se ha analizado la viabilidad de un único electrodo, colocado en Cz y FCz (según la edad), para detectar diferencias en los principales ritmos cerebrales en niños con diagnóstico de TDAH, analizando las diferencias por subtipo de TDAH, grupo de edad, sexo y tipo de tarea investigada.

Los ritmos cerebrales que hemos medido pueden dividirse en ondas lentas (delta, alfa y theta) y ondas rápidas (*low* beta, beta, *high* beta y gamma), además de la *ratio* theta/beta. El perfil de la disfunción atencional debería coincidir con una relativamente menor amplitud en las ondas lentas (especialmente theta, y también alfa) y una mayor amplitud en las ondas rápidas (especialmente beta, y también *high* beta), dando como resultado una *ratio* theta/beta más elevada.

En relación con el subtipo de TDAH, no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las medidas del EEG, coincidiendo con el trabajo de Hermens et al [27] y discrepando de Clarke et al [15], quienes observaron mayores amplitudes de theta, de la *ratio* theta/beta y de la *ratio* theta/alfa, y una menor amplitud de alfa y beta en el subtipo combinado respecto al inatento. En realidad, nuestros resultados son similares al trabajo original de Monastra et al [6] y pueden reflejar el hecho de que el registro del EEG monopolar tiene dificultades para diferenciar entre subtipos de TDAH. No obstante, como señalan Mazaheri et al [28], la tarea de proponer una clasificación de los subtipos del TDAH basada en los hallazgos de neurobiología

Tabla IV. Comparaciones en las medias estimadas de las medidas electroencefalográficas según el sexo en las tareas experimentales.

| | Tarea | Niños (media) | Niñas (media) | DE | <i>t</i> | <i>p</i> | <i>d</i> |
|-------------------------|-------|---------------|---------------|------|----------|----------|----------|
| Delta | T3 | 27,93 | 23,94 | 2,34 | 2,12 | 0,037 | 0,63 |
| | T2 | 5,26 | 6,46 | 0,53 | -2,23 | 0,028 | 0,67 |
| <i>High</i> beta | T4 | 6,19 | 7,47 | 0,59 | -2,16 | 0,034 | 0,64 |
| | T1 | 2,82 | 2,29 | 0,21 | 2,49 | 0,015 | 0,74 |
| <i>Ratio</i> theta/beta | T2 | 2,92 | 2,33 | 0,21 | 2,86 | 0,005 | 0,85 |
| | T3 | 2,74 | 2,20 | 0,17 | 3,27 | 0,002 | 0,98 |
| | T4 | 2,85 | 2,50 | 0,16 | 2,19 | 0,031 | 0,65 |
| | T1 | 2,82 | 2,29 | 0,21 | 2,49 | 0,015 | 0,74 |

DE: desviación estándar; T1: reposo; T2: leer; T3: escucha activa; T4: copiar figuras.

continúa siendo difícil, pese a que estos autores plantearon como uno de los objetivos de su trabajo investigar las diferencias neurofisiológicas observadas entre adolescentes de 12-17 años, con desarrollo típico, y otros, diagnosticados con subtipo predominantemente inatento y combinado, a partir de los cambios en el EEG registrado mediante 32 electrodos. En la actualidad, constituye una línea de investigación en desarrollo la posible correspondencia entre los subtipos clínicos y los fenotipos identificados mediante EEG [29,30], sobre todo a partir de la diferenciación, en unos casos, de fenotipos electroencefalográficos diferentes en pacientes con TDAH, con cierta coincidencia con los subtipos clínicos actuales; y en otros, sin embargo, fenotipos específicos en función del nivel de activación de determinadas regiones corticales y de los ritmos cerebrales predominantes en ellas.

En relación con el grupo de edad, la tendencia ha sido que los niños de menor edad presentan mayores amplitudes de ondas lentas y una *ratio* theta/beta más elevada, lo que corrobora tanto los resultados de trabajos previos [13] como el efecto madurativo que caracteriza a esta medida. Es decir, los procesos atencionales maduran y mejoran con la edad, y en principio esta tendencia está reflejada en la *ratio* theta/beta, aunque sea más atribuible a la disminución de la amplitud de theta que al incremento de beta a través de la edad [19,20].

En relación con el sexo, los varones presentaron mayor potencia en una onda lenta (delta) y en la *ratio* theta/beta, mientras que las niñas lo hicieron en

una onda rápida (gamma). En realidad, aunque no se llegó a la significación estadística, los varones tienden a presentar una mayor amplitud de onda lenta theta y una menor de onda rápida beta. Esta tendencia es relativamente similar a la hallada en estudios previos [27,31]. De alguna manera, pues, estos resultados son consistentes con los datos conductuales, los cuales señalan que, al menos en educación primaria, los varones tienden a presentar más conductas de inatención que las niñas [32]. La importancia de nuestros datos es que se han conseguido con una muestra clínica, lo que refleja que probablemente el TDAH en los varones se expresa de manera más grave, al menos en lo que respecta a la función atencional, que en las niñas.

En relación con el tipo de tarea, la tendencia es que, en general, la tarea de mayor exigencia atencional (copiar una figura) provocó un incremento de la potencia de onda en casi todos los ritmos cerebrales. Estos resultados son coincidentes con los datos originales extraídos por Monastra et al [22] utilizando las mismas tareas. Se trata de un hallazgo interesante, puesto que muestra que, a pesar de usar un EEG monopolar, se confirma que el procedimiento es sensible a cierto grado de dificultad de la tarea. Los estudios previos que han dispuesto de grupo control comparados con adultos con TDAH han hallado que, en general, la dificultad de las tareas que tienen que desempeñar los individuos durante el EEG influye en los resultados, apreciando en esos casos que las tareas que inducen nivel bajo de activación cerebral originan mayor diferenciación entre los ritmos del EEG y, por tanto, distinguen entre individuos con TDAH y controles. En este sentido, Buyck y Wiersema [33] concluyeron que los individuos con TDAH muestran un patrón de EEG anormal sólo cuando la tarea induce un nivel bajo de activación.

En nuestro caso, la medida directa de los ritmos cerebrales no ha diferenciado a subtipos de TDAH, sexos ni grupos de edad en función de la dificultad de la tarea. Sin embargo, los datos difieren respecto a la *ratio* theta/beta. Considerando esta variable, se han hallado diferencias significativas teniendo en cuenta los factores sexo y grupos de edad, y se ha observado que la *ratio* ha sido más elevada en los participantes de menor edad y varones en las cuatro tareas investigadas. Específicamente, al comparar los grupos de edad, se observa que las ondas lentas, delta y theta, presentan amplitudes significativamente mayores en el grupo de participantes de menor edad. Por otro lado, destacan también las diferencias aportadas por el ritmo theta, y se aprecian diferencias significativas en todas las tareas en-

tre ambos grupos, en comparación con el ritmo delta, que sólo difiere en la tarea de copiar. Posiblemente, el efecto observado entre los grupos de mayor y menor edad en el ritmo theta se explique por factores madurativos, coincidiendo estos hallazgos con investigaciones previas [20]. Es decir, si se consideran las variables sexo y edad, los resultados extraídos ponen de manifiesto que la influencia del nivel de desarrollo madurativo implicado en los procesos atencionales de los participantes de menor edad y de los varones con TDAH ha sido independiente del nivel de dificultad de la tarea.

En cualquier caso, y como hemos visto con independencia del tipo de tarea, el resultado más interesante de nuestro trabajo es que el uso de un sencillo procedimiento de registro de EEG monopolar avala la posibilidad de considerar la *ratio* theta/beta como una medida que pueda reflejar hasta cierto punto la inadecuada capacidad de regulación atencional, tal y como se ha planteado desde modelos neuropsicofisiológicos [5]. Esta medida es de fácil introducción en el ámbito clínico y en la práctica profesional.

La principal limitación del presente trabajo es no poder contar con un grupo control para comparar las medidas del EEG de los niños con TDAH. Asimismo, debido a la procedencia y selección de los participantes según criterios clínicos, por sospecha de TDAH en exploración pediátrica, la composición de la muestra no es equivalente según la variable edad, cuestión sin duda exigible en muestras extraídas de población normal. Por otro lado, el tamaño de los grupos investigados también es dispar según el sexo; sin embargo, esta circunstancia es acorde con la prevalencia e incidencia del trastorno investigado en niños y niñas.

Por último, en el futuro, este tipo de estudios debería realizarse contraequilibrando el orden de presentación de las tareas experimentales y, a efectos de mayor conocimiento de los procesos y mecanismos implicados, ampliando el número de electrodos manejados en los registros.

Bibliografía

1. American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders, fifth edition (DSM-5). Washington DC: American Psychiatric Publishing; 2013.
2. Loo SK, Makeig S. Clinical utility of EEG in attention-deficit/hyperactivity disorder: a research update. *Neurotherapeutics* 2012; 9: 569-87.
3. Cornelio-Nieto JO, Borbolla-Sala ME, Gallegos-Dimas A. Alteraciones electroencefalográficas en niños con trastorno por déficit de atención/hiperactividad. *Rev Neurol* 2011; 52 (Supl 1): S97-101.
4. Sangal RB, Sangal JM. Use of EEG beta-1 power and theta/beta

- ratio over Broca's area to confirm diagnosis of attention deficit/hyperactivity disorder in children. *Clin EEG Neurosci* 2015; 46: 177-82.
5. Thompson M, Thompson L. The neurofeedback book: an introduction to basic concepts in applied psychophysiology. Wheat Ridge: Association for Applied Psychophysiology; 2015.
 6. Monastra VJ, Lubar JF, Linden M. The development of a quantitative electroencephalographic scanning process for attention deficit-hyperactivity disorder: reliability and validity studies. *Neuropsychology* 2001; 15: 136-44.
 7. Snyder SM, Rugino TA, Hornig M, Stein MA. Integration of an EEG biomarker with a clinician's ADHD evaluation. *Brain Behav* 2015; 5: e00330.
 8. Meisel V, Servera M, García-Banda G, Cardo E, Moreno I. Neurofeedback and standard pharmacological intervention in ADHD: a randomized controlled trial with six-month follow-up. *Biol Psychol* 2013; 94: 12-21.
 9. Moreno-García I, Meneres-Sancho S, Camacho-Vara de Rey C, Servera M. A randomized controlled trial to examine the posttreatment efficacy of neurofeedback, behavior therapy and pharmacology on ADHD measures. *J Atten Disord* 2019; 23: 374-83.
 10. Delgado ID, Etchepareborda MC, Palencia ML, Mogollón C. Cociente theta/beta (NEBA) en el diagnóstico del trastorno por déficit de atención/hiperactividad. *Rev Neurol* 2014; 58: 57-63.
 11. Markovska-Simoska S, Pop-Jordanova N. Quantitative EEG in children and adults with attention deficit hyperactivity disorder: comparison of absolute and relative power spectra and theta/beta ratio. *Clin EEG Neurosci* 2017; 48: 20-32.
 12. Ogrim G, Kropotov J, Hestad K. The QEEG theta/beta ratio in ADHD and normal controls: sensitivity, specificity, and behavioral correlates. *Psychiatry Res* 2012; 198: 482-8.
 13. Liechti MD, Valko L, Müller UC, Döhnert M, Drechsler R, Steinhausen HC, et al. Diagnostic value of resting electroencephalogram in attention-deficit/hyperactivity disorder across the lifespan. *Brain Topogr* 2013; 26:135-51.
 14. Arns M, Conners C, Kraemer H. A decade of EEG theta/beta ratio research in ADHD. *J Atten Disord* 2012; 17: 374-83.
 15. Clarke AR, Barry RJ, McCarthy R, Selikowitz M. Age and sex effects in the EEG: differences in two subtypes of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Clin Neurophysiol* 2001; 112: 815-26.
 16. Clarke AR, Barry RJ, Dupuy FE, McCarthy R, Selikowitz M, Heaven P. Childhood EEG as a predictor of adult attention-deficit/hyperactivity disorder. *Clin Neurophysiol* 2011; 122: 73-80.
 17. Poil SS, Bollmann S, Ghisleni C, O'Gorman RL, Klaver P, Ball J, et al. Age dependent electroencephalographic changes in attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD). *Clin Neurophysiol* 2014; 128: 1626-38.
 18. Moreno-García I, Delgado-Pardo G, Camacho-Vara de Rey C, Meneres-Sancho S, Servera-Barceló M. Neurofeedback, pharmacological treatment and behavioral therapy in hyperactivity: multilevel analysis of treatment effects on electroencephalography. *Int J Clin Health Psychol* 2015; 15: 217-25.
 19. Clarke AR, Barry RJ, McCarthy R, Selikowitz M. Age and sex effects in the EEG: development of the normal child. *Clin Neurophysiol* 2001; 112: 806-14.
 20. Barry RJ, Clarke AR. Spontaneous EEG oscillations in children, adolescents, and adults. *J Psychophysiol* 2009; 23: 157-73.
 21. Lubar JF, Swartwood MO, Swartwood JN, Timmermann DL. Quantitative EEG and auditory event-related potentials in the evaluation of attention-deficit/hyperactivity disorder: effects of methylphenidate and implications for neurofeedback training. *J Psychoeduc Assess* 1995; 34: 143-60.
 22. Monastra VJ, Lubar JF, Linden M, Van Deusen P, Green G, Wing W, et al. Assessing attention deficit hyperactivity disorder via quantitative electroencephalography: an initial validation study. *Neuropsychology* 1999; 13: 424-43.
 23. Swanson JN. The SNAP-IV Teacher and Parent Rating Scale. In Fine A, Kotkin R, eds. *Therapist's guide to learning and attention disorders*. San Diego, CA: Academic Press; 2003. p. 487-95.
 24. Barkley RB. *Defiant children: a clinician manual for parent training*. New York: Guilford Press; 1987.
 25. DuPaul G, Power TJ, Anastopoulos AD, Reid R. *ADHD Rating Scales DSM-IV for parents and teachers*. New York: Guilford Press; 1998.
 26. Achenbach TM, Rescorla LA. *Manual for the ASEBA: forms and profiles of CBCL (6-18)*. Burlington, VT: University of Vermont; 2001.
 27. Hermens DF, Kohn MR, Clarke SD, Gordon E, Williams LM. Sex differences in adolescent ADHD: findings from concurrent EEG and EDA. *Clin Neurophysiol* 2005; 116: 1455-63.
 28. Mazaheri A, Fassbender C, Coffey-Corina S, Hartanto TA, Schweitzer JB, Mangun GR. Differential oscillatory electroencephalogram between attention-deficit/hyperactivity disorder subtypes and typically developing adolescents. *Biol Psychiatry* 2014; 76: 422-9.
 29. González-Castro P, Álvarez L, Núñez JC, González-Pineda JA, Álvarez D, Muñoz J. Cortical activation and attentional control in ADAH subtypes. *International Journal of Clinical and Health Psychology* 2010; 10: 23-39.
 30. Arns M, Gunkelman J, Breteler M, Spronk D. EEG phenotypes predict treatment. Outcome to stimulants in children with ADHD. *J Integr Neurosci* 2008; 7: 421-38.
 31. Dupuy FE, Clarke AR, Barry RJ. EEG activity in females with attention-deficit/hyperactivity disorder. *J Neurother* 2013; 17: 49-67.
 32. Suades-González E, Forns J, García-Esteban R, López-Vicente M, Esnaola M, Álvarez-Pedrerol M, et al. Longitudinal study on attention development in primary school children with and without teacher-reported symptoms of ADHD. *Front Psychol* 2017; 8: 655.
 33. Buyck I, Wiersema JR. Task-related electroencephalographic deviances in adults with attention deficit hyperactivity disorder. *Neuropsychology* 2015; 29: 433-44.

Use of single-electrode EEG in the evaluation of attention-deficit/hyperactivity disorder

Introduction. Attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD) maintains a diagnosis based on behavioral data despite its involvement in neuropsychophysiological models. The monopolar electroencephalography (EEG) record focused on differentiating children with ADHD versus controls based on a higher theta/beta ratio has been proposed as an alternative to objectify the diagnosis and guide neurofeedback-based intervention, but its results have been controversial.

Aim. To analyze the viability of a single electrode to detect differences in the main cerebral rhythms and especially in theta/beta ratio, in children diagnosed with ADHD, analyzing the differences by subtype, age, sex and type of experimental task.

Patients and methods. 92 children (range: 7-13 years) diagnosed with ADHD were evaluated in a monopolar EEG record on four experimental tasks (rest, reading, active listening and copying a figure). Seven measures on slow and fast EEG rhythms were obtained, plus theta/beta ratio.

Results. There were no differences by ADHD subtypes. The task of greatest cognitive demand obtained the highest wave amplitudes. Smaller participants and boys presented higher amplitudes in slow waves and in theta/beta ratio in all the experimental tasks, showing a greater tendency to attentional regulation problems.

Conclusion. Monopolar record and theta/beta ratio are a viable alternative in the clinical setting to complement the evaluation of ADHD.

Key words. ADHD. Attention deficit/hyperactivity disorder. Children. Diagnosis. Monopolar EEG. Reading. Resting state. Teenagers.