

# Diferencias en la fluidez sanguínea cortical en los subtipos de TDAH. Un estudio piloto

Celestino Rodríguez, Marisol Fernández-Cueli,  
María Paloma González-Castro, Luis Álvarez  
y David Álvarez-García  
Universidad de Oviedo

En el Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad TDAH algunas investigaciones han comprobado empíricamente la existencia de patrones de activación cortical y control ejecutivo diferenciales. El objetivo de este trabajo es contrastar la existencia de perfiles diferenciales en los subtipos de TDAH a través de la evaluación del flujo sanguíneo utilizando la técnica hemoencefalográfica (nirHEG) que evalúa la oxigenación cerebral en zonas expresamente seleccionadas. Para alcanzarlo se ha utilizado una muestra de 70 estudiantes de entre 8 y 12 años (20 grupo control, 16 con predominio de déficit de atención, 17 con déficit de atención e hiperactividad y 17 con predominio de hiperactividad – impulsividad). Los resultados obtenidos muestran que los subtipos de TDAH se diferencian significativamente en las dos variables de activación cortical evaluadas con el Q-EEG (central y prefrontal) y en las cinco variables de control ejecutivo (inatención, impulsividad, tiempo de respuesta, variabilidad e índice de control ejecutivo). La evaluación del flujo sanguíneo resulta significativa en la diferenciación del trastorno del grupo control y entre los subtipos del mismo. De los resultados se concluye que los subtipos de TDAH presentan perfiles diferenciales de activación cortical y control ejecutivo.

*Palabras clave:* Flujo sanguíneo, nirHEG, activación cortical, control ejecutivo, Q-EEG.

*Cortical blood flow differences in ADHD subtypes. Preliminary study.* Attention Deficit and Hyperactivity Disorder ADHD research has empirically tested the existence of cortical activation patterns and executive control differential. The aim of this paper is to contrast the existence of differential profiles of ADHD subtypes in evaluating blood flow using the technique hemoencephalography (nirHEG), which evaluating cerebral oxygenation in specifically chosen areas. We have used a sample of 70 students aged between 8 and 12 years (20 controls, 16 with prevalence of attention deficit disorder, 17 with attention deficit hyperactivity disorder and 17 with a predominance of hyperactivity - impulsivity). The results show that the ADHD subtypes differ significantly in the two cortical activation variables evaluated with the Q-EEG (central and prefrontal) and the five variables of executive control (inattention, impulsivity, response time, variability and index executive control). The assessment of blood flow is significant in the differentiation of the disorder in the control group and between subtypes of the same. From the results it is concluded that the subtypes of ADHD have differential cortical activation profiles and executive control.

*Keywords:* Blood flow, nirHEG, cortical activation, executive control, Q-EEG.

Existe una preocupación cada vez mayor, tanto en el contexto escolar (Arco, Fernández, e Hinojo, 2004; García, Rodríguez,

Pacheco, y Díez, 2009; Jarque, Tárraga, y Mirya, 2007; Mirya, García, y Soriano, 2005; Weiler, Bernstein, Bellinger, y Waber, 2000), como en el ámbito clínico (López-Villalobos, Serrano, y Delgado, 2004; Servera, 1999), por los problemas de atención con o sin hiperactividad (TDAH). Estos problemas se diagnostican en la actualidad tenien-

do en cuenta sus síntomas conductuales que se miden por la observación clínica de la inatención, la impulsividad e hiperactividad y que se manifiestan al menos en dos ámbitos de la vida diaria (escuela y familia).

El TDAH, siguiendo el DSM-IV-TR (APA, 2002), afecta a entre el 3 y el 7% de los niños en edad escolar, y en mayor medida a los niños que a las niñas en una proporción que varía de 2 a 1 hasta 9 a 1 según las investigaciones (Caballo y Simón, 2001), presentando las niñas, con mayor frecuencia, el subtipo con predominio del déficit de atención. La evolución de los síntomas es dependiente de la sintomatología de la infancia, de modo que las personas que durante la edad escolar presentan síntomas conductuales (hiperactividad e impulsividad), tienden a disminuir en la adolescencia; sin embargo, cuando los síntomas de inatención están presentes en la infancia, estos persisten en la adolescencia y edad adulta (Brown, 2003). En este sentido, se puede deducir que tanto la epidemiología como la evolución del trastorno, varía en base al subtipo. Esta cuestión es clave a la hora de estudiar y diagnosticar el trastorno, ya que la evolución y afectación en la vida diaria y escolar se verá condicionada claramente por el subtipo de trastorno que se padezca. La pregunta que se podría plantear entonces, es si los subtipos del TDAH se podrían considerar categorías diagnósticas diferenciales (González-Castro, Álvarez, Núñez, González-Pienda, Rocés, y González-Pumariega, 1999).

Al mismo tiempo, González-Castro, Álvarez, Núñez, González-Pienda, Álvarez, y Muñiz (2010) analizaron con una muestra de 220 estudiantes, la existencia de patrones de activación cortical y control ejecutivo diferenciales para los tres subtipos de TDAH. Comparando el perfil de las puntuaciones en una prueba de activación cortical con el obtenido de una prueba de evaluación de la ejecución. Como instrumento, utilizaron el Q-EEG, adaptado por Toomin, que evalúa los niveles de activación cortical a través de la ratio beta/theta, por ser esta medida la que mejor diferencia a los sujetos con TDAH de los controles y a los TDAH combinados de

los TDAH inatentos (Ricardo-Garcell, 2004). Para la evaluación de la ejecución aplicaron el TOVA (test of variables of attention) que mide las omisiones, las comisiones, el tiempo de respuesta y la variabilidad. Demostraron empíricamente que los sujetos diagnosticados con TDAH inatento, hiperactivo-impulsivo y combinado obtienen puntuaciones significativamente diferentes en las variables de activación cortical central (Cz) y prefrontal izquierda (Fp1); y en las variables de control ejecutivo (inatención, impulsividad, variabilidad e índice general de control ejecutivo). Concretamente concluyen que los niños con TDAH subtipo inatento presentan una baja activación cortical en el córtex central y mayor tiempo de respuesta y número de omisiones; los niños con subtipo hiperactivo-impulsivo muestran baja activación cortical en el córtex prefrontal izquierdo y una mayor variabilidad y comisiones; y los niños con TDAH subtipo combinado manifiestan ambas características, baja activación cortical en el córtex central y prefrontal izquierdo y un número más elevado de omisiones, comisiones, tiempo de respuesta, variabilidad e índice general de control ejecutivo.

Estos datos apoyan el modelo de Barkley, en el que el subtipo combinado de TDAH se considera un trastorno diferente al subtipo inatento (Brown, 2006), a diferencia del modelo de Brown, en el que el déficit de atención sería la base de todos los subtipos. En esta línea Etchepareborda (2004), observa que los diferentes perfiles dentro de los subtipos, presentan algunas contradicciones diagnósticas, puesto que, desde el punto de vista neuropsicológico, se pueden identificar grupos con patrones conductuales y académicos variados. De ahí, la necesidad de comprobar empíricamente la existencia de patrones de activación diferenciales en los subtipos de TDAH, contrastando la medida de la activación cortical (Q-EEG) con otras medidas de activación como la aportada por la Resonancia Magnética Funcional -RMf-. En estudios posteriores se ha comprobado como el Q-EEG correlaciona significativamente con el flujo sanguíneo (Toomim, 2002), es decir, la ratio beta/theta es la que

mejor correlaciona con el flujo sanguíneo cerebral, medido a través de la Tomografía Computerizada por Emisión de Positrones (SPECT) (Álvarez, González-Castro, Soler, González – Pienda, y Núñez, 2004; Sergeant, Geurts, y Osterlaan, 2002).

En los últimos tiempos, se han desarrollado varias técnicas de RMf que permiten calcular el flujo sanguíneo cerebral. Una de las técnicas utilizadas es la que emplea el efecto BOLD (Blood Oxygen Level Dependent) que se basa en la susceptibilidad magnética de la hemoglobina. El cerebro utiliza un 20% del oxígeno y un 60% de la glucosa total requerido por el individuo, por consiguiente, existe una intensa relación entre la actividad cerebral, el incremento de consumo de glucosa y de oxígeno (Roy y Sherrington, 1890). En esta línea, Logothetis, Pauls, Augath, y Oeltermann (2001) observan una alta relación entre los cambios en la oxigenación de la sangre y las fluctuaciones en la actividad neuronal.

Con el fin de valorar este parámetro y ante el elevado coste y malestar que supone la RMf, sería adecuado adoptar instrumentos alternativos como la técnica hemoencefalográfica (nir-HEG) desarrollada por Hershel Toomin. Esta técnica, fue validada en un estudio instruccional sobre el control voluntario del flujo sanguíneo cerebral realizado por Yoo y Jolez (2002). El nir-HEG mide el flujo sanguíneo voluntariamente controlado en el cerebro, concretamente la oxigenación de la sangre, para ello utiliza la propiedad translúcida del tejido biológico, las luces de color rojo de baja frecuencia y de infrarrojos a través de diodos emisores de luz (optodes LED). La ratio se calcula comparando la luz roja (660 nm de longitud de onda) que es menos absorbida por la hemoglobina oxigenada con la luz infrarroja (850nm de longitud de onda), poco afectada por la oxigenación (Toomim, Mize, Yeekwong, Toomim, Marsh, y Kozlowski, 2004). Además de esta medida, el nir-HEG ofrece el Índice de Atención (AI), que indica que la intención de aumentar la ratio nir-HEG presenta fallos. Sin embargo, no existen resultados publicados sobre el AI, por lo

que es esta otra variable que habría que validar, haciéndola correlacionar con otras medidas de atención sostenida y general (TOVA).

El nir-HEG presenta una serie de ventajas frente al Q-EEG, su sencilla forma de aplicación, fácil manejo del sistema HEG a nivel informático y su menor tamaño que facilita su transportabilidad. Otra gran ventaja es que la tensión muscular y el movimiento de los ojos, no afecta a las medidas del nir-HEG (Toomin et al., 2004), mientras que tales variables condicionan la interpretación del Q-EEG. Estas ventajas, a su vez, son aplicables al nir-HEG frente a la RMf, en la que también es necesario que el sujeto permanezca inmovil, condición de gran relevancia teniendo en cuenta que la evaluación debe realizarse a niños y niñas con posible trastorno de hiperactividad.

El objetivo general de este estudio aproximativo es el de contrastar la relación entre los indicadores de activación cortical -Q-EEG- y de control ejecutivo -TOVA- con otro indicador relacionado con la fluidez sanguínea -nir-HEG-. Se plantean tres hipótesis: a) Los niños con TDAH subtipo inatento y subtipo combinado presentarán niveles de activación medidos con el nir-HEG significativamente inferiores en Fpz, y a su vez, niveles significativamente inferiores en Cz en el Q-EEG y un número de omisiones y tiempo de respuesta en el TOVA significativamente superiores a lo observado en el subtipo hiperactivo-impulsivo y el grupo control; b) Los niños con TDAH subtipo hiperactivo-impulsivo y combinado presentarán niveles significativamente inferiores de activación en Fp1 medidos con el nir-HEG y con el Q-EEG junto con un nivel de comi-siones, un nivel de variabilidad y D prima en el TOVA significativamente superiores que el subtipo inatento y el grupo control; c) el subtipo combinado presentará un *índice general de control ejecutivo* (IGCE) significativamente mayor que el obtenido por el subtipo impulsivo-hiperactivo y éste, a su vez, significativamente superior al subtipo inatento, obteniendo el grupo control los niveles más bajos en esta variable.

Tabla 1. *Medias y desviaciones típicas de los Cocientes Intelectuales (CI) y la edad en meses para los cuatro grupos utilizados.*

Grupos	CI			Edad	
	N	M	Sd	M	Sd
1: Control	20	101,30	9,18	119,75	15,95
2: TDAH-Inatento	16	99,69	11,25	124,38	14,61
3: TDAH-Combinado	17	99,47	12,64	115,35	15,56
4: TDAH-Hiperactivo	17	99,94	10,79	117,59	13,37
<b>Muestra Total</b>	<b>70</b>	<b>100,16</b>	<b>10,74</b>	<b>119,21</b>	<b>14,99</b>

### Método

#### Participantes

Participaron en esta investigación 70 estudiantes, 24 mujeres (34,3%) y 46 hombres (65,7%), de entre 8 y 12 años de edad, clasificados en cuatro grupos: Grupo 1 (grupo control), estudiantes sin déficit de atención ni hiperactividad (n=20); Grupo 2, estudiantes con TDAH inatento (n=16); Grupo 3, estudiantes con TDAH combinado (n=17); y Grupo 4, estudiantes con TDAH impulsivo-hiperactivo (n=17). Todos los estudiantes presentaban un CI igual o superior a 80 (ver Tabla 1), evaluado con el WISC-IV (Wechsler, 1980). Los participantes asistían a colegios públicos y concertados de la Comunidad Autónoma del Principado de Asturias y no recibían ningún tipo de tratamiento farmacológico.

Los sujetos de los tres grupos con TDAH fueron identificados inicialmente en el Servicio de Pediatría del Hospital Universitario Central de Asturias, mediante los criterios del DSM-IV-TR (APA, 2002). Con el fin de asegurar lo máximo posible la correcta asignación de los estudiantes a dichos grupos, se aplicó la escala de Evaluación del Déficit de Atención con Hiperactividad (EDAH) de Farré y Narbona (1997) a los padres y profesores de los alumnos. Cuando los resultados de sus observaciones coincidían (registros en cada subtipo superiores al 90%) se iban asignando a su grupo de referencia. Finalmente, cada alumno quedaba asignado definitivamente a un grupo concre-

to de TDAH cuando coincidían los diagnósticos pediátrico y psicoeducativo.

Los análisis realizados respecto a los participantes de esta investigación reflejan que la muestra es homogénea, no existiendo diferencias estadísticamente significativas entre los sujetos ( $\lambda_{\text{Wilks}} = 0,948$ ;  $F_{6,130} = 0,590$ ;  $p = 0,738$ ;  $\eta^2 = 0,026$ ) en función del CI (0,956) ni la edad ( $p = 0,360$ ).

#### Instrumentos

La evaluación del TDAH, se realiza a tres niveles, evaluación de los síntomas, evaluación de la ejecución y evaluación de la activación.

La evaluación de los síntomas del TDAH se lleva a cabo con la escala EDAH a padres y profesores, descrita en el apartado anterior.

La evaluación de la activación cortical se realiza con dos instrumentos: el BIOCOMP y el nir-HEG (hemoencefalografía). El BIOCOMP, sistema EEG cuantificado, adaptado por Toomin (Q-EEG) proporciona los niveles de activación cortical a través de la ratio beta/theta. La evaluación con el Q-EEG se realiza en dos zonas cerebrales, la zona central del córtex (Cz) que nos indica si existe o no déficit de atención si la ratio es inferior a 0,5 y en la zona prefrontal izquierda (Fp1) que se interpreta como déficit en la capacidad de autocontrol, asimilable a hiperactividad cuando los valores obtenidos son inferiores a 0,5. El Q-EEG nos aporta también una medida de fiabilidad a través de un registro electromiográfico (EMG) que si es

superior a 5 invalida la prueba. Para obtener estos valores se colocan a los sujetos los electrodos de medida en Cz y Fp1 sucesivamente con el fin de valorar la ratio beta/theta; dos electrodos de control en el lóbulo izquierdo – derecho respectivamente y un electrodo en el antebrazo derecho para obtener la medida electromiográfica (Álvarez, González-Castro, Núñez, y González-Pienda, 2007).

La técnica hemoencefalográfica (nir-HEG) (Toomim et al., 2004), mide la oxigenación de la sangre en zonas expresamente escogidas. La fuente de luz, y el receptor de luz (optode) se colocan en una diadema separados entre sí por tres centímetros. La intensidad de penetración efectiva en el tejido cortical está aproximadamente 1,5cm debajo del punto medio entre los optodes. La medición se realiza durante 35 segundos en Fp1 y en FpZ sucesivamente.

Por último, la evaluación de la ejecución con el TOVA en su versión visual. El TOVA consiste en la presentación en la pantalla de un ordenador, durante una media de 22,5 minutos, de dos estímulos, el primero ante el que el sujeto debe pulsar un botón, es la aparición de un cuadro en el borde superior; el segundo, ante el que el sujeto no debe realizar ninguna acción, es la aparición de un cuadro en el borde inferior. El estudiante utiliza el pulsador con la mano que emplea para escribir. El TOVA controla las omisiones, comisiones, tiempo de respuesta y variabilidad. Un indicador de déficit de atención sería la obtención de una desviación estándar por debajo de la media en omisiones y tiempo de respuesta, de la impulsividad si la desviación estándar por debajo de la media se presenta en comisiones y de la hiperactividad cuando esto se produce en variabilidad. Otros indicadores a tener en cuenta en el TOVA son el valor D prima (D') y el Índice General de Control Ejecutivo (Álvarez et. al., 2007).

### *Diseño*

Se utiliza un diseño ex-post-facto descriptivo de cuatro grupos, tres correspondientes a los subtipos de TDAH y uno sin TDAH, que funcionará como grupo control.

Los datos obtenidos han sido tratados mediante Análisis Multivariados de la Varianza (MANCOVA) utilizando el paquete estadístico SPSS 17.0. Las variables dependientes fueron las medidas de activación cortical, fluidez sanguínea y control ejecutivo, la pertenencia a los cuatro grupos fue la variable independiente, y la edad y el CI se utilizaron como covariables. Asimismo, para determinar entre qué grupos se producían las diferencias se utilizó la prueba de comparaciones múltiples de Scheffe.

### *Procedimiento*

Una vez obtenido el consentimiento de los padres, en primer lugar, se realiza el diagnóstico del TDAH y subtipo del mismo a través de la prueba mencionada (EDAH). Se distribuyen los sujetos en base a los resultados obtenidos en los grupos, y a continuación se lleva a cabo la evaluación de la ejecución con el TOVA, realizando una práctica de tres minutos previa a la realización de la prueba.

El siguiente paso fue la evaluación de la activación con el nir-HEG y el Q-EEG. Al iniciar la evaluación con el nir-HEG se le dice al sujeto que debe permanecer tranquilo y fijándose en los números que aparecen en el lado derecho de la pantalla. A continuación se realiza la evaluación con el Q-EEG indicando al sujeto que debe permanecer relajado, sin moverse, con los ojos abiertos y fijándose en la pantalla del ordenador. Durante la realización de la evaluación, los sujetos no están medicados para evitar la alteración del resultado y el efecto de variabilidad entre fármacos.

### *Resultados*

En primer lugar, se muestran los resultados de la evaluación de la activación cortical para las dos variables dependientes: activación central y prefrontal (Cz y Fp1). En segundo lugar aparecen los resultados de la evaluación de la fluidez sanguínea con el nir-HEG para las dos variables dependientes: activación prefrontal central (FpZ) y prefrontal izquierda (Fp1). En tercer lugar se

recogen los resultados del control ejecutivo para las seis variables dependientes (inatención, tiempo de respuesta, impulsividad, variabilidad, D prima e índice general de control ejecutivo).

#### Activación cortical

En la Tabla 2 se aportan las medias y desviaciones típicas correspondientes a los dos indicadores o medidas de activación cortical y las medidas de fiabilidad correspondientes a cada una de ellas, obtenidas con el Q-EEG.

El Análisis Multivariado de la Covarianza (MANCOVA) muestra que los efectos principales de las variables independientes (los subtípos) sobre las dependientes (activación central y prefrontal) son estadísticamente significativos ( $\lambda_{\text{Wilks}} = 0,118$ ;  $F_{12,159} = 16,424$ ;  $p = 0,000$ ;  $\eta^2 = 0,509$ ). La cuantía de esta relación es ciertamente relevante, pues un 50,9% de la variabilidad es atribuible a las diferencias entre los grupos, una vez controlado el efecto de la edad y el CI. Con respecto a las covariables, hay que indicar que el CI no muestra efectos significativos ( $\lambda_{\text{Wilks}} = 0,973$ ;  $F_{4,60} = 0,417$ ;  $p = 0,795$ ;  $\eta^2 = 0,027$ ), al igual que la edad ( $\lambda_{\text{Wilks}} = 0,967$ ;  $F_{4,60} = 0,510$ ;  $p = 0,720$ ;  $\eta^2 = 0,033$ ), pero si el sexo aunque con un tamaño del efecto pequeño ( $\lambda_{\text{Wilks}} = 0,834$ ;  $F_{12,159} = 2,993$ ;  $p = 0,026$ ;  $\eta^2 = 0,166$ ).

En cuanto al análisis de los efectos inter-sujetos, los resultados aportados por el MANCOVA muestran diferencias estadísticamente significativas entre los cuatro grupos, tanto para «Cz» ( $F_{3,214} = 35,934$ ;  $p = 0,000$ ;  $\eta^2 = 0,631$ ), como para «Fp1» ( $F_{3,214}$

$= 43,381$ ;  $p = 0,000$ ;  $\eta^2 = 0,674$ ). Al mismo tiempo existen diferencias estadísticamente significativas en el EMGFp1 ( $F_{3,214} = 3,145$ ;  $p = 0,031$ ;  $\eta^2 = 0,130$ ), pero no se dan tales diferencias en el EMGCz ( $F_{3,214} = 1,497$ ;  $p = 0,224$ ;  $\eta^2 = 0,067$ ).

Los resultados obtenidos mediante las pruebas post-hoc de comparaciones múltiples de Scheffe indican que, en el caso de la variable «Cz», existen diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control y el grupo de TDAH-Inatento ( $p=0,000$ ), el TDAH-Hiperactivo ( $p=0,029$ ) y el Combinado ( $p=0,000$ ), entre el Inatento y el Hiperactivo ( $p=0,001$ ), y el Hiperactivo y el combinado ( $p=0,000$ ). En cambio, para la variable «Fp1», existen diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control y el TDAH-Hiperactivo ( $p=0,000$ ) y el combinado ( $p=0,000$ ), entre el Inatento y el Hiperactivo ( $p=0,000$ ), y entre el Inatento y el combinado ( $p=0,000$ ).

Los resultados para variable EMGFp1 muestran diferencias estadísticamente significativas en la comparación entre el grupo control y el TDAH-inatento ( $p=0,023$ ).

#### Fluidez sanguínea cortical medida con el nir-HEG

En la Tabla 3 se aportan las medias y desviaciones típicas correspondientes a los dos indicadores o medidas de activación cortical obtenidas con el nir-HEG.

El Análisis Multivariado de la Covarianza (MANCOVA) muestra que los efectos principales de las variables independientes (los subtípos) sobre las dependientes (acti-

Tabla 2. Medias y desviaciones típicas de las medidas de activación cortical central (Cz) y pre-frontal (Fp1) y para los valores del EMG en los cuatro grupos con el Q-EEG.

Grupos	Cz			EMGCz		Fp1		EMGFp1	
	n	M	Sd	M	Sd	M	Sd	M	Sd
1: Control	20	,58	,076	3,31	,83	,56	,075	3,83	,84
2: TDAH-Inatento	16	,44	,032	2,88	,88	,53	,035	2,78	1,12
3: TDAH-Combinado	17	,40	,048	3,48	1,24	,39	,036	3,20	1,05
4: TDAH-Hiperactivo	17	,52	,044	2,78	,98	,40	,046	3,08	,93

Tabla 3. *Medias y desviaciones típicas de las medidas de la fluidez sanguínea cortical pre-frontal central (Fpz) y pre-frontal izquierda (Fp1) en los cuatro grupos con el nir-HEG.*

Grupos	Fpz		IAFpz		Fp1		IAFp1		
	N	M	Sd	M	Sd	M	Sd	M	Sd
1: Control	20	105,26	22,46	71,17	6,87	98,28	14,12	69,83	8,64
2: TDAH-Inatento	16	80,26	8,40	70,88	10,55	85,57	4,62	70,85	9,48
3: TDAH-Combinado	17	76,26	6,69	70,79	10,38	72,13	5,39	72,79	7,72
4: TDAH-Hiperactivo	17	88,82	12,45	70,24	7,55	76,97	7,66	70,12	8,12

vación prefrontal central y prefrontal izquierda) son estadísticamente significativos ( $\lambda_{\text{Wilks}} = 0,321$ ;  $F_{12,159} = 7,105$ ;  $p = 0,000$ ;  $\eta^2 = 0,315$ ). La cuantía de esta relación es ciertamente relevante, pues un 31,59% de la variabilidad es atribuible a las diferencias entre los grupos, una vez controlado el efecto de la edad y el CI. Con respecto a las covariables, el CI no muestra efectos significativos ( $\lambda_{\text{Wilks}} = 0,973$ ;  $F_{4,60} = 0,424$ ;  $p = 0,791$ ;  $\eta^2 = 0,027$ ), al igual que la edad ( $\lambda_{\text{Wilks}} = 0,876$ ;  $F_{4,60} = 2,118$ ;  $p = 0,090$ ;  $\eta^2 = 0,124$ ) y el sexo ( $\lambda_{\text{Wilks}} = 0,847$ ;  $F_{4,60} = 2,712$ ;  $p = 0,038$ ;  $\eta^2 = 0,153$ ).

En cuanto al análisis de los efectos inter-sujetos, los resultados aportados por el MANCOVA muestran diferencias estadísticamente significativas entre los cuatro grupos, tanto para «Fpz» ( $F_{3,214} = 27,88$ ;  $p = 0,000$ ;  $\eta^2 = 0,409$ ), como para «Fp1» ( $F_{3,214} = 14,54$ ;  $p = 0,000$ ;  $\eta^2 = 0,570$ ). No existen diferencias estadísticamente significativas para IAFp1 ( $F_{3,214} = 0,597$ ;  $p = 0,619$ ;  $\eta^2 = 0,028$ ) ni para IAFpz ( $F_{3,214} = 0,150$ ;  $p = 0,929$ ;  $\eta^2 = 0,007$ ).

Los resultados obtenidos mediante las pruebas de comparaciones múltiples de Scheffe indican que, en el caso de la variable «Fpz», existen diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control y el TDAH-Inatento ( $p=0,000$ ), el Combinado ( $p=0,000$ ) y el Hiperactivo ( $p=0,012$ ). En cambio, para la variable «Fp1», existen diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control y el TDAH-Inatento ( $p=0,002$ ), el TDAH-Combinado ( $p=0,000$ ) y el TDAH-Hiperactivo ( $p=0,000$ ), y entre el Inatento y el Combinado ( $p=0,001$ ).

#### Control ejecutivo

En la Tabla 4 se aportan las medias y desviaciones típicas correspondientes a los seis indicadores del control ejecutivo (inatención, tiempo de respuesta, impulsividad, variabilidad, D prima e índice general de control ejecutivo). Para interpretar correctamente esta información proporcionada por el TOVA, conviene tener en cuenta que cuanto menor sea la puntuación mayor es el déficit, y viceversa.

Tabla 4. *Medias y desviaciones típicas de las medidas de control ejecutivo para los cuatro grupos.*

Grupos	INA M(Sd)	TRE M(Sd)	IMP M(Sd)	VAR M(Sd)	IGCE M(Sd)
1: Control	99,85(8,67)	99,00(11,36)	97,85(12,03)	96,45(10,82)	,20(1,48)
2: TDAH-Inatento	80,19(7,85)	77,13(5,06)	90,69(8,97)	88,38(5,58)	-,99(,78)
3: TDAH-Combinado	72,71(8,86)	73,76(7,24)	83,47(8,71)	71,00(5,34)	-3,77(1,66)
4: TDAH-Hiperactivo	87,12(8,165)	87,00(8,94)	85,65(10,68)	73,41(4,87)	-2,30(1,05)

Nota: INA = Inatención; TRE = Tiempo de Respuesta; IMP = Impulsividad; VAR = Variabilidad; IGCE = Índice General de Control Ejecutivo.

El Análisis Multivariado de la Covarianza (MANCOVA) reveló diferencias estadísticamente significativas al comparar el control ejecutivo en función de los cuatro grupos ( $\lambda_{\text{Wilks}} = 0,094$ ;  $F_{18,164} = 11,922$ ;  $p = 0,000$ ;  $\eta^2 = 0,545$ ), lo cual sugiere que el 54,5% de la variabilidad en estas medidas es atribuible a las diferencias entre los grupos. Asimismo, no se encuentran diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las covariables, por lo que la edad de los participantes ( $\lambda_{\text{Wilks}} = 0,915$ ;  $F_{3,63} = 0,894$ ;  $p = 0,506$ ;  $\eta^2 = 0,085$ ) y el CI ( $\lambda_{\text{Wilks}} = 0,904$ ;  $F_{3,63} = 1,025$ ;  $p = 0,419$ ;  $\eta^2 = 0,096$ ) y el sexo ( $\lambda_{\text{Wilks}} = 0,934$ ;  $F_{3,63} = 0,683$ ;  $p = 0,664$ ;  $\eta^2 = 0,066$ ) no son variables que expliquen significativamente la variabilidad observada en el control ejecutivo (TOVA).

Los MANCOVA tomados individualmente muestran diferencias estadísticamente significativas para las seis medidas: «inatención» ( $F_{3,63} = 33,87$ ;  $p = 0,000$ ;  $\eta^2 = 0,617$ ), «impulsividad» ( $F_{3,63} = 6,71$ ;  $p = 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,242$ ), «tiempo de respuesta» ( $F_{3,63} = 31,41$ ;  $p = 0,000$ ;  $\eta^2 = 0,599$ ), «variabilidad» ( $F_{3,63} = 44,97$ ;  $p = 0,000$ ;  $\eta^2 = 0,682$ ), «D prima» ( $F_{3,63} = 19,05$ ;  $p = 0,000$ ;  $\eta^2 = 0,476$ ) e «IGCE» ( $F_{3,63} = 29,92$ ;  $p = 0,000$ ;  $\eta^2 = 0,588$ ).

La prueba post-hoc de comparaciones múltiples de Scheffe muestra los siguientes resultados:

- a) En «inatención» existen diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control y el TDAH-Inatento ( $p = 0,000$ ), el Hiperactivo ( $p = 0,000$ ) y el combinado ( $p = 0,000$ ), y entre el Hiperactivo y el combinado ( $p = 0,000$ ).
- b) Para el «tiempo de respuesta» las diferencias son estadísticamente significativas entre el grupo control y el TDAH-Inatento ( $p = 0,018$ ), el hiperactivo ( $p = 0,000$ ) y el combinado ( $p = 0,000$ ), entre el TDAH-Inatento y el Hiperactivo ( $p = 0,019$ ) y entre el hiperactivo y el combinado ( $p = 0,001$ ).
- c) En «impulsividad» existen diferencias estadísticamente significativas

entre el grupo control y el TDAH-Hiperactivo ( $p = 0,008$ ) y entre el grupo control y el TDAH-Combinado ( $p = 0,001$ ).

- d) En «variabilidad» existen diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control y el TDAH-Inatento ( $p = 0,018$ ), el Hiperactivo ( $p = 0,000$ ) y el Combinado ( $p = 0,000$ ), entre el TDAH-Inatento y el Hiperactivo ( $p = 0,000$ ) y entre el Inatento y el Combinado ( $p = 0,000$ ).
- e) En «D prima» existen diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control y el TDAH Hiperactivo ( $p = 0,005$ ), entre el grupo control y el TDAH-Combinado ( $p = 0,000$ ), entre el TDAH-Inatento y el TDAH-Hiperactivo ( $p = 0,032$ ), y entre el Inatento y el Combinado ( $p = 0,000$ ).
- f) En cuanto al «IGCE», las comparaciones resultan estadísticamente significativas entre el grupo control y el TDAH-combinado ( $p = 0,000$ ), entre el grupo control y el TDAH-Hiperactivo ( $p = 0,000$ ), entre el TDAH-Inatento y el Hiperactivo ( $p = 0,050$ ), entre el TDAH-Inatento y el Combinado ( $p = 0,000$ ), y entre el TDAH-Hiperactivo y el Combinado ( $p = 0,018$ ).

## Discusión y conclusiones

El objetivo de este trabajo ha sido contrastar si existen patrones de activación cortical y control ejecutivo diferenciales para los tres subtipos TDAH y evaluar tales perfiles utilizando como instrumento el nirHEG.

Los resultados obtenidos muestran que los cuatro grupos de sujetos se diferencian significativamente entre sí en las dos variables de activación cortical (central y prefrontal) evaluadas con el Q-EEG y en las seis de control ejecutivo (inatención, impulsividad, tiempo de respuesta, variabilidad, D prima e índice general de control ejecutivo). Las comparaciones múltiples entre grupos



confirman las hipótesis planteadas y apoyan la idea de categorías diagnósticas diferenciales (Brown, 2006) lo que se refleja en diferentes perfiles de activación cortical y control ejecutivo.

En cuanto a la fluidez sanguínea y el nir-HEG, existen diferencias entre los sujetos con TDAH y del grupo control de forma significativa, además de las diferencias encontradas entre los subtipos del trastorno, con la limitación del tamaño de muestra utilizado, por ejemplo entre el subtipo combinado y el inatento para la variable Fp1. Además, los sujetos con TDAH-Inatento obtienen resultados asimilables al grupo control cuando la medida con el nir-HEG se realiza en el córtex prefrontal izquierdo. En referencia a la variable FpZ, se puede observar que los sujetos con TDAH-Inatento y con TDAH-Combinado obtienen puntuaciones más bajas en esta variable relacionada con la capacidad atencional, que es mayor en el grupo control y en el TDAH-Hiperactivo-impulsivo.

Un aspecto secundario de este trabajo ha sido conocer tentativamente la fiabilidad de los datos normalizados para la interpretación de los registros aportados por la ratio nir-HEG, de cara tanto al uso clínico (en el diagnóstico e intervención con TDAH) como a nivel de investigación. En esta investigación se han empleado como datos normalizados para la interpretación del nir-HEG, media 100 y desviación típica 20, por ser estos los valores empleados por Toomin (2004); sin embargo en sus investigaciones el autor tiene como objetivo comprobar la eficacia del nir-HEG como instrumento de intervención con el que mejorar la activación cortical de los sujetos con TDAH. Teniendo en cuenta las diferentes utilidades de este instrumento, es necesario, tras analizar los resultados de los cuatro grupos, reconsiderar estos valores de cara tanto al diagnóstico del trastorno como a la diferenciación entre los subtipos del mismo.

Al valorar el grado de activación cortical a través del flujo sanguíneo, no se han encontrado diferencias significativas en la variable Índice Atencional entre el grupo control y el TDAH en ninguno de los subtipos del mis-

mo, lo cual, podría deberse al tiempo empleado para la evaluación (35 segundos) por lo que resultaría interesante valorar este índice en un periodo de tiempo prolongado y durante la realización de una tarea de ejecución como podría ser el TOVA.

A continuación se discuten las hipótesis planteadas para los tres aspectos evaluados: activación cortical, fluidez sanguínea y control ejecutivo, en sus respectivas variables.

Por lo que hace referencia a las hipótesis planteadas, en relación a la activación cortical, en la primera se mantenía que los subtipos inatento y combinado presentarían una activación cortical en «Cz» significativamente inferior a la observada en el subtipo impulsivo-hiperactivo y en el grupo control. En cuanto a la segunda hipótesis, en la que se mantenía que los subtipos impulsivo-hiperactivo y combinado mostrarían una activación cortical en «Fp1» significativamente inferior a la observada en el subtipo inatento, así como en el grupo control, los resultados obtenidos apoyan ambas hipótesis.

A nivel general se puede afirmar que las diferencias entre los cuatro subtipos de TDAH son claras respecto a los niveles de activación cortical. Niveles de activación inferiores al 50% en la zona central del córtex (Cz) indican baja atención sostenida, tanto si el déficit de atención es aislado como si va asociado a hiperactividad. Por el contrario, cuando estos niveles de activación son excesivamente bajos en el área prefrontal izquierda (Fp1), entonces el déficit va a estar más relacionado con el control ejecutivo. Por este motivo, no aparecen diferencias significativas entre el grupo control y el TDAH-Inatento en Fp1, puesto que el peso del déficit está en el área cortical central, ni entre los grupos Hiperactivo-impulsivo y el Combinado porque la clave del déficit es la propia hiperactividad, la cual, condiciona a los dos grupos.

En cuanto a la fluidez sanguínea cortical, en la primera hipótesis se mantenía que el TDAH-Inatento y el combinado mostrarían una activación cortical en FpZ significativamente inferior a la obtenida por el TDAH-Hiperactivo y el grupo control. Los resultados muestran que, efectivamente las

medias de los estudiantes con TDAH-Inatento y combinado son inferiores, aunque no de forma significativa; el grupo control también muestra niveles, en este caso, significativamente mayores en esta variable que el TDAH-Inatento y el Combinado.

En la segunda hipótesis se mantenía que los subtipos Hiperactivo-Impulsivo y Combinado mostrarían una activación cortical en «Fp1» significativamente inferior a la observada en el inatento, así como en el grupo control. Los resultados obtenidos apoyan dicha hipótesis en lo referente a la comparación entre los subtipos Combinado e Inatento. En cuanto al grupo control, éste es significativamente superior en activación prefrontal izquierda «Fp1» respecto de los tres subtipos del TDAH.

En cuanto a las hipótesis planteadas respecto de las seis medidas de control ejecutivo, los datos obtenidos apoyan dichas hipótesis. Así, los subtipos de TDAH-Inatento y combinado presentaron un nivel de *omisiones* significativamente superior al obtenido por el Hiperactivo-impulsivo; en segundo lugar los subtipos Hiperactivo-Impulsivo y combinado mostraron un nivel de *comisiones* superior, pero no estadísticamente significativo, al obtenido por el inatento; los subtipos inatento y combinado presentaron un *tiempo de respuesta* significativamente superior al subtipo impulsivo-hiperactivo;

además los subtipos impulsivo-hiperactivo y combinado mostraron un nivel de *variabilidad* significativamente superior al obtenido por el subtipo inatento; y finalmente el subtipo combinado presentó un IGCE significativamente mayor que el obtenido por el subtipo Hiperactivo-impulsivo y éste, a su vez, significativamente superior al inatento.

En las comparaciones establecidas con el grupo control, en las seis variables de control ejecutivo, el grupo control obtiene puntuaciones significativamente menores que los tres subtipos, salvo en el caso de la comparación con el subtipo TDAH-Inatento, para la variables comisiones, D prima e Índice general de control ejecutivo. Todo ello confirma las hipótesis planteadas, ya que estas variables son indicadores de la hiperactividad y la impulsividad que no estaría presente en el subtipo Inatento (González-Castro et al., 2010).

En la Figura 1 se muestra una representación gráfica correspondiente a las características, de los cuatro grupos de sujetos en las variables de activación cortical, fluidez sanguínea y control ejecutivo en puntuaciones estandarizadas Z ( $M=0$  y  $Sd=1$ ). En esta figura se pueden apreciar claramente perfiles muy diferentes para cada uno de los cuatro grupos de sujetos.

En definitiva, los subtipos de TDAH obtienen patrones diferenciales de activación

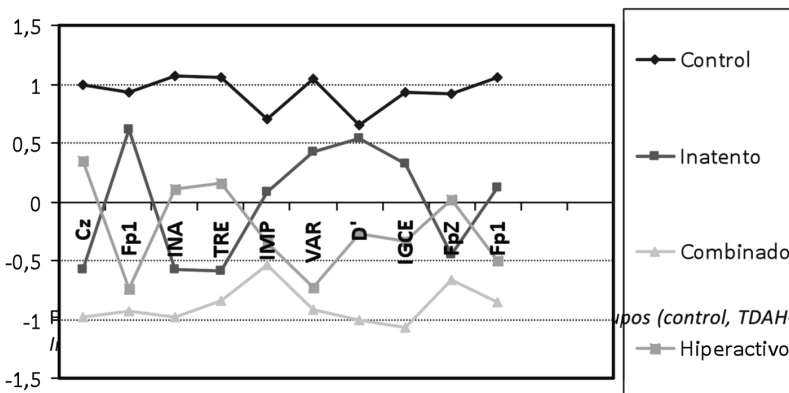


Figura 1. Perfiles diferenciales correspondientes a los cuatro grupos (control, TDAH-Inatento, TDAH-Hiperactivo y TDAH-Combinado).

cortical y control ejecutivo, que pueden explicar sus diferencias comportamentales y académicas. Tales diferencias deben ser tenidas en cuenta tanto en la evaluación del trastorno como en la intervención, que para ser efectiva, debe adaptarse a las características concretas del trastorno. Teniendo en cuenta que, como apuntamos, son diferentes en base al subtipo del mismo y precisan por tanto un mayor énfasis en el autocontrol para el subtipo hiperactivo-impulsivo, en el control atencional en el subtipo inatento y en ambos para la intervención en TDAH-Combinado.

Finalmente, a la hora de generalizar estas conclusiones a partir de los datos obtenidos, es preciso tener en cuenta algunas limi-

taciones de la investigación. En primer lugar, es necesario aumentar el tamaño de muestra con el fin de que los resultados puedan considerarse más fiables. En segundo lugar, convendría contrastar los resultados obtenidos con estas pruebas con los aportados por otras validadas empíricamente como el SPECT o la RMf, para valorar el grado de activación cortical a través del flujo sanguíneo y su correlación con los valores aportados por el HEG. En tercer lugar, en investigaciones futuras sería adecuado controlar variables y problemas asociados al TDAH (Rodríguez et al., 2009) que podrían influir en los resultados obtenidos (como la ansiedad o la depresión).

## Referencias

- Álvarez, L., González-Castro, P., Núñez, J.C., y González-Pienda, J.A. (2007). *Prácticas de Psicología de la educación: evaluación e intervención psicoeducativa*. Madrid: Pirámide.
- Álvarez, L., González-Castro, P., Soler, E., González-Pienda, J.A., y Núñez, J.C. (2004). *Aprender a atender (un enfoque aplicado)*. Madrid: CEPE.
- Álvarez, L., González-Castro, P., Núñez, J.C., González-Pienda, J.A., y Bernardo, A. (2008). Evaluación y control de la activación cortical en los déficit de atención sostenida. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 8, 509-524.
- American Psychiatric Association (2002). *Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos Mentales* (4ª Ed. Rev.). Barcelona: Masson.
- Arco, J.L., Fernández, F.D., e Hinojo, F.J. (2004). Trastorno por déficit de atención con hiperactividad: intervención psicopedagógica. *Psicothema*, 16, 408-414.
- Brown, E.T. (2003). *Trastornos por déficit de atención y comorbilidades en niños, adolescentes y adultos*. Barcelona: Masson.
- Brown, E.T. (2006). *Trastorno por déficit de atención: una mente desenfocada en niños y adultos*. Barcelona: Masson.
- Caballo, V. y Simón, M.A. (2001). *Manual de Psicología clínica infantil y adolescente*. Madrid: Pirámide.
- Etchepareborda, M.C. (2004). Bases experimentales para la evaluación de la atención en el trastorno por déficit de atención con hiperactividad. *Revista de Neurología*, 38(1), 137-144.
- Farré, A., y Narbona, J. (1997). *EDAH. Escala de Evaluación del Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad*. Madrid: TEA.
- García, J. N., Rodríguez, C., Pacheco, D., y Díez, C. (2009). Influencia del esfuerzo cognitivo y variables relacionadas con el TDAH en el proceso y producto de la composición escrita. Un estudio experimental. *Estudios de Psicología*, 30(1), 31-50.
- González-Castro, P., Álvarez, L., Núñez, J. C., González-Pienda, J.A., Álvarez, D., y Muñoz, J. (2010). Cortical activation y attentional control in ADAH subtypes. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 10(1), 23-39.
- González-Castro, P., Álvarez, L., Núñez, J.C., González - Pienda, J.A., Rocas, C., y González-Pumariaga (1999). Atención y Activación. *Aula abierta*, 73, 21-38.
- Jarque, S., Tárraga, R. y Mirya, A. (2007). Conocimientos, concepciones erróneas y lagunas de los maestros sobre el trastorno por déficit de atención con hiperactividad. *Psicothema*, 19, 585-590.
- Logothetis, N. K., Pauls, J., Augath, M., Trinath, T., y Oeltermann, A. (2001). Neurophysiological investigation of the basis of the fMRI signal. *Nature*, 412, 150-157.
- López-Villalobos, J.A., Serrano, I. y Delgado, J. (2004). Trastorno por déficit de atención con

- hiperactividad: comorbilidad con trastornos depresivos y de ansiedad. *Psicothema*, 16(3), 402-407.
- Mirya, A., García, R., y Soriano, M. (2005). Habilidad narrativa de estudiantes con trastorno de déficit de atención con hiperactividad. *Psicothema*, 17, 227-232.
- Ricardo-Garcell, J. (2004). Aportes del electroencefalograma convencional y el análisis de frecuencias para el estudio del trastorno por déficit de atención (primera parte). *Salud Mental*, 27(1), 22-27.
- Rodríguez, C., Álvarez, D., González-Castro, P., González-Pianda, J. A., Núñez-Pérez, J.C., Bernardo, A., y Álvarez, L. (2009). El género y el Cociente Intelectual como factores mediadores en el TDAH y las Dificultades de Aprendizaje. *Aula Abierta*, 37(1), 19-30.
- Roy, C.S. y Sherrington, C.S. (1890). On the regulation of de blood-supply of the brain. *Journal of Physiology*, 11, 85-108.
- Sergeant, J.A., Geurts, H. y Osterlaan, J. (2002). How specific in a deficit of executive functioning for Attention-Deficit/hyperactivity Disorder? *Behavioural Brain Research*, 130, 3-28.
- Servera, M. (1999). Alteraciones atencionales. En E.J., Munar, J. Roselló, y A. Sánchez-Cabaco (Coords.), *Atención y percepción* (pp. 151-178). Madrid: Alianza Editorial.
- Toomin, H. (2002). Neurofeedback with hemoencephalography. *Explore for the Professional*, 11(2), 19-21.
- Toomim, H., Mize, W., Yeekwong, P., Toomim, M., Marsh, H., y Kozlowski, G. P. (2004). Intentional increase of cerebral blood oxygenation using Hemoencephalography: An efficient brain exercise therapy. *Journal of Neurotherapy*, 8(3), 5-21.
- Yoo, S. S., y Jolez, F. A. (2002). Functional MRI for neurofeedback: Feasibility study on a motor task. *Neuroreport*, 13(11), 1377-1381.
- Weiler, M.D., Bernstein, J.H., Bellinger, D.C. y Waber, D.P. (2000). Processing speed in children with attention deficit hyperactivity disorder, inattentive type. *Child Neuropsychology*, 6(3), 218-234.
- Weschler, D. (1980). *Escala de inteligencia para niños de Weschler Revisada (WISC-R)*. Madrid: TEA.