

LOS EFECTOS NEUROFISIOLÓGICOS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA EN LOS NIÑOS: REVISIÓN SISTEMÁTICA

THE NEUROPHYSIOLOGICAL EFFECTS OF PHYSICAL ACTIVITY IN CHILDREN: SYSTEMATIC REVIEW

Recibido el 24 de marzo de 2022 / Aceptado el 17 de julio de 2022 / DOI: 10.24310/riccafd.2022.v11i2.14533
Correspondencia: Enrique Jiménez Vaquerizo. vakerizo.sportsalud@gmail.com

Enrique Jiménez Vaquerizo^{1A-F}

¹ Facultad de Educación del Campus de Segovia- Universidad de Valladolid (UVA), España

Responsabilidades

^ADiseño de la investigación, ^BRecolector de datos, ^CRedactor del trabajo, ^DTratamiento estadístico, ^EApoyo económico, ^FIdea original y coordinador de toda la investigación.

■ RESUMEN

La práctica de actividad física regular proporciona varios beneficios relacionados principalmente con la mejora de la salud y la calidad de vida, así como con el control de los factores de riesgo de enfermedades, un tema ampliamente reconocido en la actualidad. Sin embargo, estudios recientes han demostrado que la relación entre actividad física y cognición está permitiendo grandes avances y resultados positivos. En el presente trabajo y mediante una revisión sistemática, se recopila la evidencia actual que estable la causalidad sobre los cambios neurofisiológicos en la estructura cerebral de niños sanos y con patologías. Un total de 23 estudios fueron seleccionados y analizados mediante los que se pudo concluir que existe una asociación beneficiosa entre la actividad física a largo plazo y los cambios en las funciones neurofisiológicas.

■ PALABRAS CLAVE

actividad física, niños, neurociencia, función neuronal, plasticidad, beneficios.

■ ABSTRACT

The practice of regular physical activity provides several benefits related mainly to the improvement of health and quality of life, as well



as the control of risk factors for diseases, a topic widely recognized today. However, recent studies have shown that the relationship between physical activity and cognition is allowing great advances and positive results. In the present work and through a systematic review, the current evidence that establishes the causality of neurophysiological changes in the brain structure of healthy children and with pathologies is compiled. A total of 23 studies were selected and analyzed through which it was possible to conclude that there is a beneficial association between long-term physical activity and changes in neurophysiological functions.

■ KEY WORDS

physical activity, children, neuroscience, neuronal function, plasticity, benefits.

■ INTRODUCCIÓN

La actividad física se ha asociado con una variedad de beneficios físicos, conductuales, cognitivos y académicos (1,2). Un creciente cuerpo de literatura indica que la mayoría de la población pediátrica ni siquiera se acerca a los 60 minutos de actividad física intensa moderada por día recomendados para los niños (3). Además, la prevalencia de un estilo de vida sedentario entre los niños está aumentando rápidamente (4). La evidente falta de actividad física entre los niños es especialmente preocupante a la luz de la evidencia existente sobre los efectos beneficiosos de la actividad física en el desarrollo del cerebro (5). Se cree que los efectos beneficiosos de la actividad física en el cerebro tienen efectos más duraderos en la infancia en comparación con la edad adulta, lo que sugiere que la actividad física en la infancia también contribuye al funcionamiento del cerebro en la vida adulta (6).

En línea con esta idea, la actividad física también se sugiere como un tratamiento potencial para mejorar el desarrollo cerebral en poblaciones clínicas pediátricas, como los niños con depresión o trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) (7). Por ejemplo, los estudios de intervención con ejercicio indicaron efectos beneficiosos sobre los síntomas conductuales y cognitivos del TDAH (8,9). Además, se han encontrado funciones cerebrales alteradas y disfunción cognitiva en niños obesos en comparación con niños más delgados (10).

Estudios recientes han demostrado que el ejercicio también tiene efectos beneficiosos sobre la cognición en esta población (11). Sin embargo, hasta la fecha sigue siendo en gran parte desconocido qué mecanismos neuronales subyacentes dan lugar a los efectos beneficiosos



de la actividad física en los niños. Los hallazgos de la neurociencia fundamental han identificado varias vías a través de las cuales la actividad física puede actuar sobre la estructura del cerebro y el funcionamiento neurofisiológico. Se ha demostrado que una sola sesión de actividad física (o actividad física a corto plazo) mejora directamente el flujo sanguíneo cerebral (12) y desencadena la regulación positiva de neurotransmisores que facilitan los procesos cognitivos (p. Ej., epinefrina, dopamina (13).

Estos efectos inmediatos que resultan de una sola sesión de actividad física a menudo se denominan efectos agudos. Se cree que períodos más prolongados de actividad física continua (actividad física a largo plazo) desencadenan vías adicionales que ejercen efectos beneficiosos sobre el desarrollo del cerebro. Se ha demostrado que la actividad física a largo plazo eleva los niveles de factores neurotróficos (por ejemplo, factor neurotrófico derivado del cerebro y factor de crecimiento nervioso), que se sabe que estimulan la formación de vasos sanguíneos neurales y la neurogénesis (13,14).

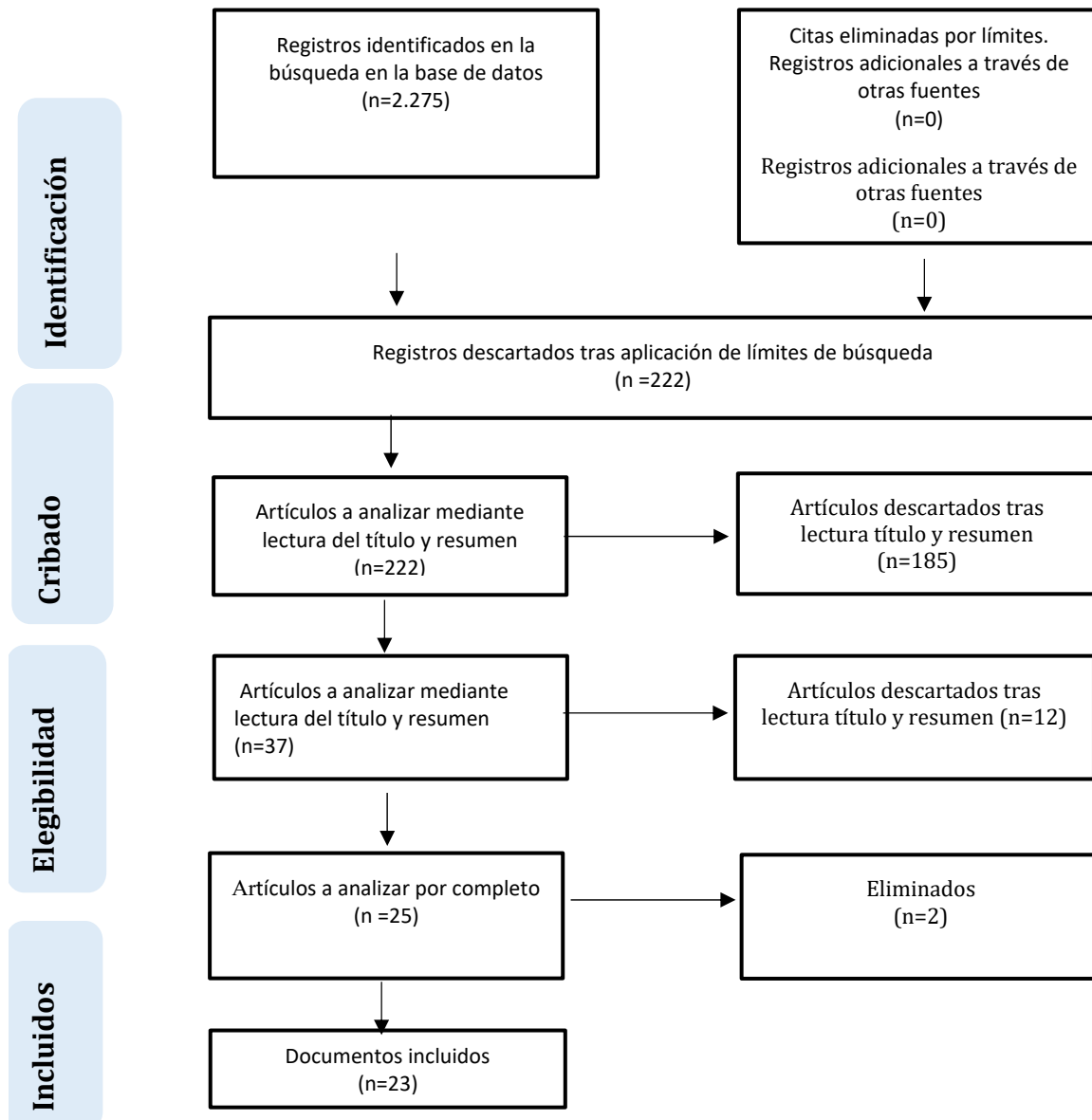
Estos efectos prolongados de la actividad física a largo plazo a menudo se denominan efectos crónicos. Los efectos agudos y crónicos observados indican que la actividad física es potente para cambiar la estructura del cerebro y el funcionamiento neurofisiológico a través de mecanismos diferenciales. De acuerdo con esta evidencia, estudios previos en niños han revelado asociaciones entre la aptitud física - que se considera una medida indirecta de la actividad física a largo plazo (15) - y la estructura cerebral, así como la función neurofisiológica. Con respecto a la estructura del cerebro, por ejemplo, los estudios de imágenes de resonancia magnética (IRM) transversales en niños de 9 a 10 años han demostrado que una mayor aptitud aeróbica se asocia con volúmenes cerebrales más grandes, incluidos los volúmenes de los ganglios basales y el hipocampo bilateral (16).

Con respecto al funcionamiento neurofisiológico, varios estudios de electroencefalografía transversal (EEG) en niños de 9 a 10 años han demostrado que una mayor aptitud aeróbica se asocia con una mayor asignación de recursos de atención (medida por el componente P3 del potencial relacionado con el evento) en tareas que miden el control de interferencias (17), la flexibilidad cognitiva (18), el procesamiento del lenguaje y el procesamiento matemático (19). Aunque estos estudios transversales indican una asociación entre la aptitud física y los mecanismos neuronales y apoyan la idea de que la actividad física a largo plazo tiene efectos beneficiosos en el cerebro del niño, no proporcionan evidencia causal. En cambio, los estudios de efectividad de la intervención, como los ensayos controlados aleatorios (ECA) y los ensayos cruzados, si permiten evaluar los efectos causales.



El presente estudio tiene como objetivo proporcionar una descripción general de todos los ECA disponibles y ensayos cruzados que prueban los efectos causales de la actividad física en la estructura del cerebro y el funcionamiento neurofisiológico en los niños. Las revisiones anteriores de estudios sobre este tema no utilizaron un enfoque sistemático (20), o las conclusiones se basaron (en parte) en estudios que utilizan diseños de estudios que no pueden proporcionar evidencia sobre la causalidad (estudios de asociación o cuasi diseños experimentales) o no intentó cuantificar los efectos (21,22). Los mecanismos subyacentes a los efectos de la actividad física en las medidas de neuroimagen pueden verse influidos por el estado de salud. En base a esto, en la presente revisión se hará una distinción entre estudios en muestras clínicas y sanas de niños.

Los cambios en la estructura del cerebro y el funcionamiento neurofisiológico paralelos a los cambios en el funcionamiento cognitivo potencialmente proporcionan más información sobre los mecanismos subyacentes a los efectos de la actividad física. Por lo tanto, los resultados que se presenten en los estudios mediante análisis de correlación / regresión o efectos positivos coincidentes de los efectos físicos en la neuroimagen y el comportamiento, permitirán determinar si los cambios informados en la estructura cerebral y el funcionamiento neurofisiológico están acompañados de efectos beneficiosos de la actividad física sobre el funcionamiento cognitivo.

**■ MATERIAL Y MÉTODOS****Figura 1. Diagrama de flujo (flujograma)**

Fuente: Elaboración propia a partir de la platilla PRISMA

■ RESULTADOS

De los artículos incluidos se extrajeron los siguientes datos: a) características de la muestra (para cada grupo de estudio: tamaño de la muestra, edad media y distribución por sexo; b) características de intervención o control (tipo, intensidad y frecuencia de actividad física o sesiones de control); c) medidas de resultado (modalidad de imagenología y pruebas cognitivas evaluadas, si están disponibles).



La calidad de los estudios incluidos se realizó utilizando la herramienta de la Colaboración Cochrane para el riesgo de sesgo en los ensayos aleatorizados. Esta herramienta examina el sesgo de selección (generación de secuencias aleatorias y ocultación de la asignación), el sesgo de realización (cegamiento de los participantes y el personal), el sesgo de detección (cegamiento de la evaluación de resultados), el sesgo de deserción (participantes perdidos durante el estudio) y el sesgo de informe (informe de resultado selectivo del resultado preespecificado) medidas en secciones de métodos o registros de ensayos clínicos). Además, se evaluaron todos los estudios sobre el sesgo de muestreo (representatividad de la muestra para la población pediátrica objetivo). Para cada una de estas categorías de sesgo, los estudios se clasificaron en riesgo de sesgo bajo, incierto o alto.

El riesgo general de sesgo de los estudios incluidos varió, pero en general fue bajo. Sin embargo, solo en cinco estudios se cegó a los evaluadores de resultados (25-29) y en siete estudios, la población incluida no era una muestra representativa de la población pediátrica clínica o sana en general (30-36).

Efectos agudos de la actividad física

Ningún estudio abordó los efectos agudos de la actividad física en la estructura del cerebro. Un estudio abordó los efectos agudos de la actividad física sobre el flujo sanguíneo cerebral (37). Los resultados no indicaron efectos agudos de la actividad física en el flujo sanguíneo cerebral en las redes frontoparietal, de control ejecutivo y motoras. Los estudios cruzados abordaron los efectos agudos sobre el funcionamiento neurofisiológico, de los cuales siete incluyeron niños sanos (EEG; k = 6; MRI; k = 1). Todos los estudios en niños sanos mostraron efectos agudos inducidos por la actividad física sobre el funcionamiento neurofisiológico. Los resultados indicaron un mejor funcionamiento neurofisiológico durante el descanso (36) y el comportamiento dirigido a objetivos (36,38), una mayor asignación de recursos de atención durante el desempeño de la tarea (30, 39, 40) y mejor procesamiento de conflictos (30).

Dos estudios informaron efectos beneficiosos acompañantes sobre las medidas del rendimiento cognitivo (39,40) o el funcionamiento académico (39). Cuatro estudios abordaron los efectos agudos de la actividad física a corto plazo sobre el funcionamiento neurofisiológico en muestras clínicas (es decir, TDAH; EEG k = 4) y todos estos estudios indicaron efectos beneficiosos inducidos por la actividad física. Los resultados indican una mayor asignación de recursos de atención hacia el estímulo objetivo (18, 36), menor tiempo de procesamiento (18) ,



mejor rendimiento de la atención anticipatoria y preparación motora (31) y una relación theta / beta mejorada en el EEG en reposo (32). Dos estudios informaron sobre efectos cognitivos beneficiosos coexistentes y efectos beneficiosos sobre el rendimiento académico (31,18).

Efectos crónicos de la actividad física

Cuatro estudios (resonancia magnética $k = 4$) describieron los efectos crónicos sobre la estructura cerebral en los que un estudio incluyó una población sana y tres estudios incluyeron una población clínica (obesidad $k = 2$; sordera $k = 1$). Todos los estudios utilizaron Diffusion Tensor Imaging, que es una medida de la integridad de la materia blanca (WMI) basada en resonancia magnética. El estudio que evaluó a niños sanos observó una mayor WMI en la rodilla del cuerpo coloso después de la actividad física a largo plazo en comparación con el grupo de control (25). Los dos estudios que evaluaron a los niños obesos observaron una mayor WMI después de la actividad física a largo plazo en comparación con un grupo de control. Ninguno de los dos estudios informó medidas cognitivas objetivas concomitantes. Por el contrario, un estudio en niños sordos encontró una disminución de la WMI después de la actividad física a largo plazo (41). El estudio también observó efectos acompañantes en las medidas de rendimiento cognitivo, de los cuales algunos efectos fueron beneficiosos, mientras que otros fueron perjudiciales. Diez estudios describieron los efectos crónicos sobre el funcionamiento neurofisiológico, de los cuales seis se centraron en niños sanos (EEG; $k = 5$; IRM: $k = 1$). Cinco estudios en niños sanos mostraron efectos inducidos por la actividad física sobre el funcionamiento neurofisiológico. Los resultados indicaron una mejor atención en el estado de reposo (42) y una activación cerebral alterada en el PFC anterior derecho (43), una mejor detección de errores (27), una mayor eficiencia de la atención y procesos motores (44), mayor asignación de recursos de atención durante el comportamiento dirigido a objetivos y menor tiempo de procesamiento (28).

Además, los cambios observados en el funcionamiento neurofisiológico se acompañaron de un mejor desempeño cognitivo en tareas en todos los estudios (27,28,42-44). Cuatro estudios describieron los efectos crónicos sobre el funcionamiento neurofisiológico en muestras clínicas (EEG; $k = 1$; MRI; $k = 3$). Un estudio investigó los efectos crónicos de la actividad física en niños con TDAH y encontró un estado de alerta mejorado después de la actividad física a largo plazo según lo medido por EEG. Este resultado no estuvo acompañado de una mejora en el desempeño cognitivo de las tareas (45). Los tres estudios que investigaron los efectos crónicos de la actividad física a largo plazo en niños obesos indicaron cambios



en el funcionamiento neurofisiológico medido mediante imágenes de resonancia magnética funcional. Los resultados indican una actividad cerebral alterada durante la conducta de objetivo directo (26,35) y el estado de reposo (33). Ninguno de estos estudios observó efectos beneficiosos acompañantes sobre el desempeño de tareas cognitivas.

En la tabla 1 a continuación se presenta una síntesis de los estudios y los ítems más relevantes:

Tabla 1. Síntesis de los estudios

Autor/ Nº	Tipo de estudio	Muestra	Intervención/ control	Medida de resultados	Resultado
Chaddock-Heyman et al. (25)	E C A / pre-post	n=143 (sanos) Edad media: 8.7	Programa de actividad física Vs Lista de espera (600 min. x sem/ 36 sem)	E s - estructura cerebral (DTI)	Disminución de la activación en la condición de AF*
Davies et al., (26)	E C A / pre-post	n=19 (obesos) Edad media: sin datos	Programa de actividad física aeróbica Vs Sin actividad (200 min x sem/13 sem)	Función cerebral (IRM)	Aumento de la activación en la PFC bilateral en condición de AF* Disminución de la activación en PPC bilateral en condición de AF*
Drolette et al. (27)	E C A / pre-post	n=308 (sanos) Edad media: 8.8.	Programa de actividad física Vs Lista de espera (600 min. x sem/ 36 sem)	Función cerebral (EEG)	Aumento de las amplitudes de las RER en la condición de control*
Hillman et al. (28)	E C A / pre-post	n= 221 (sanos) Edad media: 8.8	Programa de actividad física Vs Lista de espera (600 min. x sem/ 36 sem)	Función cerebral (EEG)	Mayor mejoría en la condición de AF
Ludyga et al. (2019) (29)	E C A / pre-post	n=37 (sanos) Edad media: 9.3	Grupo de entrenamiento aeróbico Vs Grupo de entrenamiento coordinador Vs Sin actividad (135 min. x sem/ 10 sem)	Función cerebral (EEG)	No hay diferencias significativas



Autor/ Nº	Tipo de estudio	Muestra	Intervención/ control	Medida de resultados	Resultado
Chuet al. (2017) (30)	Transversal/ post-intervención	n=20 (sanos) Edad media:10.5	Sesión de ejecución de la cinta de correr Vs lectura (30 min)	Función cerebral (EEG)	Mayores amplitudes de P3 después de la sesión de AF Amplitudes de SP de conflicto más pequeñas después de la sesión de AF* ;RT ligeramente más corta después de la sesión de AF(p = 0,057)
Chuang et al (31)	Transversal/ post-intervención	n=19 (TDAH) Edad media:9.4	Carrera en cinta de correr Vs Visualización de vídeos (30 min.)	Función cerebral (EEG)	Amplitudes frontales CNV 2 más pequeñas para estímulos No Go después de la Condición de AF RT más corto después de la sesión de AF
Huang et al. (32)	E C A / pre-post	n= 24 (TEA) Edad media: sin datos	Carrera en cinta de correr Vs Visualización de vídeos (30 min.)	Función cerebral (EEG)	No hay diferencias significativas
Krafft et al. (33)	E C A / pre-post	n= 22 (Obesos) Edad media:9.4	Programa de actividad física Vs Grupo control sedentario (200 min. x sem/ 32 sem)	Función cerebral (resonancia magnética en estado de reposo)	Disminución de la sincronía en la condición de AF; Disminución de la sincronía en la condición de AF; Aumento de la sincronía en la condición de AF
Kraft et al., (34)	E C A / pre-post	n= 43 (Obesos) Edad media:9.8	Programa de actividad física Vs Grupo control sedentario (200 min. x sem/ 32 sem)	Función cerebral (IRM)	Disminución de la activación en la condición de AF en: giro precentral bilateral, MFG, lóbulo paracentral, giro poscentral, SPL, IPL y ACC; > Aumento de la activación en la condición de AF en: SFG bilateral, MFG, MFG, giro cingulado y ACC
Krafft et al (35)	E C A / pre-post	n= 18 (Obesos) Edad media:9.8	Programa de actividad física Vs Grupo control sedentario (200 min. x sem/ 32 sem)	Estructura cerebral W M I (MRI)	Se observó una mejoría de la función ejecutiva en la condición de AF; se observó un aumento de WMI en la condición de AF; se observó disminución de WMI en la condición de AF.



Autor/ Nº	Tipo de estudio	Muestra	Intervención/ control	Medida de resultados	Resultado
Hung et al.,(36)	Transversal/ post-intervención	n= 34 (TEA) Edad media:10.2	Carrera en cinta de correr Vs Visualización de vídeos (30 min.)	Función cerebral (EEG)	Mayores amplitudes de P3 durante los ensayos que requirieron la participación de la memoria de trabajo después de la sesión de AF
Pontifex et al. (37)	Transversal/ post-intervención	n= 41 (sanos) Edad media:10.2	Carrera en cinta de correr Vs Carrera en cinta de correr a la mínima intensidad (20 min.)	Flujo sanguíneo cerebral (IRM)	No hay diferencias significativas
Chen et al. (38)	Transversal/ post-intervención	n=9 (sanos) Edad media:10	Ciclo ergómetro Vs Sesión de descanso sedentario (35 min.)	Función cerebral (IRM)	Aumento de la activación después de la sesión de AF
Hillman et al. (39)	Transversal/ post-intervención	n=20 (sanos) Edad media:9.6	Carrera en cinta de correr Vs Sesión de descanso(20 min.)	Función cerebral (EEG)	Mayores amplitudes de P3 después de la sesión de AF; Mejora después de la sesión de AF
Lind et al (40)	Transversal/ post-intervención	n=33 (sanos) Edad media:11.8	Fútbol Vs fútbol andando (20 min.)	Función cerebral (EEG)	Mayores amplitudes de P3 en Fz en niños que realizan fútbol en comparación con el grupo de fútbol a pie y el grupo de control* RT más corto la condición de fútbol en comparación con el grupo de fútbol a pie
Xiong et al., (41)	E C A / pre-post	n=18 (Niños sordos) Edad media:	Ejercicio aeróbico Vs no intervención (180 min. x sem/ 11 sem)	Estructura cerebral W M I (MRI)	Rendimiento mejorado en la condición de AF
Kim & So (42)	E C A / pre-post	n= 26 (sanos) Edad media:8.75	Entrenamiento con ejercicios combinados (CET) Grupo de control sedentario(180 min. x sem/ 16 sem)	Función cerebral (EEG)	Mayores amplitudes en la condición de AF; Mayor mejora en la condición de AF



Autor/ Nº	Tipo de estudio	Muestra	Intervención/ control	Medida de resultados	Resultado
Chaddock-Heyman et al (43)	ECA / pre-post	n= 23(sanos) Edad media:8.9	Programa de actividad física Vs Lista de espera (600 min. x sem/ 36 sem)	Función cerebral (IRM)	Disminución de la activación en la condición de AF * ; ns* ; Mejora de la condición dentro de la AF durante pruebas neutrales e incongruentes > Mejora de la condición dentro de la AF durante la prueba neutral
Kamijeo et al (44)	ECA / pre-post	n= 26(sanos) Edad media:8.9	Programa de actividad física Vs Lista de espera (600 min. x sem/ 36 sem)	Función cerebral (EEG)	Mayores amplitudes de P3 en la condición de AF *
Lee et al (45)	ECA / pre-post	n=12 (TEA) Edad media:8.8	Grupo de ejercicio combinado Grupo de control sin ejercicio (600 min. x sem/ 12 sem)	Función cerebral (EEG)	Mayores amplitudes de onda beta en condición de AF *
St-Louis Deschenes et al (46)	Transversal/ post-intervención	n=32 (sanos) Edad media:10.4	Ciclo ergómetro Sesión sedentaria en Ergómetro (30. min)	Función cerebral (EEG)	Mayores amplitudes de P3b después de la sesión de AF
Wollseiffen et al. (47)	Transversal/ post-intervención	n=16 (sanos) Edad media:9.1	Ejercicio aeróbico Clase de arte (45 min.)	Función cerebral (EEG)	Disminución de la actividad de densidad de corriente cortical después de la sesión de AF *

■ DISCUSIÓN

Basado en 23 estudios con ECA o diseños cruzados que representan a 973 niños únicos, los resultados proporcionan evidencia de cambios inducidos por la actividad física en las medidas de neuroimagen y, en particular, los efectos beneficiosos de pequeño tamaño de la actividad física sobre el funcionamiento neurofisiológico en los niños. Estos hallazgos subrayan la importancia de la actividad física para el desarrollo del cerebro en los niños. El estudio actual diferencia entre los efectos agudos que resultan de un solo episodio de actividad física (o actividad física a corto plazo) y los efectos crónicos que resultan de períodos más prolongados de actividad física continua (actividad física a largo plazo).



El análisis reveló apoyo para efectos tanto agudos como crónicos sobre el funcionamiento neurofisiológico, mientras que no se encontró evidencia de efectos sobre la estructura cerebral. Esta discrepancia observada se explica principalmente por un número muy limitado de estudios ($n=4$) que evaluaron los efectos de la actividad física en la estructura del cerebro, que también evaluaron muestras heterogéneas de niños sanos, obesos y sordos.

Se desconoce si estos grupos responden de manera comparable a la actividad física. Si los mecanismos específicos de la muestra pueden contribuir a los efectos de la actividad física, esto puede haber contribuido a la heterogeneidad en el tamaño del efecto combinado. Los análisis dirigidos a medidas específicas de neuroimagen mostraron que los efectos agudos de la actividad física podrían estar impulsados principalmente por cambios en la asignación de recursos de atención (amplitud P3), en lugar de cambios en el tiempo de procesamiento (latencia P3). Esto está en línea con los resultados de una revisión sistemática reciente que indica que la actividad física y la aptitud cardiorrespiratoria están asociadas con la modulación de P3b durante las tareas de control cognitivo y atención (46). Aunque esta hipótesis espera ser replicada en investigaciones futuras, un efecto específico de la actividad física en la asignación de recursos de atención, sería muy relevante cuando la actividad física se considera una intervención para promover el funcionamiento cognitivo en poblaciones diversas con habilidades atencionales deficientes, como niños con un desarrollo normal en grupos escolares o clínicos como niños que padecen TDAH.

La revisión actual hizo una distinción entre estudios en muestras clínicas y sanas de niños. Aunque no se encontró evidencia de diferencias entre poblaciones sanas y clínicas en la magnitud del efecto de la actividad física, existe la posibilidad de que los mecanismos de acción dominantes que subyacen a los efectos de la actividad física sobre la estructura del cerebro y la función neurofisiológica dependan (en parte) del estado de salud y de la fisiopatología de los trastornos estudiados. Por ejemplo, se sugiere que la actividad física podría ser un tratamiento particularmente poderoso del TDAH porque se supone que regula al alza la dopamina y la noradrenalina, dos neurotransmisores que están implicados en la fisiopatología del trastorno.

Curiosamente, también se sugiere que la regulación al alza de la dopamina y la noradrenalina subyace a los efectos beneficiosos de los medicamentos estimulantes utilizados para tratar el TDAH y aliviar los síntomas del trastorno (8). Asimismo, se sugiere que los efectos vasoactivos sobre las arterias cerebrales y la neurotoxicidad por hiperinsulinemia desempeñan un papel crucial en la estructura y función



cerebral alterada en personas con obesidad y pueden contrarrestarse con la actividad física. (11). El presente estudio no permite sacar conclusiones sobre los efectos de la actividad física en poblaciones clínicas debido a las heterogéneas poblaciones pediátricas estudiadas (TDAH, niños obesos y sordos) y porque los estudios de efectos agudos se centraron exclusivamente en niños con TDAH mientras que los estudios de efectos crónicos fueron enfocados principalmente en niños obesos. Para proporcionar una mejor comprensión del potencial de los programas de actividad física como un enfoque de tratamiento en poblaciones clínicas, los estudios futuros deben dilucidar si los efectos de la actividad física interactúan con el estado de salud y, más específicamente, con los procesos fisiopatológicos subyacentes que se supone que deben ser el objetivo de la actividad física.

Los resultados de la revisión sistemática proporcionan una descripción general de todos los hallazgos sobre el funcionamiento cognitivo en paralelo a los cambios observados en los mecanismos neuronales. Casi todos los estudios incluidos en la revisión informaron sobre el rendimiento cognitivo junto con las medidas de neuroimagen (85%). Los resultados mostraron que en la mitad de los estudios se observó una mejora concurrente en al menos una medida del rendimiento cognitivo o académico. Más específicamente, el 55% de los estudios que observaron efectos agudos de la actividad física sobre la función neurofisiológica y el 42% de los estudios que observaron efectos crónicos sobre la función neurofisiológica informaron una mejoría concurrente.

Estos porcentajes están en línea con los resultados de revisiones sistemáticas recientes sobre los efectos de la actividad física en la cognición y el rendimiento académico en los niños, en los que se encontraron efectos pequeños a moderados (1, 47). Otro hallazgo interesante es que solo tres estudios informaron asociaciones significativas entre las imágenes y las medidas cognitivas (34,35,41).

Una posible explicación de que los efectos neurofisiológicos no son paralelos sistemáticamente a la mejora del comportamiento es el uso típico de muestras de estudio de pequeño tamaño en la investigación de neuroimagen, lo que limita el poder estadístico para revelar las asociaciones pertinentes. De lo contrario, la relación entre los efectos neurofisiológicos y conductuales de la actividad física puede ser no lineal o puede que no se detecte una respuesta conductual a la actividad física hasta que la respuesta neurofisiológica haya alcanzado un cierto nivel umbral.

Las principales limitaciones de la presente revisión es la mayoría de los estudios (81%) no adoptaron los procedimientos adecuados para el cegamiento de la ejecución de la intervención y la evaluación de



resultados y casi la mitad de los estudios (42%) incluyeron una muestra que no era representativa de la población objetivo. Aun así el riesgo general de sesgo fue bajo entre los estudios incluidos.

■ CONCLUSIONES

La revisión sistemática actual muestra que la actividad física a largo plazo produce cambios beneficiosos en la función neurofisiológica. Además, la actividad física a corto plazo puede inducir cambios en el funcionamiento neurofisiológico, aunque esta evidencia mostró una solidez limitada.

Además, existe evidencia preliminar que indica que la actividad física podría ser una intervención útil para promover el funcionamiento neurofisiológico (y el funcionamiento cognitivo) en diversas poblaciones pediátricas.

En conjunto, los hallazgos revisados convergen en múltiples dominios para sugerir los efectos potencialmente nocivos de la inactividad física y la mala condición física aeróbica en las estructuras y funciones del cerebro, que subyacen a los aspectos del rendimiento escolar en la escuela. Los datos hablan de la importancia de la actividad física y la aptitud aeróbica para maximizar la salud del cerebro y la función cognitiva durante el desarrollo. Dado que los comportamientos de actividad física a menudo se establecen durante la niñez preadolescente, la creación y mantenimiento de oportunidades de actividad física dentro de la escuela, donde los niños pasan la mayor parte del día, puede proporcionar un medio para aumentar y /o mantener la salud y el funcionamiento efectivo a lo largo de la vida. De hecho, como se revisó anteriormente, el nivel de condición física aeróbica en un momento dado puede predecir la cognición en el futuro. En resumen, la literatura existente destaca la interacción entre la salud física, el cerebro y las habilidades cognitivas que subyacen a los aspectos del rendimiento académico.

Sin embargo, se requiere más investigación para obtener conocimientos sobre los efectos de la actividad física en poblaciones tan específicas.

Los estudios de intervención de alta calidad deben incluir tanto técnicas de neuroimagen como resultados conductuales. Dado los signos de solidez limitada de la evidencia disponible, los estudios futuros también deberían considerar el preregistro para limitar la influencia del sesgo de publicación en este campo.

A pesar de esto, la utilidad del presente estudio reside en que en el mismo se presenta una descripción general de la mejor evidencia disponible sobre los efectos causales de la actividad física en la estructura



cerebral y el funcionamiento neurofisiológico en los niños y subraya la importancia de la actividad física para el desarrollo del cerebro durante la infancia.

■ REFERENCIAS

1. de Greeff JW, Bosker RJ, Oosterlaan J, Visscher C, Hartman E. Effects of physical activity on executive functions, attention and academic performance in preadolescent children: a meta-analysis. *Journal of science and medicine in sport*. 2018;21(5):501-7.
2. Cigarroa-Cuevas I, Zapata-Lamana R. Los mecanismos fisiológicos, sus efectos a nivel cerebral, en las funciones cognitivas y en el rendimiento académico escolar. *Archivos de Neurociencias*. 2016 Nov 15;20(1):40-53.
3. Martínez CP, Cuberos RC, Sánchez MC, Garcés TE, Ortega FZ, Cortés AJ. Diferencias de género en relación con el Índice de Masa Corporal, calidad de la dieta y actividades sedentarias en niños de 10 a 12 años. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*. 2017(31):176-80.
4. Gabel L, Ridgers ND, Della Gatta PA, Arundell L, Cerin E, Robinson S, Daly RM, Dunstan DW, Salmon J. Associations of sedentary time patterns and TV viewing time with inflammatory and endothelial function biomarkers in children. *Pediatric obesity*. 2016;11(3):194-201.
5. Pinar C, Yau SY, Sharp Z, Shamei A, Fontaine CJ, Meconi AL, Lottenberg CP, Christie BR. Effects of voluntary exercise on cell proliferation and neurogenesis in the dentate gyrus of adult FMR1 knockout mice. *Brain Plasticity*. 2018 Jan 1;4(2):185-95.
6. Loprinzi PD. Does brain-derived neurotrophic factor mediate the effects of exercise on memory?. *The Physician and sportsmedicine*. 2019 Oct 2;47(4):395-405.
7. Suárez-Manzano S, Ruiz-Ariza A, López-Serrano S, López EJ. Actividad física y atención en escolares diagnosticados TDAH: revisión de estudios longitudinales. *Innovación educativa*. 2018 Dec 4(28):139-52.
8. Ng QX, Ho CY, Chan HW, Yong BZ, Yeo WS. Managing childhood and adolescent attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) with exercise: a systematic review. *Complementary therapies in medicine*. 2017;34:123-8.
9. Suarez-Manzano S, Ruiz-Ariza A, De La Torre-Cruz M, Martínez-López EJ. Acute and chronic effect of physical activity on cognition and behaviour in young people with ADHD: A systematic review of intervention studies. *Research in developmental disabilities*. 2018;77:12-23.
10. Perea-Martínez A, López-Navarrete GE, Padrón-Martínez M, Lara-Campos AG, Santamaría-Ariza C, Ynga-Durand MA, Peniche-Calderón J, Espinosa-Garamendi E, Ballesteros-del Olmo JC. Evaluación, diagnóstico,



tratamiento y oportunidades de prevención de la obesidad. *Acta pediátrica de México*. 2014;35(4):316-37.

11. Veronese N, Facchini S, Stubbs B, Luchini C, Solmi M, Manzato E, Sergi G, Maggi S, Cosco T, Fontana L. Weight loss is associated with improvements in cognitive function among overweight and obese people: A systematic review and meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2017;72:87-94.

12. Alarcón M, Delgado P, Caamaño F, Osorio A, Rosas M, Cea F. Estado nutricional, niveles de actividad física y factores de riesgo cardiovascular en estudiantes de la Universidad Santo Tomás. *Revista chilena de nutrición*. 2015 Mar;42(1):70-6.

13. Herrera BM, Trías JF. Ejercicio y algunos mecanismos moleculares que subyacen a una mejora del desempeño en tareas cognitivas. *riccafd: Revista Iberoamericana de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*. 2020;9(1):75-94.

14. Ríos ID, Collazos JE. Envejecimiento neural, plasticidad cerebral y ejercicio: Avances desde la óptica de fisioterapia. *Archivos de Medicina (Manizales)*. 2020;20(1):188-202.

15. Navarrete CJ, Castro SC, Cerda CJ, Urra CA. Asociación del enfoque en competencia motora y habilidades motrices, con la mantención de la adherencia a la actividad física en adolescentes: Una revisión de alcance. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*. 2021(42):735-43.

16. Chaddock-Heyman L, Erickson KI, Kienzler C, King M, Pontifex MB, Raine LB, Hillman CH, Kramer AF. The role of aerobic fitness in cortical thickness and mathematics achievement in preadolescent children. *PLoS one*. 2015 Aug 12;10(8):e0134115.

17. Chaddock L, Erickson KI, Prakash RS, Voss MW, VanPatter M, Pontifex MB, Hillman CH, Kramer AF. A functional MRI investigation of the association between childhood aerobic fitness and neurocognitive control. *Biological psychology*. 2012;89(1):260-8.

18. Sánchez GF, Sánchez LL, Suárez AD. Efectos de un programa de actividad física en la calidad de vida de escolares con Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad (TDAH). *AGON: International Journal of Sport Sciences*. 2015;5(2):86-98.

19. Moore RD, Drollette ES, Scudder MR, Bharij A, Hillman CH. The influence of cardiorespiratory fitness on strategic, behavioral, and electrophysiological indices of arithmetic cognition in preadolescent children. *Frontiers in human neuroscience*. 2014 May 5;8:258.

20. Pulido RO, Ortega ML. Actividad física, cognición y rendimiento escolar: una breve revisión desde las neurociencias. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*. 2020(38):868-78.



21. Valkenborghs SR, Noetel M, Hillman CH, Nilsson M, Smith JJ, Ortega FB, Lubans DR. The impact of physical activity on brain structure and function in youth: a systematic review. *Pediatrics*. 2019;144(4).
22. Donnelly JE, Hillman CH, Castelli D, Etnier JL, Lee S, Tomporowski P, Lambourne K, Szabo-Reed AN. Physical activity, fitness, cognitive function, and academic achievement in children: a systematic review. *Medicine and science in sports and exercise*. 2016;48(6):1197.
23. Chan AS, Han YM, Sze SL, Lau EM. Neuroenhancement of memory for children with autism by a mind-body exercise. *Frontiers in psychology*. 2015;6:1893.
24. Masterson TD, Kirwan CB, Davidson LE, Larson MJ, Keller KL, Fearnbach SN, Evans A, LeCheminant JD. Brain reactivity to visual food stimuli after moderate-intensity exercise in children. *Brain imaging and behavior*. 2018;12(4):1032-41.
25. Chaddock-Heyman L, Erickson KI, Kienzler C, Drollette ES, Raine LB, Kao SC, Bensken J, Weissshappel R, Castelli DM, Hillman CH, Kramer AF. Physical activity increases white matter microstructure in children. *Frontiers in neuroscience*. 2018;12:950.
26. Davis CL, Tomporowski PD, McDowell JE, Austin BP, Miller PH, Yanasak NE, Allison JD, Naglieri JA. Exercise improves executive function and achievement and alters brain activation in overweight children: a randomized, controlled trial. *Health psychology*. 2011 Jan;30(1):91.
27. Drollette ES, Pontifex MB, Raine LB, Scudder MR, Moore RD, Kao SC, Westfall DR, Wu CT, Kamijo K, Castelli DM, Khan NA. Effects of the FIT-Kids physical activity randomized controlled trial on conflict monitoring in youth. *Psychophysiology*. 2018 Mar;55(3):e13017.
28. Hillman CH, Pontifex MB, Castelli DM, Khan NA, Raine LB, Scudder MR, Drollette ES, Moore RD, Wu CT, Kamijo K. Effects of the FITKids randomized controlled trial on executive control and brain function. *Pediatrics*. 2014;134(4):e1063-71.
29. Ludyga S, Koutsandr  ou F, Reuter EM, Voelcker-Rehage C, Budde H. A randomized controlled trial on the effects of aerobic and coordinative training on neural correlates of inhibitory control in children. *Journal of clinical medicine*. 2019;8(2):184.
30. Chu CH, Kramer AF, Song TF, Wu CH, Hung TM, Chang YK. Acute exercise and neurocognitive development in preadolescents and young adults: an ERP study. *Neural plasticity*. 2017 Oct;2017.
31. Chuang LY, Tsai YJ, Chang YK, Huang CJ, Hung TM. Effects of acute aerobic exercise on response preparation in a Go/No Go Task in children with ADHD: an ERP study. *Journal of sport and Health science*. 2015 Mar 1;4(1):82-8.



32. Huang CJ, Huang CW, Hung CL, Tsai YJ, Chang YK, Wu CT, Hung TM. Effects of acute exercise on resting EEG in children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Child Psychiatry & Human Development*. 2018 Dec;49(6):993-1002.
33. Krafft CE, Pierce JE, Schwarz NF, Chi L, Weinberger AL, Schaeffer DJ, Rodrigue AL, Camchong J, Allison JD, Yanasak NE, Liu T. An eight month randomized controlled exercise intervention alters resting state synchrony in overweight children. *Neuroscience*. 2014 Jan 3;256:445-55.
34. Krafft CE, Schaeffer DJ, Schwarz NF, Chi L, Weinberger AL, Pierce JE, Rodrigue AL, Allison JD, Yanasak NE, Liu T, Davis CL. Improved fronto-parietal white matter integrity in overweight children is associated with attendance at an after-school exercise program. *Developmental Neuroscience*. 2014;36(1):1-9.
35. Krafft CE, Schwarz NF, Chi L, Weinberger AL, Schaeffer DJ, Pierce JE, Rodrigue AL, Yanasak NE, Miller PH, Tomporowski PD, Davis CL. An 8-month randomized controlled exercise trial alters brain activation during cognitive tasks in overweight children. *Obesity*. 2014 Jan;22(1):232-42.
36. Hung CL, Huang CJ, Tsai YJ, Chang YK, Hung TM. Neuroelectric and behavioral effects of acute exercise on task switching in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Frontiers in psychology*. 2016 Oct 13;7:1589.
37. Pontifex MB, Gwizdala KL, Weng TB, Zhu DC, Voss MW. Cerebral blood flow is not modulated following acute aerobic exercise in preadolescent children. *International Journal of Psychophysiology*. 2018 Dec 1;134:44-51.
38. Chen ZH, Wu YF, Wang PL, Wu YP, Li ZY, Zhao Y, Zhou JS, Zhu C, Cao C, Mao YY, Xu F. Autophagy is essential for ultrafine particle-induced inflammation and mucus hyperproduction in airway epithelium. *Autophagy*. 2016 Feb 1;12(2):297-311.
39. Hillman CH, Buck SM, Themanson JR, Pontifex MB, Castelli DM. Aerobic fitness and cognitive development: Event-related brain potential and task performance indices of executive control in preadolescent children. *Developmental psychology*. 2009 Jan;45(1):114.
40. Lind RR, Beck MM, Wikman J, Malarski K, Krustrup P, Lundbye-Jensen J, Geertsen SS. Acute high-intensity football games can improve children's inhibitory control and neurophysiological measures of attention. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2019 Oct;29(10):1546-62.
41. Xiong X, Zhu LN, Dong XX, Wang W, Yan J, Chen AG. Aerobic exercise intervention alters executive function and white matter integrity in deaf children: a randomized controlled study. *Neural plasticity*. 2018 Apr 30;2018.
42. Kim HB, So WY. Effect of sixteen weeks of combined exercise on body composition, physical fitness and cognitive function in Korean children.



South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation. 2015 Jan 1;37(1):47-57.

43. Chaddock-Heyman L, Erickson KI, Voss M, Knecht A, Pontifex MB, Castelli D, Hillman C, Kramer A. The effects of physical activity on functional MRI activation associated with cognitive control in children: a randomized controlled intervention. *Frontiers in human neuroscience*. 2013 Mar 12;7:72.

44. Kamijo K, Pontifex MB, O'Leary KC, Scudder MR, Wu CT, Castelli DM, Hillman CH. The effects of an afterschool physical activity program on working memory in preadolescent children. *Developmental science*. 2011 Sep;14(5):1046-58.

45. Lee SK, Song J, Park JH. Effects of combination exercises on electroencephalography and frontal lobe executive function measures in children with ADHD: A pilot study.

46. St-Louis-Deschênes M, Moore R, Ellemberg D. The selective effect of acute aerobic exercise on neuroelectric indices of attention during development. *Pediat Therapeut*. 2015;5(238):2161-0665.

47. Wollseiffen P, Klein T, Vogt T, Abeln V, Strüder HK, Stuckenschneider T, Sanders M, Claassen JA, Askew CD, Carnahan H, Schneider S. Neurocognitive performance is enhanced during short periods of microgravity—part 2. *Physiology & behavior*. 2019 Aug 1;207:48-54.