

# Non-pharmacological intervention on inhibitory control in adolescents with attention-deficit / hyperactivity disorder

## Intervención no farmacológica sobre el control inhibitorio en adolescentes con trastorno por déficit de atención/hiperactividad

Hernández-Torres Daniel <sup>a</sup>  | Licona-Oliver Alma <sup>b</sup>

a. Unidad de Investigación Interdisciplinaria en Ciencias de la Salud y Educación. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.

b. Instituto de Posgrado en Psicoterapia Cognitivo Conductual

### Correspondence

Daniel Hernández Torres. Unidad de Investigación Interdisciplinario en Ciencias de la Salud y Educación. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Avenida de los Barrios No. 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, C.P. 54090, México.

 danielht@comunidad.unam.mx

### Abstract

One of the main neuropsychological features in Attention-Deficit / Hyperactivity Disorder (ADHD) are the failures in executive functioning, especially inhibitory control (IC), which is important for the stopping of an ongoing response, permits a delay in the decision to respond and protects this period of time. Due to these deficits, teenage population with ADHD are more susceptible to present behaviors such as substance abuse, high-risk sexual behavior and the presence of comorbidities. The aim of the present study was to conduct a review of the last 10 years about the non-pharmacological interventions on IC in adolescents with ADHD. An electronic search was made in *Scopus*, *PubMed* and *Web of Sciences* databases, combining the next keywords: "intervention", "inhibitory control", "adolescents", "teenagers" and "ADHD". Articles were selected from 2010 to 2020. Transcranial magnetic stimulation was the most reported non-pharmacological intervention for enhancing the IC in adolescents with ADHD, followed by physical exercise and neurofeedback. The lack of literature about this topic is a relevant issue to generate future research lines about the treatment of executive functions in adolescents with ADHD.

**Keywords:** ADHD, executive functions, inhibitory control, non-pharmacological intervention.

### Resumen

Una de las principales características neuropsicológicas del Trastorno por Déficit de Atención/ Hiperactividad (TDAH) son las fallas en las funciones ejecutivas, principalmente en el Control Inhibitorio (CI), la cual es importante para la detención de una respuesta en marcha, permite una demora en la decisión para responder y protege este período de tiempo. Derivado de estas fallas, la población adolescente con TDAH es la más susceptible a presentar conductas como el abuso de sustancias, la conducta sexual de riesgo y la presencia de comorbilidades. El objetivo del presente trabajo fue revisar la literatura de los últimos 10 años acerca de las intervenciones no farmacológicas sobre el CI en adolescentes con TDAH. Se realizó una búsqueda electrónica en las bases de datos: *Scopus*, *PubMed* y *Web of Science*, combinando las siguientes palabras clave: "intervention", "inhibitory control", "adolescents", "teenagers" y "ADHD". Se seleccionaron artículos publicados desde el 2010 hasta el 2020. La estimulación magnética transcraneal es la intervención no farmacológica más reportada para mejorar el CI en adolescentes con TDAH, seguida del ejercicio físico y el neurofeedback. La literatura es escasa al abordar el tema, por lo que resulta de importancia generar futuras líneas de investigación sobre el tratamiento de las funciones ejecutivas en adolescentes con TDAH.

**Palabras clave:** control inhibitorio, funciones ejecutivas, intervención no farmacológica, TDAH.

## Introducción

El Trastorno por Déficit de Atención/Hiperactividad (TDAH) se encuentra clasificado por el Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales (DSM-5) dentro de los trastornos del neurodesarrollo, con una prevalencia global del 2% al 7%<sup>1</sup>, mientras que en niños y adolescentes puede llegar a ser del 5.9% al 7.1%<sup>2</sup>.

Se consideran como síntomas principales la presencia de un patrón persistente de inatención e hiperactividad/impulsividad que interfieren en el funcionamiento o el desarrollo, creando un mayor riesgo de conductas desadaptativas y la necesidad de recibir recompensas inmediatas, generando incapacidad de retrasar la gratificación<sup>1</sup>.

Bandeira I.D., et al.<sup>3</sup> refieren que los síntomas del TDAH se presentan antes de los 12 años de edad y están presentes en al menos dos contextos, lo cual origina dificultades de forma persistente a lo largo de la vida, afectando en los ámbitos social, académico y laboral.

El TDAH implica alteraciones en diversos neurotransmisores, como la serotonina, la noradrenalina y especialmente en la dopamina, lo cual impacta en diversos procesos como la atención, concentración, motivación, interés y al aprendizaje de nuevas habilidades<sup>4</sup>. Derivado de los déficits neurobiológicos que interactúan con algunos factores ambientales, como las dificultades en el embarazo, el consumo de drogas, las complicaciones durante el parto, la crianza mal orientada y un nivel socio-económico bajo, esto genera que las principales dificultades en las personas con TDAH se manifiesten en un pobre desarrollo del funcionamiento ejecutivo<sup>5</sup>.

Las funciones ejecutivas son una colección de procesos de control, utilizados cuando una acción se pone en marcha o cuando no es recomendable actuar bajo instinto o intuición, permitiendo así el éxito cognitivo, social y psicológico<sup>6</sup>. En este sentido, son habilidades cruciales para el aprendizaje, ya que permiten la regulación de emociones ante situaciones de estrés<sup>7</sup>.

Una de las principales fallas ejecutivas manifestadas en el TDAH es el control inhibitorio (CI)<sup>8</sup>, el cual acorde a Barkley R.A.<sup>9</sup> es la interrelación de los siguientes tres procesos: **a)** la inhibición de la respuesta preponderante inicial a un evento, **b)** la detención de una respuesta en marcha, la cual permite una demora en la decisión para responder y **c)** la protección de este período de tiempo.

La inhibición exitosa ha sido frecuentemente vinculada con áreas tales como la corteza cingulada anterior, la corteza prefrontal dorsolateral, la corteza orbitofrontal y la corteza frontal inferior<sup>10,11</sup>, extendiéndose hacia la ínsula anterior, encontrando que esta última se activa de manera más amplia y significativa ante tareas relacionadas con el CI<sup>12</sup>. Dichas regiones están asociadas con la toma de decisiones, la iniciación de conductas sociales, la inhibición de conductas inapropiadas, así como con el procesamiento riesgo-beneficio<sup>13</sup>.

Las investigaciones son consistentes al reportar que las personas con TDAH cometen más errores durante tareas de inhibición, muestran tiempos de reacción más lentos cuando un estímulo en conflicto es presentado y su desempeño a lo largo de la ejecución de estas tareas es variable<sup>14,15</sup>.

Debido a lo anterior, se considera que la intervención en el TDAH debe enfocarse principalmente en las funciones ejecutivas para estimular y entrenar habilidades como la autorregulación, el autocontrol, la planificación y el CI<sup>16</sup>.

De manera general, la literatura es amplia al momento de reportar la intervención integral en los niños y adolescentes con TDAH, implicando principalmente al tratamiento farmacológico, el cual reduce los síntomas clave en la mayoría de los niños y jóvenes<sup>17-19</sup>. Sin embargo, es escasa la literatura que abarca únicamente a la población adolescente y aún menor al abordar uno de los principales déficits que derivan en problemas conductuales: como lo es el CI, lo cual resulta de gran importancia debido a que los jóvenes con TDAH que no han sido tratados, tienden a involucrarse en conductas de alto riesgo como el abuso de sustancias, la conducta sexual de riesgo, así como la presencia de comorbilidades (p. ej., trastornos del estado de ánimo, de ansiedad y de personalidad)<sup>20</sup>.

Se han examinado principalmente los efectos combinados del metilfenidato con técnicas de "costo de respuesta" y entrenamiento cognitivo aplicado en niños y adolescentes con TDAH, resultando además benéfico para la disminución de los síntomas a largo plazo principalmente en la atención, hiperactividad e impulsividad<sup>21,22</sup>.

Otro estudio reportó en esta población el beneficio del mismo fármaco combinado con el neurofeedback (NFB), demostrando que lograron aumentar la capacidad de inhibir respuestas preponderantes en un grado similar, lo que sugiere que ambos tienen una función de "frenado"<sup>22</sup>.

A pesar de lo anterior, son escasas las investigaciones experimentales y los meta-análisis que reportan de manera única la efectividad de los tratamientos no farmacológicos sobre la inhibición conductual en jóvenes con TDAH.

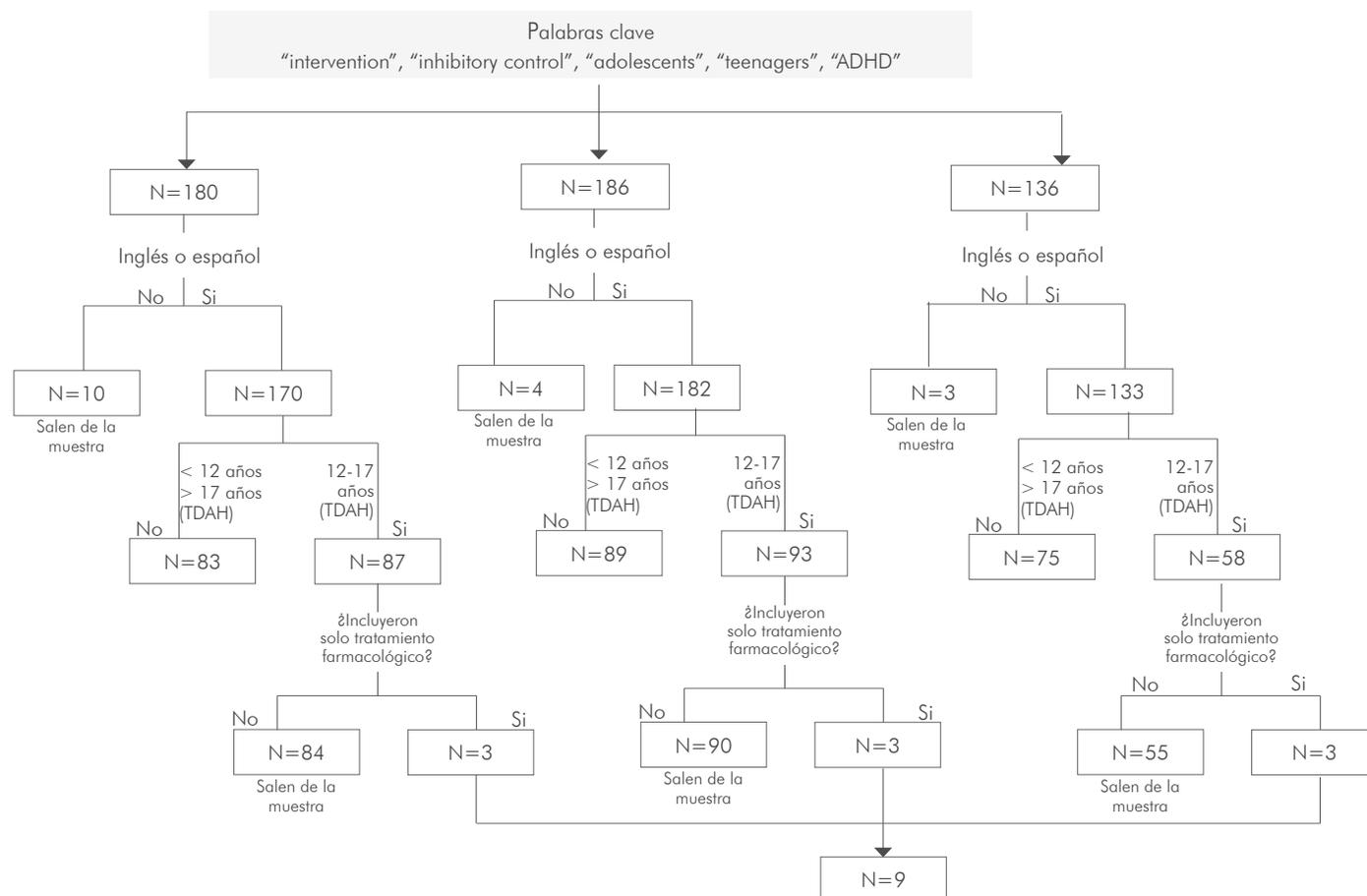
Para nuestro conocimiento, algunas revisiones recientes sobre el tema abordan una sola intervención, por ejemplo el mindfulness <sup>23</sup> y el ejercicio físico <sup>24</sup>; sin embargo, no son específicas en los efectos que éstas tienen sobre el CI.

El presente trabajo tiene como objetivo revisar las intervenciones no farmacológicas sobre el CI en adolescentes con TDAH y con ello brindar un panorama general que delimite las fortalezas y debilidades del estado del arte en cuestión.

### Material y método

Se realizó una búsqueda electrónica en las bases de datos: *Scopus*, *PubMed* y *Web of Science*, combinando las siguientes palabras clave: "intervention", "inhibitory control", "adolescents", "teenagers" y "ADHD". Se seleccionaron artículos publicados en los últimos 10 años (de 2010 al 2020) que reportaban intervenciones en funciones ejecutivas (específicamente sobre el CI), así como aquellos que incluían a adolescentes (de 11 a 16 años) con TDAH dentro de su muestra. Se excluyeron todos aquellos que analizaban estas variables en niños o adultos, en otras poblaciones clínicas y que reportaban únicamente la intervención farmacológica, seleccionando finalmente 9 artículos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Diagrama de flujo del procedimiento de selección de los artículos de intervención no farmacológica en el control inhibitorio en adolescentes con TDAH



## Resultados

De los estudios revisados para este trabajo, cuatro (44.4%) se enfocan en la estimulación magnética transcraneal (EMT); tres (33.3%) en el ejercicio físico y dos (22.2%) en el neurofeedback (NFB). Respecto a las edades estudiadas, los nueve artículos evaluaron adolescentes con edades que oscilaban de los 11.11 a 14.5 años.

### EMT

En los estudios analizados (Tabla 1) se reportó que los valores de la amplitud N100 entre el grupo clínicamente sano y el grupo con TDAH fueron similares posterior a la EMT, implicando una mejor respuesta ante tareas que demandan la utilización del CI<sup>25</sup>, además de que la EMT con corriente directa reduce el tiempo necesario de selección de información nueva mediante una mejoría en la inhibición y un decremento en la frecuencia de errores al alternar la atención<sup>3</sup>.

Cuando los adolescentes con TDAH reciben EMT mediante la utilización únicamente del ánodo sobre el giro frontal inferior derecho, mostraron una reducción significativa de los errores de comisión y mayor precisión en los tiempos de reacción<sup>26</sup>. De igual forma, utilizando EMT y potenciales evocados motores se observó una disminución en la amplitud y una latencia más corta durante el registro del componente N100, mostrando una reducción de la desinhibición motriz, la cual contribuía a la hiperactividad en adolescentes del grupo clínico<sup>27</sup>.

Las medidas del CI utilizadas en estos estudios fueron dos tests de ejecución continua (Go/no-go y flancos), el subtest de CI de la *Neuropsychological Development Assessment* (NEPSY-II) y una tarea de variación contingente negativa como medición neurofisiológica del CI. Los tres estudios mostraron tamaños del efecto amplios.

Tabla 1. Estudios que reportan intervención en el control inhibitorio mediante EMT en adolescentes con TDAH.

Autores	Grupos de participantes y edad en años (Media y Desviación Estándar)	Medida del control inhibitorio (CI)	Técnica de intervención utilizada	Resultados
D'Agati E., et al., <sup>25</sup>	TDAH: 12.5 (1.0) n = 18 Control: 12.4 (1.3) n=19	Paradigma Go/no-go	EMT sobre la corteza motora izquierda. La actividad electroencefalográfica fue registrada en 22 sitios (mediante el sistema 10-20 sin C3, p. ej., el electrodo debajo de la bobina de la EMT, Fpz, Oz, M1 y M2)	Posterior a la EMT, durante la tarea Go/no-go, los participantes con TDAH mostraron un menor incremento en la amplitud N100 en los ensayos go y mejor capacidad de inhibición de respuestas.
Bandeira ID, et. al. <sup>3</sup>	TDAH: 11.11 (2.8) n = 9	Subtest de CI de la NEPSY-II	EMT sobre la corteza prefrontal dorsolateral izquierda (ánodo en F3) y en el área supraorbital derecha (cátodo).	Se redujo el tiempo necesario de selección de información nueva mediante una mejoría en la inhibición y un decremento en la frecuencia de errores al alternar la atención
Breitling C., et. al. <sup>26</sup>	TDAH: 14.33a n = 21 Control: 14.24a n = 21	Paradigma de flancos de Eriksen	EMT sobre el giro frontal inferior derecho ubicando el electrodo de estimulación (ánodo) en el sitio F8 y el electrodo de referencia (cátodo), en el sitio P7 posterior al mastoideo izquierdo.	La EMT anodal sobre el giro frontal inferior derecho mejoró el CI en pacientes con TDAH.
Bruckmann S., et. al. <sup>27</sup>	TDAH: 11.4 (1.7) n = 20 Control: 12.2 (2.0) n=19	Tarea de variación contingente negativa	EMTE sobre la corteza motora izquierda eligiendo el sitio C3 para la respuesta electroencefalográfica.	Se mostró una disminución en la amplitud N100 lo que indica una diferencia cualitativa con el grupo control respecto a la inhibición motriz típica de este trastorno.
Nota: EMT = Estimulación magnética transcraneal; NEPSY-II = Neuropsychological Development Assessment. a = No aporta desviación estándar de la edad, únicamente la media				

### Ejercicio físico

En dos estudios (Tabla 2) se reportó que en adolescentes con TDAH, la realización de ejercicio con intensidad moderada en una bicicleta recumbente (fija) de 20 a 30 minutos puede mejorar el desempeño en tareas de CI, como en el test de Stroop, incluso después de una sola sesión de ejercicio<sup>28</sup>, mostrando un incremento de la amplitud

P300 y un decremento en los tiempos de reacción<sup>29</sup>. Finalmente, una intervención demostró que dos sesiones semanales de 50 minutos de Taekwondo durante un año y medio ejerce cambios favorecedores sobre el CI en adolescentes con TDAH resultando en amplios tamaños del efecto medidos a través del desempeño en todas las variables del test de Stroop<sup>30</sup>.

Tabla 2. Estudios que reportan intervención en el control inhibitorio mediante ejercicio físico en adolescentes con TDAH.

Autores	Grupos De Participantes Y Edad	Medida del control inhibitorio (CI)	Técnica de intervención utilizada	Resultados
Piepmeyer A.T., et. al. <sup>28</sup>	TDAH: 11.32 (1.96) n = 14 Control: 11.22 (2.43) n = 18	Test de Stroop	Rutinas de 30 minutos de ejercicio agudo durante dos días.	Los participantes con y sin TDAH mejoraron la velocidad de procesamiento y el CI en respuesta a una sesión de ejercicio con intensidad moderada.
Ludyga, et. al. <sup>29</sup>	TDAH: 12.8 (1.8) n = 5 Control: 13.5 (1.38) n = 7	Tarea de flancos	Ejercicio aeróbico y de coordinación durante 20 minutos de 7 a 14 días.	Los resultados sugieren que una sola sesión de ejercicio aeróbico mejora el CI y el control atencional. Hubo indicios de que el ejercicio aeróbico resultó más eficiente que el coordinado, en la reducción de déficits en el control inhibitorio en el grupo con TDAH.
Kadri A., et. al. <sup>30</sup>	TDAH: 14.5 (3.5) n = 40	Test de Stroop	Ejercicios de taekwondo de 50 minutos, dos veces por semana durante un año y medio.	Se observaron diferencias significativas y tamaños del efecto grandes en las evaluaciones pre y post-intervención en el Test de Stroop, lo que indica una mejoría en el CI y en la atención selectiva de los adolescentes con TDAH.

### NFB

Los hallazgos en el par de artículos encontrados (Tabla 3), sugieren que el NFB es una técnica que mejora el desempeño del CI en niños y adolescentes con TDAH. Específicamente, uno de los estudios con tamaños del efecto amplios<sup>31</sup>, plantea que después de 20 sesiones de entrenamiento con esta técnica se redujeron los síntomas clave del grupo con TDAH, mejorando el CI, medido durante

el desempeño en una tarea combinada de flancos/No-Go. En el segundo estudio, se reporta la utilización del NFB junto con resonancia magnética funcional en tiempo real, durante 4 sesiones de 1.5 horas a lo largo de 2 semanas, donde se redujeron los síntomas de TDAH, mejoró el nivel de atención sostenida y de CI, además de encontrar un incremento en la activación del giro frontal superior ante tareas de CI en los adolescentes con TDAH.

Tabla 3. Estudios que reportan intervención en el control inhibitorio mediante NFB en adolescentes con TDAH.

Autores	Grupos De Participantes Y Edad	Medida del control inhibitorio (CI)	Técnica de intervención utilizada	Resultados
Baumeister S., et. al. <sup>31</sup>	TDAH: 11.81 (1.47) n = 16	Tarea combinada de flancos/No-Go (4 bloques de 40 ensayos)	20 sesiones de NFB de 60 minutos	El grupo que recibió NFB presentó una reducción en los síntomas de TDAH y un incremento en la activación de áreas asociadas con el CI
Alegria A.A., et. al. <sup>47</sup>	TDAH: 14.11 (1.53) n = 18 Control: 13.62 (1.66) n = 13	Batería MARS y CPT Go/No-Go y Stop.	NFB por resonancia magnética funcional en 4 sesiones de 1 ½ hrs durante 2 semanas.	Se redujeron los síntomas de TDAH, mejoró el nivel de atención sostenida y hubo un incremento en la activación del giro frontal superior ante tareas de CI.

Nota: NFB = Neurofeedback; MARS = Maudsley Attention and Response Supresion task battery; CPT = Continuous Performance Test.

## Discusión

Los resultados obtenidos basados en los 9 estudios indicaron que el método más utilizado fue la EMT, seguido del ejercicio físico y finalmente el NFB.

En suma, al estimular mediante NFB algunas regiones del lóbulo frontal (principalmente la corteza motora primaria, la corteza prefrontal dorsolateral izquierda y el giro frontal inferior derecho), se observó un decremento en la desinhibición<sup>25</sup>, mejor capacidad para seleccionar información nueva<sup>3</sup>, mayor control de la interferencia<sup>26</sup> y mejoría en la inhibición motriz<sup>27</sup> en adolescentes con TDAH.

A pesar de que existen estudios que indican que la EMT es una alternativa no farmacológica para el tratamiento del TDAH ya que no es invasiva, es efectiva<sup>32-35</sup> y permite la activación de circuitos prefrontales que amplían la neurotransmisión dopaminérgica<sup>36</sup>, en las investigaciones consultadas se han reportado efectos secundarios relacionados principalmente con dolores de cabeza, dolor de cuello, hormigueo en el sitio de posición del ánodo, comezón, sensación de ardor, enrojecimiento local y somnolencia leve<sup>3</sup>. Lo cual podría considerarse una limitación a corto plazo para la utilización de esta intervención de manera prolongada en algunos pacientes.

En el caso del ejercicio físico los estudios recientes abordan principalmente dos tipos de actividades: el ejercicio agudo mediante la utilización de bicicletas recumbentes y el taekwondo. En el caso del primero la evidencia es consistente sobre los efectos benéficos del ejercicio agudo en el desempeño cognitivo, particularmente en las funciones ejecutivas<sup>37-39</sup>, sin embargo el tema ha sido poco estudiado en población con TDAH y éste se enfoca principalmente en niños.

El instrumento más utilizado en los artículos que reportan intervenciones mediante ejercicio físico es el Test de Stroop, observando mayor rapidez y menor cantidad de errores posterior al proceso de intervención, lo cual es consistente con lo reportado por Chang, et. al.<sup>39</sup> quienes observaron un mejor rendimiento en la parte C (interferencia) del test de Stroop en niños con TDAH después de sesiones moderadas de ejercicio.

Por otro lado, la utilización del taekwondo ha resultado de interés reciente en la investigación debido a los amplios beneficios que conlleva en la cognición y la conducta<sup>40-43</sup>, así como en las funciones ejecutivas como la memoria de trabajo, la flexibilidad cognitiva y el CI<sup>44</sup>, pero poco se ha estudiado en niños y adolescentes con TDAH.

Dado lo anterior, las limitaciones son marcadas al no explorar otro tipo de actividades físicas como el tai chi, el cual ha demostrado que es benéfico en jóvenes con TDAH, ya que disminuye la ansiedad, mejora la conducta y las emociones<sup>45</sup>.

Finalmente, se ha reportado que el NFB, el cual es un tipo de electroencefalograma que entrena habilidades de autorregulación mediante tecnología computarizada<sup>46</sup>, ha sido asociado con la disminución de los síntomas relacionados con el TDAH<sup>31,47</sup>.

De manera general, el par de artículos encontrados con este tipo de intervención, sugieren que el NFB resulta eficaz para mejorar el CI en adolescentes con TDAH, principalmente cuando ejecutan test de ejecución continua como el go/no-go y stop, mostrando un incremento significativo en la activación de estructuras asociadas con el CI (como la ínsula bilateral, el giro frontal inferior, la corteza cingulada anterior y medial), regiones que además se han relacionado al aprendizaje basado en la recompensa<sup>48,49</sup> y en pacientes con TDAH se muestran hipoactivas<sup>50</sup>, sugiriendo por tanto, que este tipo de intervención no solo mejoraría el CI sino otras funciones ejecutivas como la toma de decisiones y la flexibilidad cognitiva.

## Conclusión

El objetivo principal del presente estudio fue hacer una revisión narrativa de la literatura de los últimos 10 años acerca de las diferentes intervenciones no farmacológicas para la mejoría del CI en adolescentes con TDAH. A diferencia de estudios previos en donde se han revisado de manera independiente los efectos de intervenciones mediante el ejercicio físico o mediante el NFB, no hay para nuestro conocimiento, alguna revisión sistemática o meta-análisis que se enfoque exclusivamente en la población adolescente y describa más de dos intervenciones no farmacológicas para mejorar la función ejecutiva del CI.

La EMT resultó ser la intervención más reportada en los últimos 10 años, la cual ha demostrado que al estimular la corteza frontal (principalmente la región prefrontal dorsolateral) se han observado mejorías en el control de la interferencia, la capacidad de selección, la atención y el CI. Por otro lado, el ejercicio físico y el NFB también han resultado benéficos para la mejoría del CI, sin embargo, aún es insuficiente la literatura encontrada respecto a estos últimos dos tipos de intervención. Los instrumentos utilizados en la mayoría de los estudios para evaluar el CI son algunos tests de ejecución continua como el go/no-go, stop y la tarea de flancos, así como

el Test de Stroop, lo cual puede resultar de importancia para diseñar una batería de pruebas neuropsicológicas estandarizadas que evalúen los tres procesos implicados en el CI: (a) la inhibición de la respuesta preponderante inicial a un evento, b) la detención de una respuesta en marcha y c) la protección de un período de demora), ya que dichas funciones se ven comprometidas en los pacientes con TDAH.

Dados los escasos reportes encontrados, es de relevancia considerar para futuras investigaciones las respuestas conductuales y los cambios en diversas funciones ejecutivas utilizando medidas que no únicamente se centren en paradigmas experimentales, sino en tests estandarizados novedosos y en la evaluación ecológica mediante inventarios o cuestionarios en versiones autoinforme y heteroinforme.

Finalmente, se sugiere que la investigación de las funciones ejecutivas abarque a la población adolescente y la manera en que los trastornos del neurodesarrollo como el TDAH impactan al CI, esto debido a que la investigación del tema en cuestión es relativamente nueva.

## Referencias

1. APA. Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5. Fifth Edit. Washington, D. C.: American Psychiatric Publishing; 2013.
2. Willcutt EG. The Prevalence of DSM-IV Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: A Meta-Analytic Review. *Neurotherapeutics*. 2012; 9(3):490–9. <https://doi.org/10.1007/s13311-012-0135-8>
3. Bandeira ID, Guimarães RSQ, Jagersbacher JG, Barretto TL, De Jesus-Silva JR, Santos SN, et al. Transcranial Direct Current Stimulation in Children and Adolescents with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD). *J Child Neurol*. 2016; 31(7):918–24. <https://doi.org/10.1177/0883073816630083>
4. Chmielewski WX, Tiedt A, Bluschke A, Dippel G, Roessner V, Beste C. Effects of multisensory stimuli on inhibitory control in adolescent ADHD: It is the content of information that matters. *NeuroImage Clin*. 2018;19: 527–37. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2018.05.019>
5. Sonuga-Barke E, Brandeis D, Holtmann M, Cortese S. Computer-based Cognitive Training for ADHD. A Review of Current Evidence. *Child Adolesc Psychiatr Clin N Am*. 2014; 23(4):807–24. <https://doi.org/10.1016/j.chc.2014.05.009>
6. Diamond A. Executive functions. *Annu Rev Psychol*. 2013;64:135–68. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
7. Cybele Raver C, Blair C. Neuroscientific insights: Attention, working memory, and inhibitory control. *Futur Child*. 2016; 26(2):95–118. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1118545.pdf>
8. Chevrier A, Schachar RJ. BOLD differences normally attributed to inhibitory control predict symptoms, not task-directed inhibitory control in ADHD. *J Neurodev Disord*. 2020;12(1):1–12. <https://doi.org/10.1186/s11689-020-09311-8>
9. Barkley RA. Behavioral Inhibition, Sustained Attention, and Executive Functions: Constructing a Unifying Theory of ADHD. *Psychol Bull*. 1997; 121(1):65–94. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.121.1.65>
10. Menon V, Adleman N, White C, Glover G, Reiss A. Error-related brain activation during a Go/NoGo response inhibition task. *Hum Brain Mapp*. 2001; 12(3):131–43. DOI: 10.1002/1097-0193(200103)12:3<131::aid-hbm1010>3.0.co;2-c
11. Nee DE, Wager TD, Jonides J. Interference resolution: insights from a meta-analysis of neuroimaging tasks. *Cogn Affect Behav Neurosci*. 2007;7(1):1–17. <https://doi.org/10.3758/cabn.7.1.1>
12. Swick D, Ashley V, Turken U. Are the neural correlates of stopping and not going identical? Quantitative meta-analysis of two response inhibition tasks. *Neuroimage*. 2011; 56(3):1655–65. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.02.070>
13. Anderson P. Towards a developmental model of executive function. In: Anderson P, Anderson V, Jacobs R, editors. *Executive Functions and the Frontal Lobes: a Lifespan Perspective*. New York: Psychology Press; 2008, 3–21.
14. Uebel H, Albrecht B, Asherson P, Börger NA, Butler L, Chen W, et al. Performance variability, impulsivity errors and the impact of incentives as gender-independent endophenotypes for ADHD. *J Child Psychol Psychiatry Allied Discip*. 2010; 51(2):210–8. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2009.02139.x>
15. Geurts HM, Van Der Oord S, Crone EA. Hot and cool aspects of cognitive control in children with ADHD: Decision-making and inhibition. *J Abnorm Child Psychol*. 2006; 34(6):813–24. <https://doi.org/10.1007/s10802-006-9059-2>
16. Abad-Mas L, Ruiz-Andrés R, Moreno-Madrid F, M. Angeles S-C, Marcel C, Ivan D D-M, et al. Entrenamiento de funciones ejecutivas en el trastorno por déficit de atención/hiperactividad. *Rev Neurol*. 2011; 52(S01): S077-83
17. Thapar A, Cooper M. Attention deficit hyperactivity disorder. *Lancet*. 2016; 387(10024):1240–50. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)00238-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)00238-X)
18. Faraone S V, Asherson P, Banaschewski T, Biederman J, Buitelaar JK, Ramos-Quiroga JA, et al. Attention-deficit/hyperactivity disorder. *Nat Rev Dis Prim*. 2015;1. DOI: 10.1038/nrdp.2015.20
19. Barbaresi WJ, Katusic SK, Colligan RC, Weaver AL, Jacobsen SJ. Modifiers of long-term school outcomes for children with attention-deficit/hyperactivity disorder: Does treatment with stimulant medication make a difference? Results from a population-based study. *J Dev Behav Pediatr*. 2007; 28(4):274–87. DOI: 10.1097/DBP.0b013e3180cab28
20. Wolraich M, Brown L, Brown RT, DuPaul G, Earls M, Feldman HM, et al. ADHD: Clinical practice guideline for the diagnosis, evaluation, and treatment of attention-deficit/hyperactivity disorder in children and adolescents. *Pediatrics*. 2011;128(5):1007–22. <https://doi.org/10.1542/peds.2011-2654>
21. Gerber WD, Gerber-Von Müller G, Andrasik F, Niederberger U, Siniatchkin M, Kowalski JT, et al. The impact of a multimodal Summer Camp Training on neuropsychological functioning in children and adolescents with ADHD: An exploratory study. *Child Neuropsychol*. 2012; 18(3):242–55. DOI: 10.1080/09297049.2011.599115
22. Bluschke A, Friedrich J, Schreiter ML, Roessner V, Beste C. A comparative study on the neurophysiological mechanisms underlying effects of methylphenidate and neurofeedback on inhibitory control in attention deficit hyperactivity disorder. *NeuroImage Clin*. 2018; 20:1191–203. doi: 10.1016/j.nicl.2018.10.027
23. Cairncross M, Miller CJ. The Effectiveness of Mindfulness-Based Therapies for ADHD: A Meta-Analytic Review. *J Atten Disord*. 2020;24(5):627–43. DOI: 10.1177/1087054715625301
24. Vysniauske R, Verburgh L, Oosterlaan J, Molendijk ML. The Effects of Physical Exercise on Functional Outcomes in the Treatment of ADHD:

- A Meta-Analysis. *J Atten Disord.* 2020;24(5):644–54. <https://doi.org/10.1177/1087054715627489>
25. D'Agati E, Hoegl T, Dippel G, Curatolo P, Bender S, Kratz O, et al. Motor cortical inhibition in ADHD: Modulation of the transcranial magnetic stimulation-evoked N100 in a response control task. *J Neural Transm.* 2014;121(3):315–25. <https://doi.org/10.1007/s00702-013-1097-7>
  26. Breiiling C, Zaehle T, Dannhauer M, Bonath B, Tegelbeckers J, Flechtner HH, et al. Improving interference control in ADHD patients with transcranial direct current stimulation (tDCS). *Front Cell Neurosci.* 2016;10:1–10. <https://doi.org/10.3389/fncel.2016.00072>
  27. Bruckmann S, Hauk D, Roessner V, Resch F, Freitag CM, Kammer T, et al. Cortical inhibition in attention deficit hyperactivity disorder: New insights from the electroencephalographic response to transcranial magnetic stimulation. *Brain.* 2012;135(7):2215–30. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12312>
  28. Piepmeier AT, Shih CH, Whedon M, Williams LM, Davis ME, Henning DA, et al. The effect of acute exercise on cognitive performance in children with and without ADHD. *J Sport Heal Sci.* 2015; 4(1):97–104. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.11.004>
  29. Ludyga S, Brand S, Gerber M, Weber P, Brotzmann M, Habibifar F, et al. An event-related potential investigation of the acute effects of aerobic and coordinative exercise on inhibitory control in children with ADHD. *Dev Cogn Neurosci.* 2017; 28:21–8. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2017.10.007>
  30. Kadri A, Slimani M, Bragazzi NL, Tod D, Azaiez F. Effect of taekwondo practice on cognitive function in adolescents with attention deficit hyperactivity disorder. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16(2):1–10. <https://doi.org/10.3390/ijerph16020204>
  31. Baumeister S, Wolf I, Holz N, Boecker-Schlier R, Adamo N, Holtmann M, et al. Neurofeedback Training Effects on Inhibitory Brain Activation in ADHD: A Matter of Learning? *Neuroscience.* 2018; 378:89–99. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.09.025>
  32. Spieser L, van den Wildenberg W, Hasbroucq T, Richard Ridderinkhof K, Burle B. Controlling your impulses: Electrical stimulation of the human supplementary motor complex prevents impulsive errors. *J Neurosci.* 2015; 35(7):3010–5. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1642-14.2015>
  33. Loftus AM, Yalcin O, Baughman FD, Vanman EJ, Hagger MS. The impact of transcranial direct current stimulation on inhibitory control in young adults. *Brain Behav.* 2015;5(5):1–9. <https://doi.org/10.1002/brb3.332>
  34. Demirtas-Tatlıdede A, Vahabzadeh-Hagh AM, Pascual-Leone A. Can noninvasive brain stimulation enhance cognition in neuropsychiatric disorders? *Neuropharmacology [Internet].* 2013;64:566–78. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropharm.2012.06.020>
  35. Krause B, Cohen Kadosh R. Can transcranial electrical stimulation improve learning difficulties in atypical brain development? A future possibility for cognitive training. *Dev Cogn Neurosci.* 2013; 6:176–94. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dcn.2013.04.001>
  36. Bush G. Attention-deficit/hyperactivity disorder and attention networks. *Neuropsychopharmacology.* 2010; 35(1):278–300. <http://dx.doi.org/10.1038/npp.2009.120>
  37. Chang YK, Chu IH, Chen FT, Wang CC. Dose-response effect of acute resistance exercise on tower of London in middle-aged adults. *J Sport Exerc Psychol.* 2011;33(6):866–83. <https://doi.org/10.1123/jsep.33.6.866>
  38. Chang YK, Tsai CL, Hung TM, So EC, Chen FT, Etnier JL. Effects of acute exercise on executive function: A study with a Tower of London task. *J Sport Exerc Psychol.* 2011; 33(6):847–65. <https://doi.org/10.1123/jsep.33.6.847>
  39. Chang YK, Liu S, Yu HH, Lee YH. Effect of acute exercise on executive function in children with attention deficit hyperactivity disorder. *Arch Clin Neuropsychol.* 2012; 27(2):225–37. <https://doi.org/10.1093/arclin/acr094>
  40. Van Dijk GP, Huijts M, Lodder J. Cognition improvement in Taekwondo novices over 40. Results from the SEKWONDO Study. *Front Aging Neurosci.* 2013; 5, 1–5. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2013.00074>
  41. Cho SY, Kim Y II, Roh HT. Effects of taekwondo intervention on cognitive function and academic self-efficacy in children. *J Phys Ther Sci.* 2017;29(4):713–5. <https://doi.org/10.1589/jpts.29.713>
  42. Lakes KD, Hoyt WT. Promoting self-regulation through school-based martial arts training. *J Appl Dev Psychol.* 2004;25(3):283–302. <https://doi.org/10.1016/j.appdev.2004.04.002>
  43. Kim YJ, Cha EJ, Kim SM, Kang KD, Han DH. The effects of taekwondo training on brain connectivity and body intelligence. *Psychiatry Investig.* 2015;12(3):335–40. <https://doi.org/10.4306/pi.2015.12.3.335>
  44. Lakes KD, Bryars T, Sirisinal S, Salim N, Arastoo S, Emmerson N, et al. The Healthy for Life Taekwondo pilot study: A preliminary evaluation of effects on executive function and BMI, feasibility, and acceptability. *Ment Health Phys Act.* 2013; 6(3):181–8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mhpa.2013.07.002>
  45. Hernandez-Reif M, Field TM, Thimas E. Attention deficit hyperactivity disorder: Benefits from Tai Chi. *J Bodyw Mov Ther.* 2001; 5(2):120–3. <https://doi.org/10.1054/jbmt.2000.0219>
  46. Hammond DC. Neurofeedback Around the World. *J Neurother.* 2008;10(4):25–36.
  47. Alegria AA, Wulff M, Brinson H, Barker GJ, Norman LJ, Brandeis D, et al. Real-time fMRI neurofeedback in adolescents with attention deficit hyperactivity disorder. *Hum Brain Mapp.* 2017; 38(6):3190–209. <https://doi.org/10.1002/hbm.23584>
  48. Sonuga-Barke EJS, Fairchild G. Neuroeconomics of attention-deficit/hyperactivity disorder: Differential influences of medial, dorsal, and ventral prefrontal brain networks on suboptimal decision making? *Biol Psychiatry.* 2012; 72(2):126–33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biopsych.2012.04.004>
  49. McGuire JT, Nassar MR, Gold JJ, Kable JW. Functionally Dissociable Influences on Learning Rate in a Dynamic Environment. *Neuron.* 2014; 84(4):870–81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuron.2014.10.013>
  50. Plichta MM, Scheres A. Ventral-striatal responsiveness during reward anticipation in ADHD and its relation to trait impulsivity in the healthy population: A meta-analytic review of the fMRI literature. *Neurosci Biobehav Rev.* 2014; 38:125–34. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.07.012>

Artículo sin conflicto de interés

© Archivos de Neurociencias